PROGRAMA DE GESTIÓN DE CALIDAD DEL AIRE Y DE ACCIÓN ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO 2021-2030 DEL ESTADO DE PUEBLA

"Proyecto Financiado por el Fideicomiso 1490 para Apoyar los Programas, Proyectos y Acciones Ambientales de la Megalópolis"

Este documento fue desarrollado por:
AMBIENS Consultoría, Sustentabilidad y Gestión Climática SA de CV para la SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE, DESARROLLO SUSTENTABLE Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL DEL GOBIERNO DEL ESTADO DE PUEBLA
Bajo el proyecto con número de contrato
GESAL-140-027/2022

Secretaría de Medio Ambiente, Desarrollo Sustentable y Ordenamiento Territorial
Gobierno de Puebla

PROGRAMA
DE GESTIÓN DE **CALIDAD DEL AIRE**
Y DE ACCIÓN ANTE EL **CAMBIO CLIMÁTICO**
ESTADO DE PUEBLA
2021-2030

PRESENTACIÓN

El cuidado y preservación del medio ambiente, así como la atención al cambio climático son una de las prioridades del Gobierno Estatal, es por ello, que esta administración a través de la Secretaría de Medio Ambiente, Desarrollo Sustentable y Ordenamiento Territorial atiende esta problemática desde una visión sostenible y la oportuna aplicación de políticas para la protección y preservación de los bienes naturales.

El crecimiento urbano, la demanda de bienes y servicios, la sobreexplotación de los recursos naturales, el transporte, la industrialización, el excesivo uso de combustibles de origen fósil, impactan y deterioran la calidad del aire que respiramos, lo cual contribuye al incremento de gases de efecto invernadero y la exacerbación del cambio climático, además de la incidencia en la salud de la población. Por ello, debemos garantizar la irrestricta observancia al cumplimiento de las Normas Oficiales Mexicanas.

El Gobierno del Estado de Puebla en este tenor, elaboró el *"Programa Gestión de la Calidad del Aire y de Acción ante el Cambio Climático 2021-2030 para el Estado de Puebla*" en coordinación con la Comisión Ambiental de la Megalópolis (CAMe), y la validación de la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) y el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC).

Este programa se sustenta en un diagnóstico de las condiciones actuales de la calidad del aire y de los potenciales efectos del cambio climático, y es el primero de su estilo que se elabora a nivel nacional, ya que vincula la gestión de la calidad del aire con las acciones ante el cambio climático, resultando de ello, una sinergia para establecer políticas públicas, estrategias y líneas de acción conjuntas.

Es importante señalar que, la eficacia y éxito de este programa, requiere del compromiso de todos los sectores involucrados, en un ámbito de cooperación y trabajo multidisciplinario. Por ello, es necesario que los diferentes sectores de la sociedad participen activamente en su aplicación, contribuyendo cada uno desde su ámbito y posibilidades para garantizar el derecho que tiene esta y las próximas generaciones de gozar de un ambiente próspero y favorable a nuestra condición y desarrollo.

Directorio

GOBIERNO DEL ESTADO DE PUEBLA

SERGIO SALOMÓN CÉSPEDES PEREGRINA
Gobernador Constitucional del Estado de Puebla

BEATRIZ MANRIQUE GUEVARA
Secretaria de Medio Ambiente, Desarrollo Sustentable y Ordenamiento Territorial

GOBIERNO FEDERAL
SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES

MARIA LUISA ALBORES GONZÁLEZ
Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales

ALONSO JIMÉNEZ REYES
Subsecretario de Regulación Ambiental

≈ ≈ ≈ ≈ ≈ ≈ ≈ ≈ ≈ ≈ ≈ ≈ ≈ ≈ ≈ ≈ ≈ ≈ ≈

GOBIERNO ESTATAL

SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE, DESARROLLO SUSTENTABLE Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL

DARÍO ANTONIO ARROY SÁNCHEZ
Subsecretario de Gestión Ambiental y Sustentabilidad Energética

NORMA ANGÉLICA SANDOVAL GÓMEZ
Subsecretaria para la Gestión del Territorio y Desarrollo Urbano

≈ ≈ ≈ ≈ ≈ ≈ ≈ ≈ ≈ ≈ ≈ ≈ ≈ ≈ ≈ ≈ ≈ ≈ ≈

DIRECCIÓN GENERAL DE ASUNTOS JURÍDICOS

ERICK BALAAM ZAVALA RÍOS
Director General de Asuntos Jurídicos

DIRECCIÓN DE GESTIÓN DE CALIDAD DEL AIRE

MARCO ANTONIO HERRERA GARCÍA
Director de Gestión de Calidad del Aire

FRANCISCO JAVIER SOLANO HUITZIL
Jefe de Departamento de Monitoreo y Evaluación de Emisiones

EUGENIA MONSERRAT GARCÍA PÉREZ
Jefa de Departamento de Verificación y Regulación de Fuentes

MANUEL SOLÍS TOBÓN
Análisis Estadístico - DMEE

ADOLFO ÁNGEL MORALES AGUILAR
Sistemas - DMEE

HUGO HERNÁNDEZ GARCÍA
Operación – DMEE

GUILLERMO MONARCA MARTIN
Operación - DMEE

SANTOS ARMANDO RAMÍREZ MANTILLA
Enlace Administrativo – DGCA

JAIR REZÉNDIZ PÉREZ
Analista

DIRECCIÓN DE GESTIÓN DE CAMBIO CLIMÁTICO, CIUDADES INTELIGENTES Y TRANSICIÓN ENERGÉTICA

PAOLA LEMINI RUCABADO
Directora de Gestión de Cambio Climático, Ciudades Inteligentes y Transición Energética

ANGÉLICA GUTIÉRREZ DEL VALLE
Jefa de Departamento de Cambio Climático y Ciudades Inteligentes

ARANTZA OLIVERA LÓPEZ VELARDE
Jefa de Departamento de Sustentabilidad Energética

HÉCTOR DANIEL HUERTA SILVA
Analista

MICHELLE BOUCHAN GÁMEZ
Analista

ELESBAN LIMA Jiménez
analista

COMISIÓN INTERSECRETARIAL DE CAMBIO CLIMÁTICO

BEATRIZ MANRIQUE GUEVARA
Presidenta Ejecutiva

DARÍO ANTONIO ARROY SÁNCHEZ
Secretario Ejecutivo

VOCALES

JORGE ERMILO BARRERA NOVELO
Titular de la Secretaría de Economía

ANA LAURA ALTAMIRANO PÉREZ
Titular de la Secretaría de Desarrollo Rural

JOSEFINA MORALES GUERRERO
Titular de la Secretaría de Planeación y Finanzas

OMAR ÁLVAREZ ARRONTE
Titular de la Secretaría de Movilidad y Transporte

ELSA MARÍA RUIZ BETANZOS
Titular de la Secretaría de Bienestar

LUIS ROBERTO TENORIO GARCÍA
Titular de la Secretaría de Infraestructura

MARÍA ISABEL MERLO TALAVERA
Titular de la Secretaría de Educación

CONSEJO TÉCNICO DE CAMBIO CLIMÁTICO DE PUEBLA

MARÍA EUGENIA IBARRARÁN VINIEGRA
Presidenta/Profesora Investigadora de la IBERO

MARÍA GRISELDA CORRO HERNÁNDEZ.
Profesora Investigadora de la BUAP

CUITLÁHUAC ROVIROSA MADRAZO
Secretario Técnico

MIGUEL ÁNGEL MORALES MORA
Profesor del Colegio de Puebla A.C

CARLOS PATIÑO GÓMEZ
Profesor investigador (UDLAP)

RICARDO VÁSQUEZ PERALES
Profesor Investigador del Western Colorado University

AURA ELENA MORENO GUZMÁN
Cambio Climático Biología / Ciencias Biológicas

VERÓNICA GUTIÉRREZ VILLALPANDO.
Catedrática del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología

MARÍA AUXILIO OSORIO LAMA
Profesora Investigadora de la BUAP

INTEGRANTES DEL GRUPO DE TRABAJO NÚCLEO DEL PROGRAMA DE GESTIÓN DE CALIDAD DEL AIRE Y DE ACCIÓN ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO 2021-2030 DEL ESTADO DE PUEBLA.

MIGUEL ÁNGEL MARTÍNEZ FERNÁNDEZ
SEMARNAT - Puebla

MARÍA DE LOS ÁNGELES VELASCO HERNÁNDEZ
Instituto de Ciencias de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP)

ITZEL LEMUS DOMÍNGUEZ
Directora de Seguridad Hídrica - SMADSOT

MARCO ANTONIO MORA RAMÍREZ
FCQ-BUAP

DANIEL ESPINOZA VIZCARRA
Director de Gestión de Recursos Naturales y Biodiversidad – SMADSOT

PERLA XÓCHILT ARANGUTHY ZAPATA
Directora de Desarrollo Urbano Sustentable del Municipio de Amozoc de Mota

ALEJANDRA BONIFACIO GARCÍA
Dirección de Planeación y Geomática - SMADSOT

LIZBETH ELENA ANORA DE SORIANO
H. Ayuntamiento de Atlixco

NANCY GUADALUPE AVIÑA VEGA
Director de Gestión de Riesgos - SMADSOT

JESÚS PACHECO MUÑOZ
H. Ayuntamiento de Tehuacán, Dir. Ecología

PEDRO GINEZ FLORES
Director de Ecología Municipio de Tehuacán

RUBÉN MALFAVON CASTILLO
Ayuntamiento de Tehuacán, Dirección de Ecología

JULIO ALBERTO RAMOS TENORIO
Municipio de San Andrés Cholula

JAIME LUNA AGUIRRE
Universidad Tecnológica de Puebla

ROCÍO GARCÍA BUSTAMANTE
IBERO Puebla DASAC

ARMANDO PLIEGO ISHIKAWA
Secretaría de Movilidad y Transporte

JULIO CESAR TOXQUI TOXQUI
H. Ayuntamiento San Martin Texmelucan

JULIO MARÍN LEAL
Volkswagen de México

MARÍA ISABEL MARTÍNEZ HERNÁNDEZ
Volkswagen de México

LOURDES BRAVO GÓMEZ
Volkswagen de México

VALENTINA CAMPOS CABRAL
Directora del IIMA-IBERO Puebla

BENJAMÍN GONZÁLEZ GUTIÉRREZ,
Presidente del Sector Verde, CANACINTRA

ANA MARÍA PEÑALOZA SÁNCHEZ
ISU universidad

FERNANDO TENA GUTIÉRREZ
SEMARNAT

GOBIERNO FEDERAL

SECRETARÍA DE MEDIO AMIENTE Y RECURSOS NATURALES

DIRECCIÓN GENERAL DE INDUSTRIA, ENERGÍAS LIMPIAS Y GESTIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE

DANIEL LÓPEZ VICUÑA
Director General de Industria, Energías Limpias y Gestión de la Calidad del Aire

FERNANDO SILVA TRISTE
Oficina de Representación de la SEMARNAT en el Estado de Puebla

DANIELA PAOLA RAMOS GONZÁLEZ
Directora de Calidad del Aire

JULIETA MARIELA RODRÍGUEZ MESA
Subdirectora de Programas de Calidad del Aire

HUGO LANDA FONSECA
Subdirector de Gestión y Regulación

ARANTZA SÁNCHEZ BLANCO
Jefa de Departamento de Geomática de la Contaminación

SAMANTHA NAVARRO APOLONIO
Técnica Especializada

FERNANDO TENA GUTIERRÉZ
Director de Gestión Integral de Residuos

VELIA LESLIE RODRÍGUEZ ROBLES
Jefa de Departamento de Inventarios

JULIO CÉSAR DÁMAZO AGUILAR
Enlace para el Análisis de Datos y Estimación de Emisiones de Fuentes Naturales

COMISIÓN AMBIENTAL DE LA MEGALÓPOLIS (CAMe)

VÍCTOR HUGO PÁRAMO FIGUEROA
Coordinador ejecutivo de Vinculación Institucional de la Comisión Ambiental de la Megalópolis

RAMIRO BARRIOS CATREJÓN
Director de Gestión de Calidad del Aire en Zona Metropolitanas

GLORIA JULISSA CALVA CRUZ
Directora de Prevención y Control de la Contaminación en Zonas Metropolitanas

LUIS FERNANDO LAHUD FLORES
Director de Gestión Integral de Residuos.

ALEJANDRO VILLEGAS LÓPEZ
Director de planeación, sostenibilidad metropolitana y vinculación institucional

JENNIFER SANDRA GARCÍA ESCALANTE
Apoyo técnico a la CAMe

MÓNICA PALOMERO RIVERO
Apoyo técnico a la CAMe

INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA Y CAMBIO CLIMÁTICO (INECC)

JOSÉ ABRAHAM ORTÍNEZ ÁLVAREZ
Coordinador General

CLAUDIA. ALEJANDRA OCTAVIANO VILLASANA
Coordinadora General de Mitigación del. Cambio Climático

MARGARITA CASO CHÁVEZ
Coordinadora General de Adaptación al Cambio Climático

IRMA FABIOLA RAMÍREZ HERNÁNDEZ
Directora de Inventario y Prospectivas de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero

EUNICE ALEJANDRA CORTÉS ALFARO
Subdirectora de Medición, Reporte y Verificación

JUANA ITZCHEL NIETO RUIZ
Directora de Investigación para Estrategias de Desarrollo Bajo en Carbono

Agradecimientos

Por su valiosa colaboración en la elaboración de este programa.

Santiago Creuheras Díaz
Carlos Eduardo Solares Vega
Sandra Rosalía Espinoza Morales

AMBIENS Consultoría, Sustentabilidad y Gestión Climática

Víctor Javier Gutiérrez Avedoy
Francisco Javier Botello López
María de Lourdes Cázares Chávez
Saúl Castañeda Contreras
Valeria Cruz Velasco
María Luisa Cuevas Fernández
Marco Antonio Heredia Fragoso
Erick Felipe Jiménez Quiroz
María Tania López Villegas
Jorge Martínez Castillejos
Guadalupe Guieexhuba Martínez Martínez
María de la Cruz Martínez Portugal
José Alfredo Matamoros Moreno
Alma Mendoza Ponce
Sharon Morales Díaz
Michelle Camila Muñoz Muñoz
José Israel Núñez Birrueta
Elisa Platas Valle
Saúl Rodríguez Rivera
Gerardo Ruíz Suárez
Luis Rubén Sánchez Cataño
Ramón Carlos Torres Enríquez
Catalina Vázquez Camacho
Anais Vermonden Thibodeau

Asimismo, un especial agradecimiento a los técnicos e investigadores de las diversas instancias de los sectores social, privado, académico, legislativo y gubernamental, que participaron en los grupos de trabajo y talleres, aportando sus opiniones, conocimiento y experiencia para la formulación de este programa.



CONTENIDO

Presentación 3
Introducción 13
1. Descripción y contexto de la zona de estudio 19
1.1. Delimitación y caracterización de la zona de estudio 19
1.2. Localización geográfica del estado de Puebla 19
1.3. Relieve 19
1.4. Hidrología superficial 22
1.5. Uso del suelo y vegetación 24
1.6. Climatología 30
1.7. Influencia de variables colindantes 37
1.8. Elementos Sociodemográficos 38
1.9. Actividades productivas y económicas 41
1.10. Demanda energética 44
1.11. Movilidad 44
1.12. Residuos sólidos urbanos 47
2. Marco jurídico, instrumentos de planeación y capacidades. 49
2.1. De Gestión de la Calidad del Aire 50
2.2. De mitigación y adaptación al cambio climático 52
3. Diagnóstico de la situación actual en materia de calidad del aire y cambio climático 57
3.1. Monitoreo de la calidad del aire de Puebla 58
3.2. Contaminantes atmosféricos 60
3.3. Normas Oficiales Mexicanas (NOM) 61
3.4. Programa de verificación vehicular 63
3.5. Contingencia ambiental 64
3.6. Calidad del aire en la ZMV de Puebla 65
3.7. Diagnóstico climático. 88
3.9. Generación de escenarios climáticos 117
4. Análisis de factores y fuentes que afectan la calidad del aire y exacerban el cambio climático. 135
4.1. Cambios de los principales factores que afectan la calidad del aire 135
4.2. Factores de presión que afectan la calidad del aire 136
4.3. Balance energético estatal 154
4.4. Actualización de los inventarios de emisiones de gases criterio, tóxicos y GyCEI, año base 2020. 158
4.5. Análisis e identificación de las principales fuentes d03e emisiones de GEI y CCV6C (CO_2, CH_4, N_2O y CN) 186
4.6. Proyección de emisiones de gases criterio, tóxicos y GyCEI al 2030 193

4.7. Elaboración del Registro Nacional de Emisiones (RENE) correspondiente al Gobierno del Estado de Puebla, año de reporte 2020 196
5. Efectos en la población y ecosistemas 205
5.1. Incidencia de la contaminación atmosférica sobre la salud de la población. 205
5.2. Impactos en la distribución espacial de las enfermedades zoonóticas por el cambio climático 213
5.3. Evaluación de la vulnerabilidad y riesgo de los sectores clave del estado de Puebla ante el cambio Climático. 223
6. Políticas, estrategias, líneas de acción y metas de mejoramiento de la calidad del aire y atención al cambio climático 309
6.1. Políticas y estrategia en materia de calidad del aire y cambio climático 309
6.2. Definición de líneas de acción y metas en materia de calidad del aire y cambio climático. 311
6.3. Análisis e identificación de las principales fuentes de emisión de GEI y CCVC, así como el desarrollo de propuestas de medidas de mitigación, su alineación con los instrumentos nacionales (NDC, PECC, ENCC) 338
6.4. Determinación de metas y escenarios de reducción de contaminantes criterio, GyCEI y de CCVC para el periodo 2030, línea base 2020. 342
6.5. Análisis Costo Beneficio de algunas medidas 346
6.6. Indicadores de seguimiento y evaluación. 352
7. Comunicación, financiamiento y reporte 355
7.1. Sensibilización, participación ciudadana y comunicación de la calidad del aire y el cambio climático. 355
7.2. Fuentes de financiamiento para proyectos de protección a la atmósfera y cambio climático. 371
7.3. Seguimiento, monitoreo, reporte y verificación de acciones 391
Listado de Figuras, mapas y tablas 397
Índice de figuras 397
Índice de tablas 401
Glosario de términos y acrónimos 405
Glosario de Términos 405
Acrónimos 410
Referencias 415

Introducción

INTRODUCCIÓN

La contaminación del aire ambiental (exterior) y doméstica (interior) en el 2018 fue responsable a nivel global de aproximadamente siete millones de muertes, las mayores tasas de mortalidad se concentraron en países de bajo y mediano ingreso con nueve de cada 10 muertes. La contaminación del aire ambiental representó un estimado 4.2 millones de muertes por ataques cerebrovasculares, enfermedades cardíacas, cáncer de pulmón, Infecciones de las vías respiratorias inferiores y enfermedad pulmonar obstructiva crónica. Además, la exposición a la contaminación del aire interior debido a la exposición al humo de leña causó aproximadamente 3.8 millones muertes prematuras (WHO, 2022). En 2019, las muertes atribuibles a la contaminación atmosférica en México se estimaron en 36,684 (26,623 – 46,799) (WHO, 2023).

Por otro lado, los escenarios de cambio climático muestran claramente los impactos que en el futuro se prevén por las emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero, como son cambios en la temperatura, en la vulnerabilidad de especies, en sequías y tormentas más intensas, en la estabilidad atmosférica, la exacerbación de zoonosis, entre otros.

Es por ello, que el Gobierno del Estado de Puebla, consciente de la importancia de proteger la salud de sus habitantes y de los ecosistemas que alberga en su territorio, desde el 2006, han desarrollado y aplicado Programas de Mejoramiento de la Calidad del Aire (ProAire), el primero de 2006 a 2011 y el segundo de 2012 a 2020, los cuales han contribuido a reducir y controlar la contaminación atmosférica. Sin embargo, el crecimiento poblacional y vehicular, la actividad industrial y comercial, los avances en el conocimiento de la química atmosférica, de las interrelaciones que se presentan entre los diversos compuestos y de efectos en la salud y ecosistemas que producen los contaminantes, obligan a actualizar periódicamente estos instrumentos de gestión ambiental.

En este sentido, el Gobierno del Estado de Puebla en coordinación con la Comisión Ambiental de la Megalópolis (CAMe) en atención a lo señalado en el sexto informe de evaluación del Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC), que indica que las principales fuentes de emisión de contaminantes criterio, así como de gases y compuestos de efecto invernadero son las mismas, por lo que es conveniente integrar las temáticas de calidad de aire y cambio climático en la definición de estrategias, medidas y acciones que atiendan las causas y reduzcan las emisiones de ambas fuentes, es por eso que se abordan por primera vez en nuestro país ambos temas en el Programa de Gestión de Calidad del Aire y de Acción ante el Cambio Climático del estado de Puebla 2021-2030.

El programa se conforma de acuerdo con la siguiente estructura:

En la **descripción de la zona de estudio**, se hace un recuento de las principales características físicas, biológicas y socioeconómicas del estado de Puebla, con énfasis en aquellos aspectos vinculados a los temas de calidad del aire y cambio climático.

En el capítulo de **marco jurídico**, el análisis parte de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (CPEUM); los instrumentos de derecho internacional signados por nuestro país; las leyes federales y generales, reglamentos, Normas Oficiales Mexicanas, la Constitución Política del Estado Libre y Soberano de Puebla; leyes estatales, reglamentos y normas técnicas y Bandos Municipales en materia de prevención y control de la contaminación atmosférica y de mitigación y adaptación al cambio climático.

En el apartado de la **situación de la calidad del aire** se hace una descripción, con base en los datos registrados en la Red Estatal de Monitoreo Atmosférico (REMA), del comportamiento de los contaminantes atmosféricos en función del cumplimiento con las normas oficiales mexicanas de calidad del aire. Se analizaron los datos generados en el periodo 2010 al 2021 para evaluar el cumplimiento de las normas oficiales de calidad del aire para ozono, SO_2, CO, NO_2 y las partículas PM_{10} y $PM_{2.5}$, considerando los criterios de suficiencia o complexión de información diaria, trimestral o anual. Además, se elaboraron gráficas con el comportamiento horario, diario, semanal y anual.

En la sección del **diagnóstico histórico del clima** se presenta un análisis de las tendencias históricas de la temperatura y precipitación en el Estado, caracterizando el movimiento de las masas de aire, con datos de velocidad y dirección del viento del Sistema Global de Predicción (GFS por sus siglas en inglés) de la Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica (NOAA, por sus siglas en inglés) y los Centros Nacionales para la Predicción Ambiental (NCEP por sus siglas en inglés), registrados cada 5 horas a 10 m de altura, durante el periodo 2015-2020, con una resolución espacial de 0.5 grados, aproximadamente 50 km.

Para el capítulo de **proyección de escenarios** del clima a escala local y con resolución ampliada de los horizontes temporales para el estado de Puebla, se obtuvieron de WorldClim 72 proyecciones de cambio climático, dadas por la combinación de seis modelos de circulación general y cuatro horizontes temporales que van desde la 2021 al 2100, caracterizando la exposición del estado de Puebla al cambio climático con el cálculo del cambio (anomalías Δ) en los valores promedio de las variables de temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación, de las 72 proyecciones de cambio climático, con relación al periodo de referencia (1970-2000). Éstos se agregaron espacialmente promediando los valores para el territorio estatal y para cada una de las regiones.

El análisis de la **vulnerabilidad, riesgo y resiliencia** para los sectores de biodiversidad, forestal, agrícola, hídrico y de la dimensión socioeconómica se desarrolló con base en un diagnóstico del grado de vulnerabilidad actual y futura de estos sectores ante el cambio climático.

La parte del **balance energético** estatal línea base 2020, se desarrolló correlacionando las fuentes de generación y aportación de energía, así como los sectores de consumo, mediante la metodología SANKEY. Considera la estructura empleada en el Balance Nacional de Energía de la Secretaría de Energía (SENER), lo cual permite la comparabilidad del desempeño Estatal con el Nacional.

El desarrollo de **inventarios de emisiones** de gases criterio, tóxicos y GyCEI, año base 2020 se realizó a partir de la consulta de diferentes fuentes de información y bases de datos para seleccionar las principales fuentes generadoras de emisiones contaminantes, gases y compuestos de efecto invernadero. Así mismo, la estimación de las emisiones de las fuentes seleccionadas se realizó a nivel municipal y se realizó una especiación de los compuestos orgánicos volátiles para identificar los principales compuestos tóxicos y por medio del índice incremental de reactividad de cada compuesto y su equivalencia en la formación de ozono. Para los GYCEI se consideró como base el IPCC y sus directrices para la elaboración de los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Además, proporcionó las bases para estimar la reducción de emisiones de las medidas y acciones que se plantean dentro del Programa de Gestión de Calidad del Aire y de Acción ante el Cambio Climático 2021-2030.

El capítulo de la **Incidencia de la contaminación** atmosférica sobre la salud de la población y los ecosistemas en la ZMVP, así como los potenciales impactos del cambio climático en el estado de Puebla, considera las características principales de los contaminantes criterio del aire, así como sus principales efectos en la salud, las estadísticas de las causas principales de mortalidad y morbilidad asociadas con la exposición a contaminantes del aire en el estado de Puebla para 2019 y la evaluación de los casos de mortalidad evitable en el escenario hipotético de que la ZMVP, específicamente del municipio de Puebla, cumpliera con el límite anual de la NOM-025-SSA1-2014 establecido para las $PM_{2.5}$. Así mismo, se presenta la vulnerabilidad de la población ante el cambio climático a dos enfermedades zoonóticas: el dengue y la enfermedad de Chagas (tripanosomiasis americana), en el estado de Puebla.

En el capítulo de **medidas de mitigación y adaptación** ante el cambio climático se describen las medidas identificadas por el grupo de trabajo, las cuales van orientadas a descarbonizar la economía, mejorar la eficiencia energética, reducir el consumo de combustibles fósiles, la electrificación del transporte, las opciones avanzadas de transporte masivo y la reducción de emisiones de la actividad industrial. Con el objetivo no solo de atender la problemática de la calidad del aire sino también en la reducción de emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero (GyCEI).

En el capítulo de **comunicación y participación** ciudadana se describen las principales actividades de socialización realizadas a lo largo de la elaboración del Programa, resaltando las percepciones de la ciudadanía que participó en los talleres de socialización. También, se presenta una estrategia de socialización del Programa.





1

Generalidades y contexto de la zona de estudio

1. DESCRIPCIÓN Y CONTEXTO DE LA ZONA DE ESTUDIO

1.1. Delimitación y caracterización de la zona de estudio

El estado de Puebla se ubica en la región central de la República Mexicana con una extensión de 34,309.6 km^2 lo que representa el 1.7% de la superficie del país, lo integran 217 municipios y 8,029 localidades urbanas y rurales (INEGI, 2020a). Con una población de 6,583,278 habitantes (INEGI, 2020a). Ocupando el quinto lugar de las entidades con mayor población. Entre los municipios más poblados se encuentra Puebla, Tehuacán, San Martín Texmelucan, San Andrés Cholula, Atlixco, San Pedro Cholula, Cuautlancingo, Amozoc, Huauchinango y Teziutlán (Mapa 001).

1.2. Localización geográfica del estado de Puebla

La entidad se localiza entre las coordenadas geográficas Norte 20°50'24", al Sur 17°51'39" de latitud Norte; al Este 96°43'29", al Oeste 99°43'29" de longitud Oeste (INEGI, 2017a). La altitud promedio sobre el nivel del mar es de 2,152 m. Limita al Oeste con los estados de Morelos, de México y Tlaxcala; al Noroeste con Hidalgo; al Norte y Este con Veracruz; al Suroeste con Guerrero y al Sur con Oaxaca (Mapa 002) (INEGI, 2020b).

1.3. Relieve

En cuanto a su relieve, Puebla forma parte de las provincias Sierra Madre del Sur, Eje Neovolcánico, Sierra Madre Oriental y Llanura Costera del Golfo Norte. En el centro y norte de la entidad predominan llanuras, lomeríos y valles al norte. Las principales elevaciones que corresponden total o parcialmente con el estado de Puebla, se encuentran el Volcán Pico de Orizaba (Citlaltépetl), Volcán Popocatépetl, Volcán Iztaccíhuatl y Volcán Malinche (Matlalcuéyatl) (INEGI, S/A) (Tabla 1).

PUEBLA Un gobierno presente

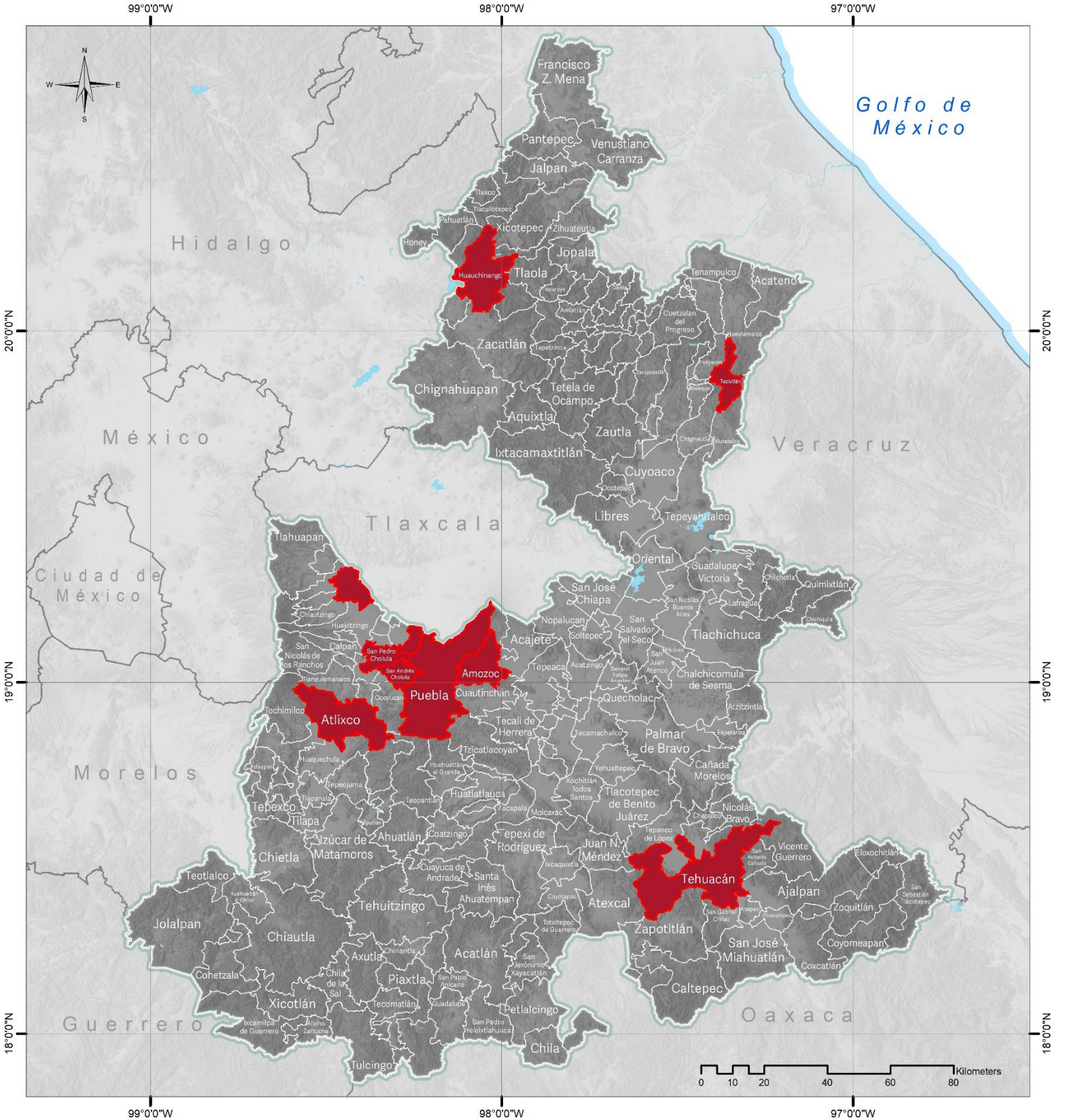
Secretaría de Medio Ambiente, Desarrollo Sustentable y Ordenamiento Territorial

MEDIO AMBIENTE

INECC

COMISIÓN AMBIENTAL DE LA MEGALÓPOLIS

PROGRAMA DE GESTIÓN DE CALIDAD DEL AIRE Y DE ACCIÓN ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO 2021-2030



Simbología

- Límite municipal
- Municipios del Estado de Puebla
- Límite del Estado de Puebla
- Límite estatal
- Cuerpos de agua
- Municipios más poblados del Estado de Puebla

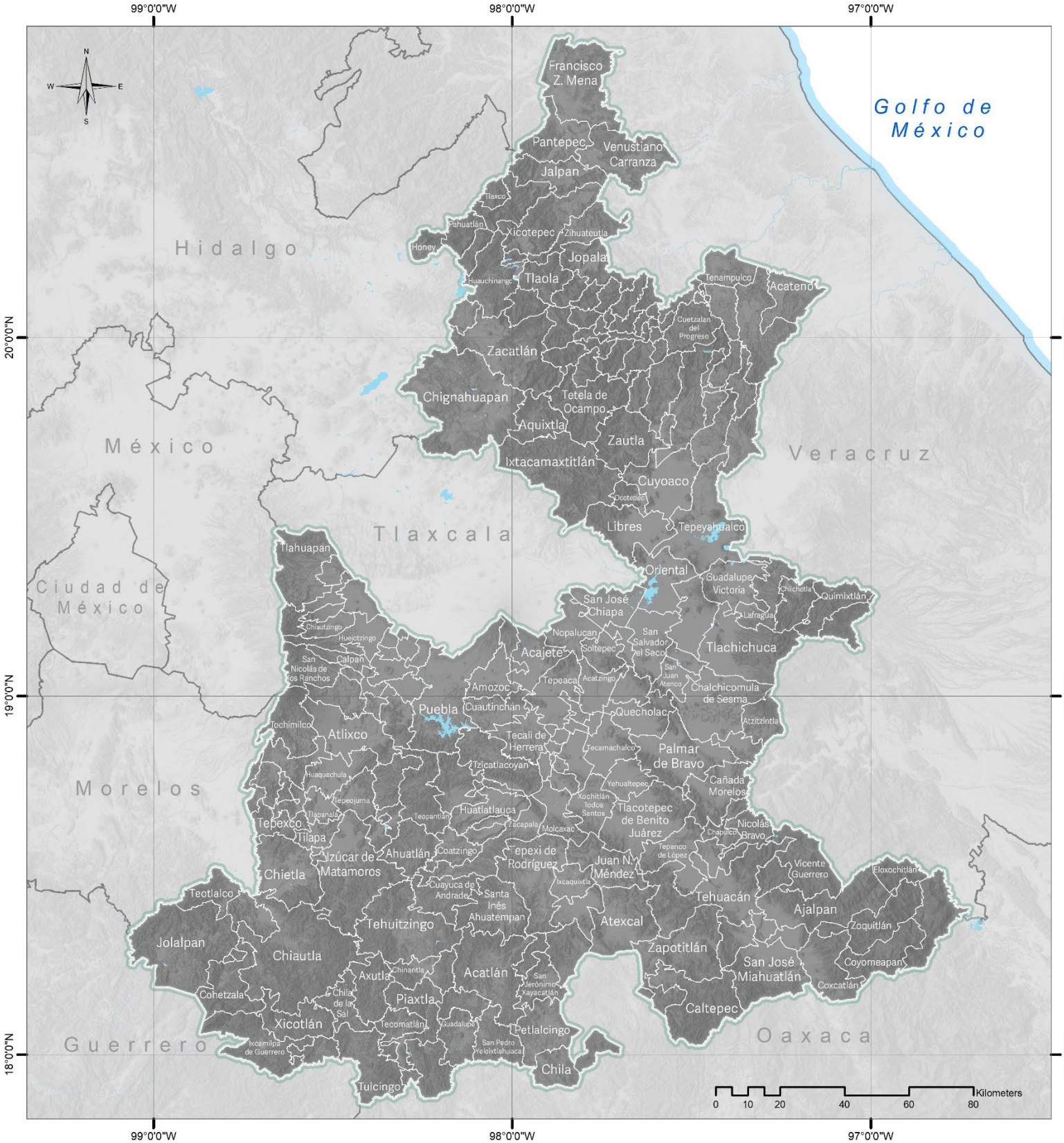


M001. Municipios más Poblados del Estado

1,692,181	Puebla	138,433	San Pedro Cholula
327,312	Tehuacan	137,435	Cuautlancingo
155,738	San Martín Texmelucan	125,876	Amozoc
154,448	San Andrés Cholula	103,946	Huauchinango
141,793	Atlixco	103,583	Teziutlán

Fuente: Elaboración Propia con información del INEGI, Censo de Población y Vivienda 2020.

Coordinate System: MEXICO ITRF 2008 LCC
Projection: Lambert Conformal Conic 2SP
Datum: ITRF 2008



Simbología

- Límite municipal
- Límite estatal
- Cuerpos de agua
- Límite del Estado de Puebla
- Municipios del Estado de Puebla



M002. Mapa de Ubicación

Fuente: Mapa Base: Marco Geoestadistico diciembre 2021, Estado de Puebla, INEGI.

Coordinate System: MEXICO ITRF 2008 LCC
Projection: Lambert Conformal Conic 2SP
Datum: ITRF 2008

TABLA 1. PRINCIPALES ELEVACIONES EN EL ESTADO DE PUEBLA

ELEVACIÓN	ALTITUD (msnm)
Volcán Pico de Orizaba (Citlaltépetl)	5,610
Volcán Popocatépetl	5,500
Volcán Iztaccíhuatl	5,220
Cerro La Negra	4,580
Volcán Malinche (Matlalcuéyatl)	4,420
Cerro El Rosario	3,440
Cerro Derrumbadas	3,400
Cerro Zizintépetl	3,260
Cerro Hilillo	3,140
Cerro Pizarro	3,100
Cerro Tlachaloya	3,070
Cerro Majada El Muerto	2,760
Cerro Chignautla	2,560
Cerro San Lorenzo	2,120
Cerro Tecorral	2,060

Fuente: Tomado de INEGI (S/A) https://cuentame.inegi.org.mx/mapas/pue.aspx?tema=M. Fecha de consulta 05 de septiembre de 2022.

1.4. HIDROLOGÍA SUPERFICIAL

1.4.1. REGIONES HIDROLÓGICAS

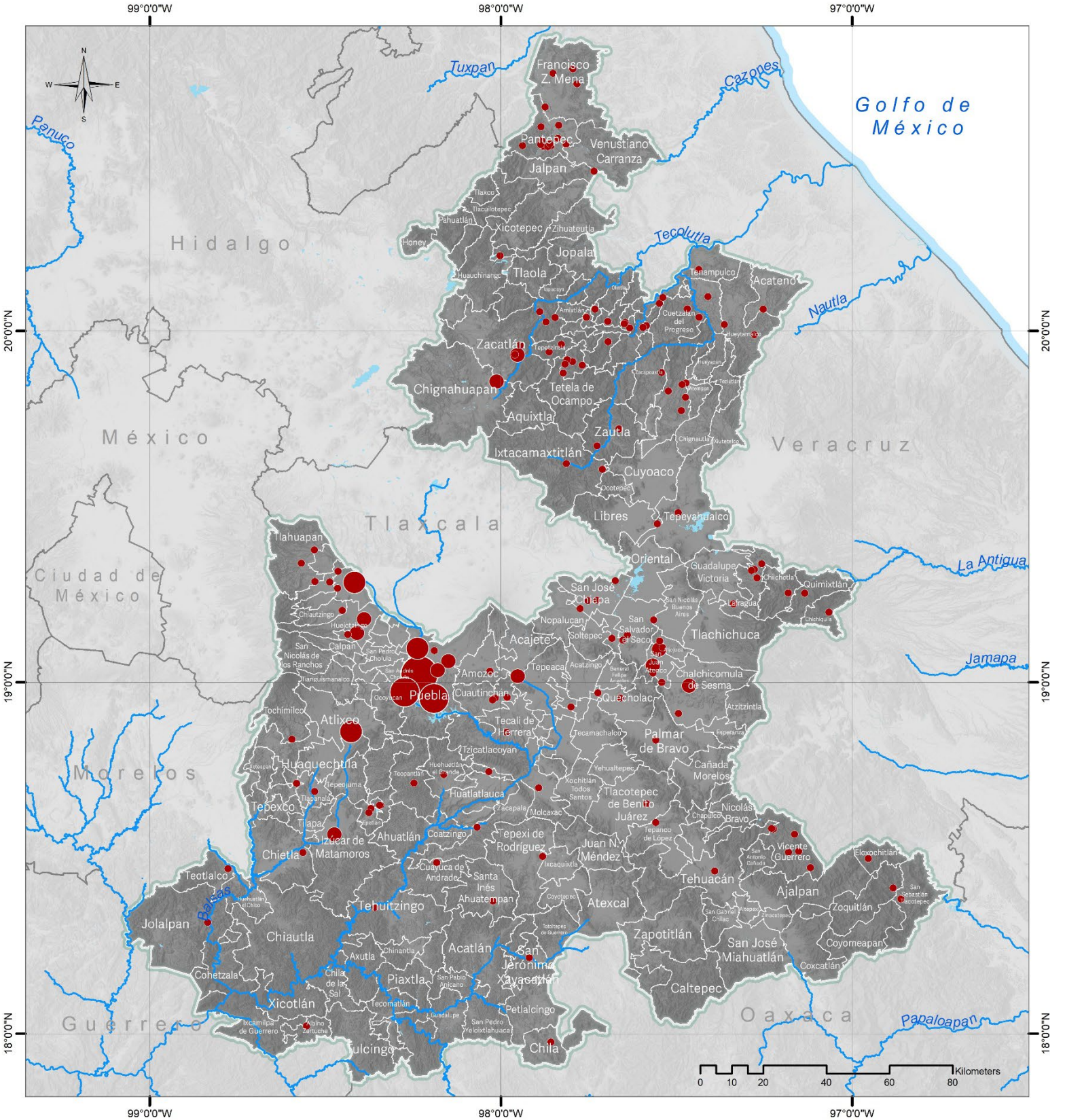
La totalidad del territorio del estado de Puebla se encuentra comprendido en cuatro grandes regiones hidrológicas (RH) de las 37 en que está dividido la República Mexicana. Estas regiones son, en orden de extensión dentro de la entidad: RH18 Río Balsas; RH27 Ríos Tuxpan-Nautla (Norte de Veracruz); RH28 Río Papaloapan y la RH26 Río Pánuco (INEGI, 2000).

1.4.2. HIDROLOGÍA SUBTERRÁNEA

Con respecto a la hidrología subterránea la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA, 2020b), establece cinco grandes zonas geohidrológicas, denominadas: Valle de Puebla, Cuenca Oriental, Tecamachalco, Atlixco-Izúcar de Matamoros y Tehuacán. Otras de menor importancia son las de Ixcaquixtla, Metlaltoyuca y Atoyatempan.

1.4.3. PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

El estado de Puebla cuenta con 142 plantas municipales de tratamiento de aguas residuales en operación con diferentes tipos tratamientos (Mapa 008), una capacidad instalada de 3,951.7 l/s y un caudal tratado de 3,934.1 l/s (CONAGUA, 2020c).



Simbología

- Ríos principales
- Límite municipal
- Municipios del Estado de Puebla
- Límite del Estado de Puebla
- Límite estatal
- Cuerpos de agua

Capacidad Instalada

- 0.04 - 31.00
- 31.01 - 100.00
- 100.01 - 340.00
- 340.01 - 700.00
- 700.01 - 1,100.00



M008. Principales plantas de tratamiento de aguas residuales

Fuente: Elaboración Propia con información de las plantas Municipales de tratamiento de aguas residuales en operación 2021, registradas en el inventario nacional en escala 1:250 000, Sistema Nacional de Información del Agua (SINA), CONAGUA.

Coordinate System: MEXICO ITRF 2008 LCC
Projection: Lambert Conformal Conic 2SP
Datum: ITRF 2008

1.5. Uso del suelo y vegetación

1.5.1. Suelos

Las unidades de suelo más abundantes son los Leptosol, Regosol, Phaeozem y Andosol, que en conjunto ocupan el 69.1 % del territorio poblano, el 24.2 % es ocupado por los Luvisoles, Vertisoles, Arenosoles, Cambisoles, Calcisoles y Durisoles y el restante 5.3 % por unidades poco representativas en extensión como Chernozems, Solonchaks, Acrisoles, Umbrisoles, Nitisoles, Gipsisoles, Kastañozems, Planosoles, Solonetz y Gleysoles (CONABIO, 2011).

La erosión del suelo

Las extensiones territoriales (%) de los procesos de degradación en el estado de Puebla están representados por la erosión eólica (9.6), degradación física (2.9), erosión hídrica (10.1) y la degradación química (22.1), lo que representa un total de 44.7 (SEMARNAT-CP, 2003) (Mapa 010).

1.5.2. Uso de suelo natural (Vegetación)

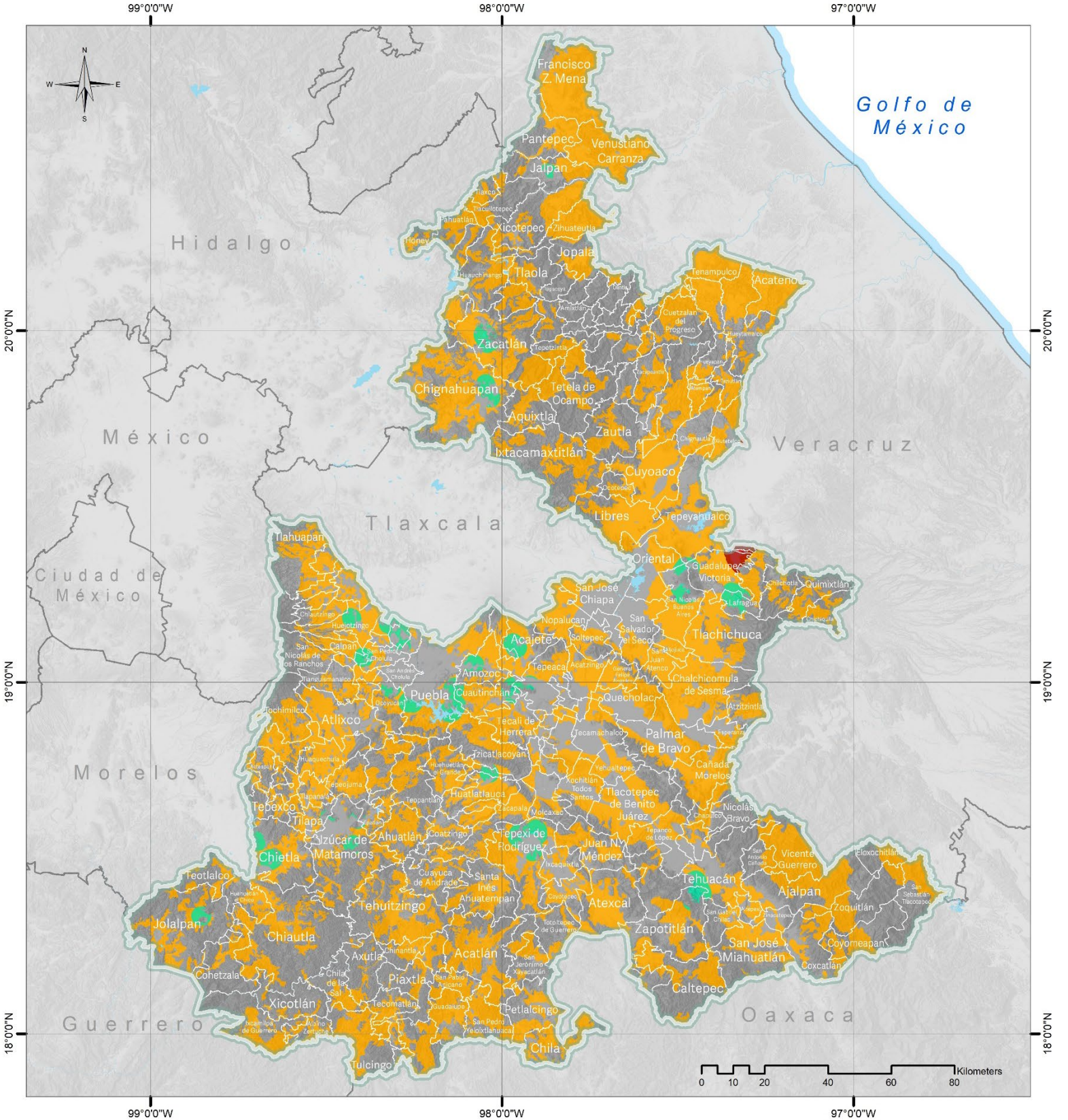
Forestal

Con base al Inventario Nacional Forestal y de Suelos 2015-2020, en la entidad, 1.6 Millones de hectáreas (45.9%) corresponden a superficie forestal, considerando diferentes tipos de vegetación, principalmente bosque de coníferas y latifoliadas, selvas medianas y bajas, así como, matorrales desérticos. Mientras que 1.9 Millones de hectáreas (54.1%) son áreas no forestales (CONAFOR, 2021).

Agrícola

Alrededor del 40.3% (CONABIO, 2011) de la superficie del estado de Puebla se encuentra involucrado principalmente en actividades agrícolas (Uso de suelo humano), concentrándose en la región centro-sur de la entidad. Además, cuenta con uso potencial agrícola con diferentes clases de uso de la tierra en una superficie del 30% distribuida irregularmente en la región centro-sur del estado.

La superficie dedicada a las actividades agrícolas, pecuarias y forestales es de 2,520,411.50 ha representa el 73.46% de la superficie estatal y con el siguiente régimen, la superficie según la tenencia de la tierra corresponde: 1,171,919 ha ejidal y comunal, 1,333,723 propiedad privada y 14,767 pública (CONABIO, 2011). Los Principales Indicadores Forestales del INFYS, Ciclo 2015-2020, considera que la superficie no forestal, correspondiente a la agricultura en el estado de Puebla es de 1,743,082.2 ha (Tabla 2).



Simbología

- Cuerpos de agua
- Límite del Estado de Puebla
- Límite estatal
- Límite municipal

Erosión del suelo

Tipo de erosión

- Sin datos
- Antrópica
- Eólica
- Hídrica



M010. Erosión del suelo

Fuente: Mapa Base: Marco Geoestadístico diciembre 2021, Estado de Puebla, INEGI.

Coordinate System: MEXICO ITRF 2008 LCC
Projection: Lambert Conformal Conic 2SP
Datum: ITRF 2008

TABLA 2. SUPERFICIE AGRÍCOLA DEL ESTADO DE PUEBLA

ECOSISTEMA	FORMACIÓN FORESTAL	TIPO DE AGRICULTURA	SUPERFICIE (Ha)
Áreas no forestales		Agricultura de humedad	33.0
		Agricultura de riego	282,304.6
		Agricultura de temporal	1,187,893.9
		Pastizal cultivado	114,229.6
		Pastizal inducido	158,621.1
Total			**1,743,082.2**

Fuente: Elaboración propia con información CONAFOR, 2020a. Principales Indicadores Forestales del Instituto Nacional Forestal y Suelos (INFYS), Ciclo 2015-2020 para el estado de Puebla (https://snmf.cnf.gob.mx/principaleindicadoresforestalesciclo-2015-2020/)

Pecuaria

De acuerdo con INEGI (S/A). El uso potencial de la actividad pecuaria, no de productos pecuarios, en la entidad, está enfocada al ganado caprino, en menor grado al ovino y bovino, cuya actividad se distribuye principalmente en el norte del estado (SIAP. https://nube.siap.gob.mx/infografias_siap/pag/2020/Puebla-Infografia-Agroalimentaria-2020).

Uso forestal

Con respecto al uso forestal la entidad tiene ocho Unidades de Manejo Forestal (UMAFORES) que representan una superficie de 3,412,623 ha (CONAFOR, 2021). La producción forestal maderable nacional para el año 2018 fue de 8,335.090 (m^3r) derivado del aprovechamiento de diferentes especies forestales. En este sentido, la producción forestal maderable para el estado de Puebla fue de 326,236 (m^3r), representando el 3.9% de la producción forestal nacional para ese año (Tabla 3).

TABLA 3. INFORMACIÓN SOBRE LA PRODUCCIÓN FORESTAL MADERABLE Y NO MADERABLE POR GÉNERO (NOMBRE COMÚN) Y PRODUCTOS DEL ESTADO DE PUEBLA 2018.

Maderable

Nombre común	Volumen (m^3
Pino	230,589
Oyamel	56,116
Otras coníferas	862
Encino	28,694
Otras latifoliadas	7,603
Comunes	2,372
Total	326,236

Producto	Producción (m^3r)
Escuadría	264,150
Leña	60,834
Carbón	1,253
Total	326,236

No maderable

Producto	Toneladas
Otros	4,727
Tierra de monte	14
Total	4,742

Fuente: Elaboración propia con información del Anuarios Estadísticos Forestales, SEMARNAT, 2018. https://snif.cnf.gob.mx/estadisticas-por-estados-de-produccion-forestal-maderable-y-no-maderable/

Áreas Naturales Protegidas

Sitios Ramsar

Los Sitios Ramsar en el estado de Puebla están representados por: Presa Manuel Ávila Camacho (Presa Valsequillo) y Sistema de Represas y Corredores Biológicos de la Cuenca Hidrográfica del Río Necaxa, este último lo comparte con los estados de Puebla e Hidalgo y cuya designación corresponde a 2012 y 2008, respectivamente. Estos cuentan con una superficie de 23,612 y 1,541.4 ha (CONABIO (S/A).

Áreas Naturales Protegidas Federales

El estado de Puebla comprende cinco áreas naturales protegidas de carácter federal, integradas por tres parques nacionales la Montaña Malinche o Matlalcuéyatl, el Iztaccíhuatl- Popocatépetl, y el Pico de Orizaba. Así como, la Reserva de la Biosfera Tehuacán-Cuicatlán y el Área de Protección de Recursos Naturales denominada, Zona Protectora Forestal Vedada Cuenca Hidrográfica del Río Necaxa (CONANP/SIMEC (S/A). Mapa 018)

Áreas Destinadas Voluntariamente a la Conservación

La entidad cuenta con seis Áreas Destinadas Voluntariamente a la Conservación, las cuales son: Área de Preservación de la Naturaleza y Zonas de Usos Múltiples para el Ecoturismo Kolijké (Zihuatehutla), Cacalotepec Fracción Primaria y Fracción Segunda (Xicotepec de Juárez), Ozuma y Cuahuloma (Hueyapan), El Campanario (Chiautla de Tapia), Palos Caídos (Zacatlán) y Flor del Bosque (Amozoc). Que representan una superficie total de1,613.17 ha (CONANP, 2022).

Unidades de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre

Las Unidades de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre (UMA) en el estado de Puebla, registradas hasta el año 2020 por 520 UMA (345 extensivas, 175 intensivas) con una superficie total de 23,785.47 ha (extensivas 19,021.44 ha, intensivas 4,764.03 ha). La superficie involucrada en estas UMA representa el 0.69% de la superficie de la entidad y corresponden a 49 municipios.

Considerando el listado de las áreas de Importancia para la Conservación de las Aves (CONABIO avesMX, 2015). Solamente se ubican dos AICAS para el estado de Puebla: Presa Valsequillo y La Malinche con una superficie de 23,612 y 64,138.39 ha, respectivamente.

Regiones Terrestres Prioritarias

En cuanto a la Regiones Terrestres Prioritarias solamente tres corresponden parcialmente con la entidad: Cuetzalan (RTP-105), La Malinche (RTP-106) y Sierra Nevada (RTP-107), las cuales, las comparten con los estados de Veracruz, Tlaxcala y Morelos. En este sentido, las RTP de referencia cuentan con las siguientes superficies: 1,284, 482 y 1,227 ha, respectivamente (CONABIO, 2017, CONABIO, 2017a, CONABIO, 2017b, CONABIO, 2017c).

Áreas Naturales Protegidas del estado de Puebla

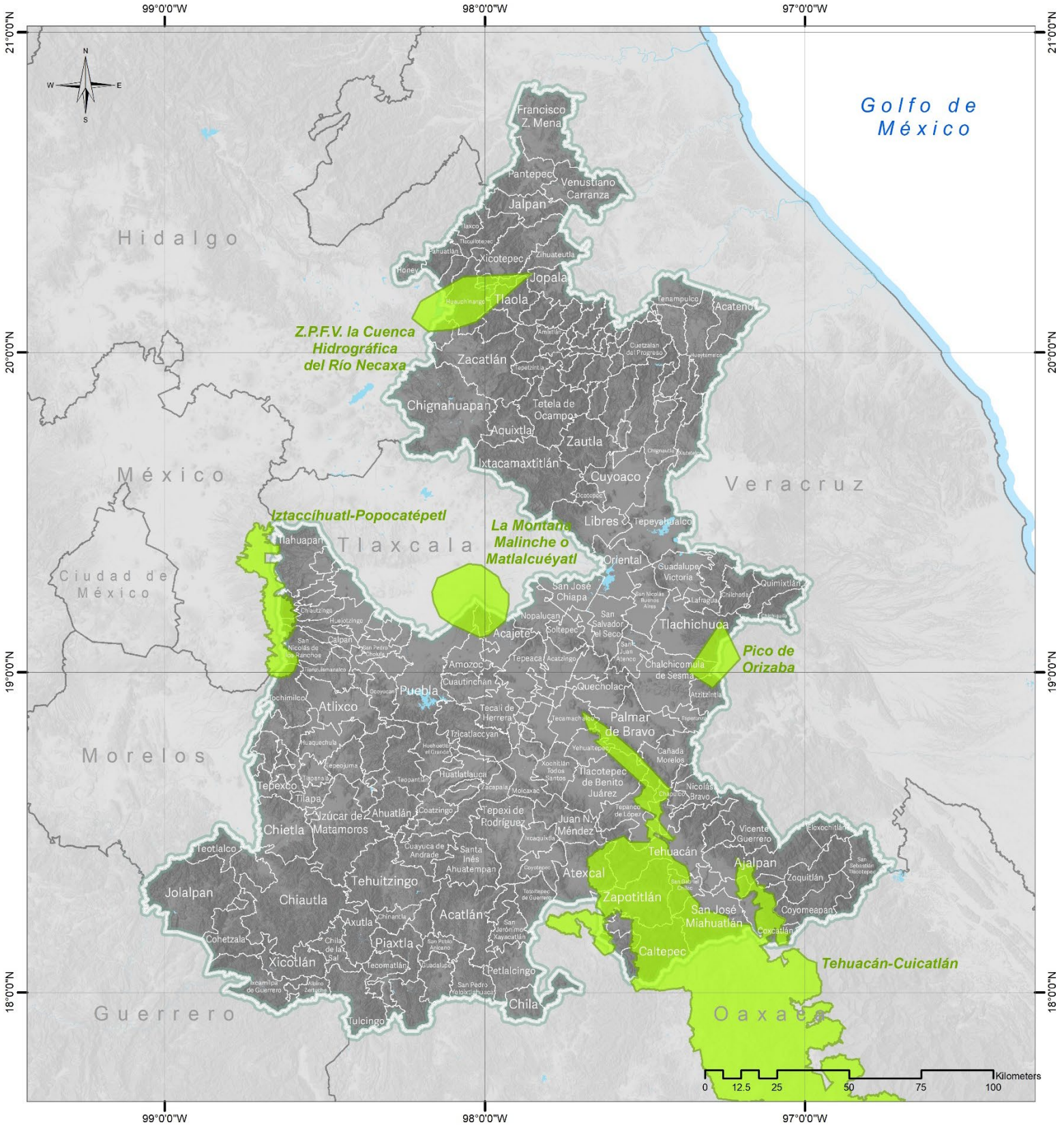
El estado de Puebla ha impulsado diversas acciones encaminadas a la conservación de la biodiversidad: a) conservación de suelos (reconversión productiva, manejo de tierras, agricultura de ladera, reforestación), b) el establecimiento de Unidades de Manejo para la Conservación de la Vida Silvestre (UMA), y la creación de áreas naturales protegidas (CONABIO, 2013). Estas últimas se describen en la Tabla 4.

TABLA 4. ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS DEL ESTADO DE PUEBLA

ANP	CATEGORÍA	DECRETO	SUPERFICIE (HA)	UBICACIÓN	USO DEL SUELO Y VEGETACIÓN
Cerro Zapotecas	Parque estatal	Diario Oficial del estado de Puebla 26/nov/2008	536-43039	Municipio de San Pedro Cholula, Pue.	Comprenden zonas forestales (173-49-10 ha)
Humedal Valsequillo		Diario Oficial del estado de Puebla 11/abr/2012	13,784.342	Municipio de Puebla, Pue.	
Sierra del Tentzo		Diario Oficial del estado de Puebla 29/abr/2011	57,815.28193	Municipios Atoyatempan, Huaquechula, Huatlatlauca, Huehuetlán El Grande, Molcaxac, Ocoyucan, Puebla, San Diego La Mesa Tochimiltzingo, San Juan Atzompa, Teopantlán, Tepeojuma y Tzicatlacoyan, Pue.	
Cerro Colorado		Diario Oficial del estado de Puebla 20/oct/2017 18/oct/2018	33,409.00	Ajalpan, Nicolas Bravo, Chapulco, San Antonio Cañada y Santiago Miahuatlán, Pue.	
Lagos de Tepeyahualco y Guadalupe Victoria		Diario Oficial del estado de Puebla 15/nov/2018	38,183.69	Guadalupe Victoria y Tepeyahualco, Pue.	
Cerro Cómalo	Reserva ecológica municipal		131	San Jerónimo Tecuanipan, Pue.	
Cerro Amalucan			227	Puebla, Pue.	
Cerro Mendocinas			635	San Martín Texmelucan	
Cerro Tepeyac			170	San Martín Texmelucan	
Cerro Totolqueme			297	San Martín Texmelucan	

Elaboración propia con información de:

- Gobierno del Estado de Puebla, CONACYT, CIBIOGEM https://conacyt.mx/cibiogem/anpl/pue
- Secretaría de Medio Ambiente, Desarrollo Sustentable y Ordenamiento Territorial del estado de Puebla http://datos.puebla.gob.mx/dataset/areas-naturales-protegidas-jurisdiccion-estatal-federal
- Periódico Oficial del estado de Puebla. 20/10/2017. DECRETO del Ejecutivo del estado, por el que expide la Declaratoria del Área Natural. Protegida de Jurisdicción Estatal, de la zona denominada "Cerro Colorado".
- Periódico Oficial del estado de Puebla. 15/11/2018. Decreto del Ejecutivo del estado por el que expide la Declaratoria de Área Natural Protegida de Jurisdicción Estatal, en la Modalidad de Parque Estatal de la Zona denominada “Lagos de Tepeyahualco y Guadalupe Victoria.
- Periódico Oficial del estado de Puebla. 29/04/2011. DECRETO del Ejecutivo del estado, por el que declara Área Natural Protegida de Jurisdicción Estatal, en su modalidad de Reserva Estatal, la zona denominada "Sierra del Tentzo", ubicada en los municipios de Atlixco, Atoyatempan, Huaquechula, Huatlatlauca, Huehuetlán El Grande, Molcaxac, Ocoyucan, Puebla, San Diego La Mesa Tochimiltzingo, San Juan Atzompa, Teopantlán, Tepeojuma' y Tzicatlacoyan, todos del estado de Puebla, con una superficie total de 57,815.28193 Hectáreas.
- Periódico Oficial del estado de Puebla. 02/05/2011. DECRETO del Ejecutivo del estado, por el que declara Área Natural Protegida de Jurisdicción Estatal, en su modalidad de Reserva Estatal, la zona denominada "Sierra del Tentzo", ubicada en los municipios de Atlixco, Atoyatempan, Huaquechula, Huatlatlauca, Huehuetlán El Grande, Molcaxac, Ocoyucan, Puebla, San Diego La Mesa Tochimiltzingo, San Juan Atzompa, Teopantlán, Tepeojuma' y Tzicatlacoyan, todos del estado de Puebla, con una superficie total de 57,815.28193 Hectáreas.
- Periódico Oficial del estado de Puebla. 27/10/2017. DECRETO del Ejecutivo del estado, por el que expide la Declaratoria del Área Natural Protegida de Jurisdicción Estatal, de la zona denominada "Cerro Colorado".
- Periódico Oficial del estado de Puebla. 12/04/2012. DECRETO del Ejecutivo del estado, por el que expide la Declaratoria del ANP de Jurisdicción Estatal, en la modalidad de Parque Estatal, denominada "HUMEDAL DE VALSEQUILLO".
- Periódico Oficial del estado de Puebla. 25/11/2008. Declaratoria del Ejecutivo del estado, por el que declara Área Natural Protegida, con el carácter de Jurisdicción Estatal “Cerro Zapoteca”, ubicado en el municipio de San Pedro Cholula, Puebla, con una superficie total de 536-43039 Hectáreas.



M018. Áreas Naturales Protegidas de carácter Federal

Fuente: Elaboración Propia con información, Datos vectoriales de las Áreas Naturales Protegidas Federales de la República Mexicana a escala 1:250 0000, CONANP. Sistema Nacional de Información del Agua (SINA), CONGUA.

Coordinate System: MEXICO ITRF 2008 LCC
Projection: Lambert Conformal Conic 2SP
Datum: ITRF 2008

1.6. CLIMATOLOGÍA

En la entidad los climas que predominan son los templados y se distribuyen en la parte central, desde el oriente de la Sierra Nevada hasta el occidente del Pico de Orizaba. En orden de abundancia les siguen los climas cálidos del norte, noreste y suroeste; los semicálidos, situados entre los templados y los cálidos de las zonas norte y centro-suroeste; los semisecos, en el sursuroeste; los secos, al sur y sureste de la población Tehuacán; los semifríos cuyas áreas más extensas corresponden a las laderas de la Sierra Nevada, el Pico de Orizaba y La Malinche; y los fríos, que ocupan las cumbres de la sierra y los volcanes antes mencionados (Gobierno del Estado de Puebla, 2011) (Mapa 024).

1.6.1. TEMPERATURA

La temperatura analizada de del periodo 1981 a 2010, se tiene que la media de promedios mensuales en el estado de Puebla es de 20.1°C. La mínima es de 6.5°C registrada en el mes de enero. La máxima es de 27.8°C y se presenta en el mes de mayo. Las temperaturas más altas se presentan en los extremos norte y sur de la entidad; y las más bajas sobre las cumbres de las principales elevaciones (Figura 1).

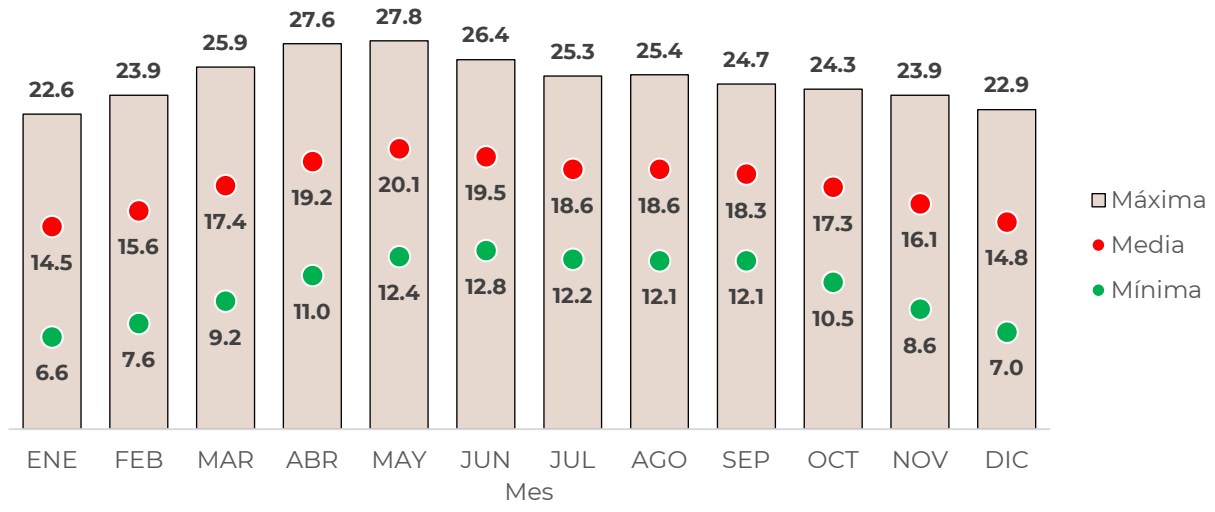


FIGURA 1. TEMPERATURAS MÁXIMAS, MEDIAS Y MÍNIMAS PROMEDIO MENSUAL EN EL ESTADO DE PUEBLA (1981-2010).

Fuente: Elaboración propia con información de normales climáticas de 119 estaciones ubicados en 81 municipios del estado de Puebla (CONAGUA, S/A).

PUEBLA Un gobierno presente

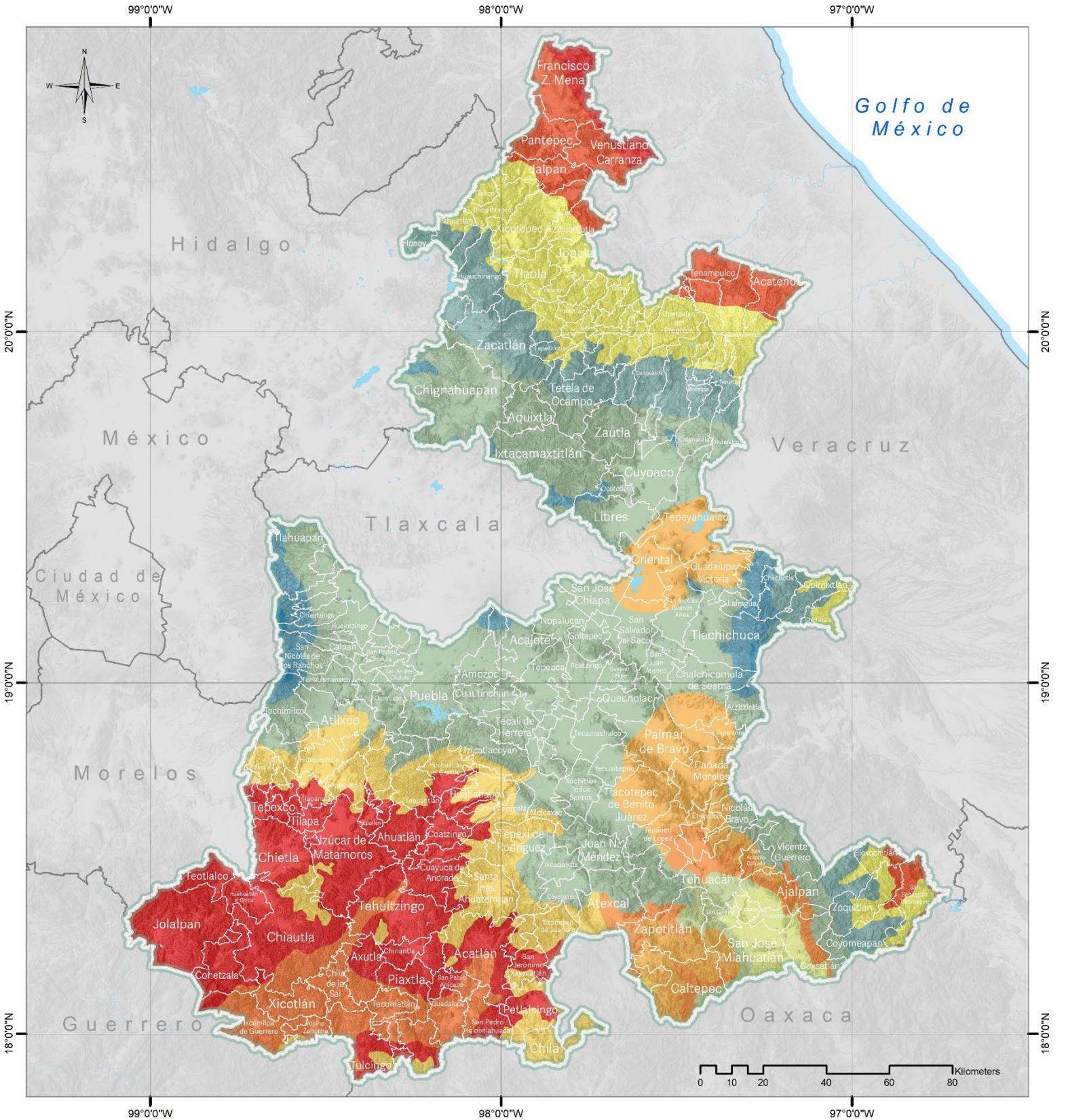
Secretaría de Medio Ambiente, Desarrollo Sustentable y Ordenamiento Territorial

MEDIO AMBIENTE

INECC

COMISIÓN AMBIENTAL DE LA MEGALÓPOLIS

PROGRAMA DE GESTIÓN DE CALIDAD DEL AIRE Y DE ACCIÓN ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO 2021-2030



Simbología

- Límite municipal
- Cuerpos de agua
- Límite del Estado de Puebla
- Límite estatal

Unidades Climáticas

Tipo

- Cálido subhúmedo
- Cálido húmedo
- Semiseco muy cálido
- Semiseco semicálido
- Semiseco templado
- Semicálido subhúmedo
- Semicálido húmedo
- Seco muy cálido
- Seco semicálido
- Templado subhúmedo
- Templado húmedo
- Semifrío subhúmedo
- Frío



M024. Unidades Climáticas

Fuente: Elaboración Propia con información de Conjunto de datos vectoriales escala 1:1 000 000. Unidades climáticas, INEGI

Coordinate System: MEXICO ITRF 2008 LCC
Projection: Lambert Conformal Conic 2SP
Datum: ITRF 2008

1.6.2. Precipitación

La precipitación promedio mensual del estado en el periodo 1981 a 2010 es de 188 mm; las lluvias se presentan principalmente entre los meses de mayo a octubre (CONAGUA S/A) (Figura 2).

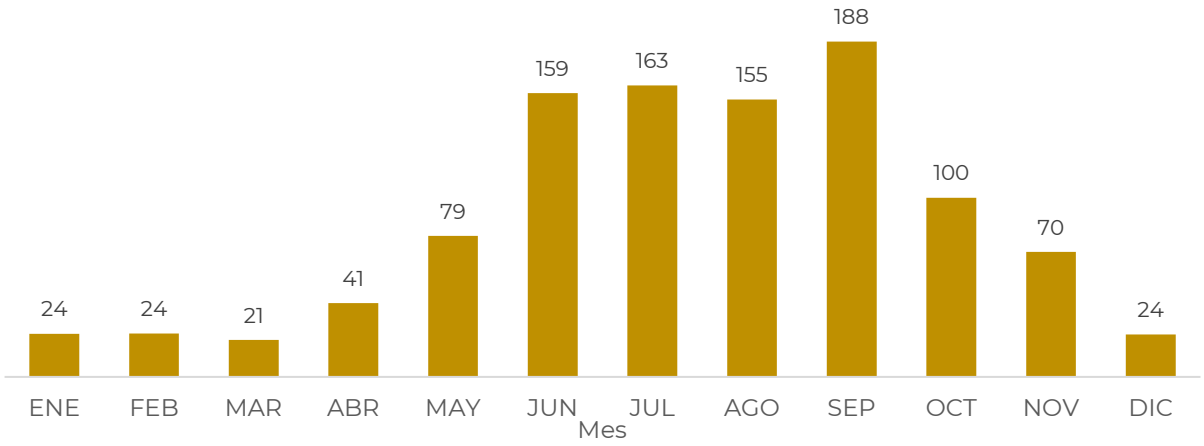


Figura 2. Precipitación promedio mensual en el estado de Puebla (1981-2010).

Fuente: CONAGUA, S/A.

1.6.3. Humedad Relativa

El aire caliente puede absorber más humedad que el aire frío. La humedad relativa indica cuánta humedad físicamente es posible que este realmente contenida en el aire. Para el estado la humedad relativa se encuentra en el rango del 47 al 69%. Con el mes más seco en marzo con sólo un 47% de humedad, mientras los valores más altos se presentan entre julio y agosto (Figura 3).

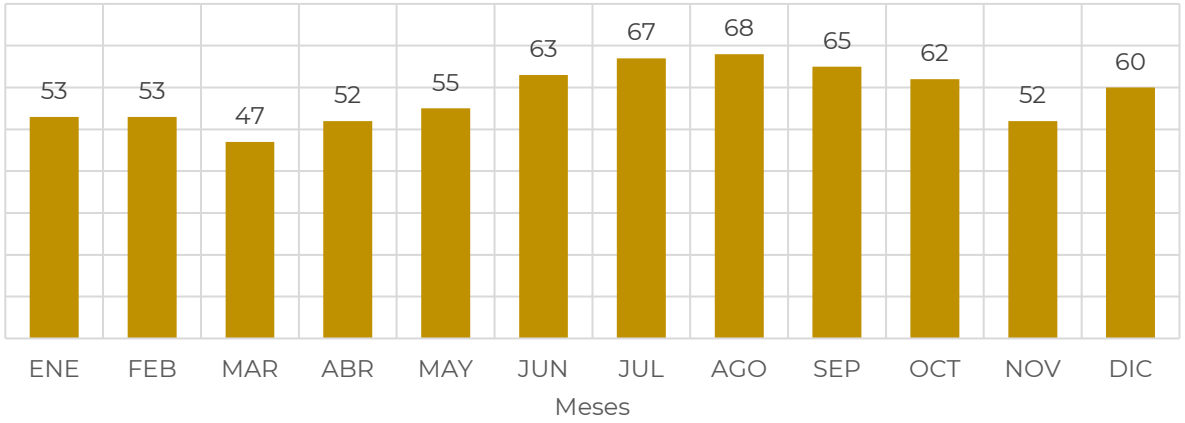


Figura 3. Humedad relativa media (%) en el Estado de Puebla

Fuente: Elaboración propia con información de las normales climáticas del estado de Puebla periodo 1981-2000. CONAGUA. Disponible en: https://es.scrib.com/257536465/hoja-de.datos-Climatologicos-del-estado-de-Puebla

1.6.4. Radiación e irradiancia solar

La radiación solar es el flujo de energía que se recibe del Sol en forma de ondas electromagnéticas. Las cantidades de radiación son expresadas generalmente en términos de exposición radiante o irradiancia, medida como el flujo de energía recibida por unidad de área en forma instantánea cuya unidad es el Watt por metro cuadrado (W/m^2). Un Watt es igual a un Joule por segundo.

La radiación solar es uno de los parámetros que cotidianamente mide la Red Estatal de Monitoreo Atmosférico de Puebla, En la siguiente gráfica se muestran los valores registrados en el periodo de 2019 a 2021.

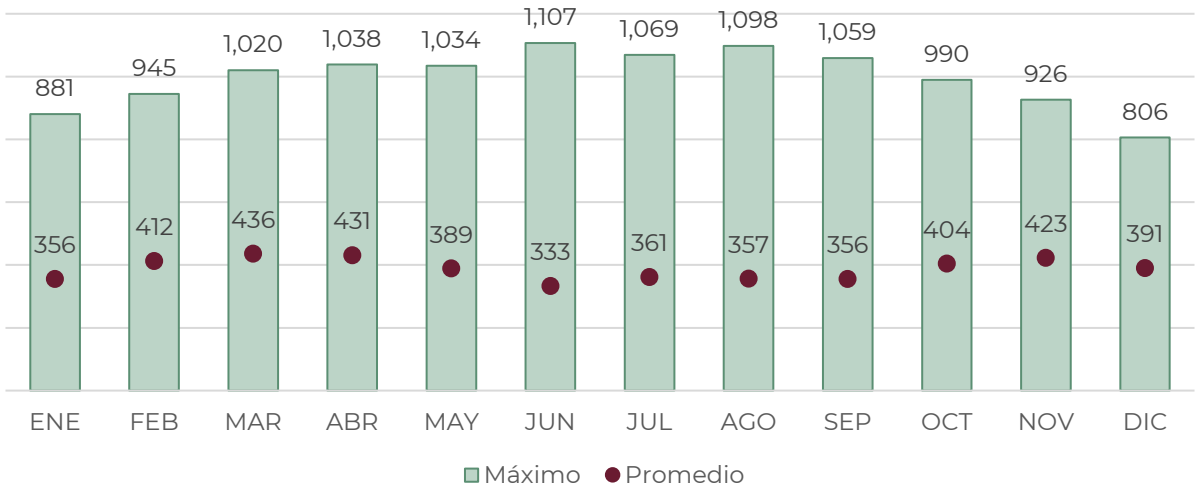


Figura 4. Radiación solar (W/m^2) en la ZMVP (2019 – 2021)

Fuente: Elaboración propia con datos de REMA Puebla.

1.6.5. Dinámica de vientos y cuencas atmosféricas

Viento

Para caracterizar el movimiento de las masas de aire en el Estado, se obtuvieron datos de velocidad y dirección del viento del Sistema Global de Predicción (GFS por sus siglas en inglés) de la Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica (NOAA por sus siglas en inglés) y los Centros Nacionales para la Predicción Ambiental (NCEP por sus siglas en inglés), registrados cada 5 horas a 10 m de altura, durante el periodo 2015-2020, con una resolución espacial de 0.5 grados, aproximadamente 50 km. En las figuras 5 y 6 se muestran los valores promedio de dirección y velocidad obtenidos, así como rosas de viento estacionales.

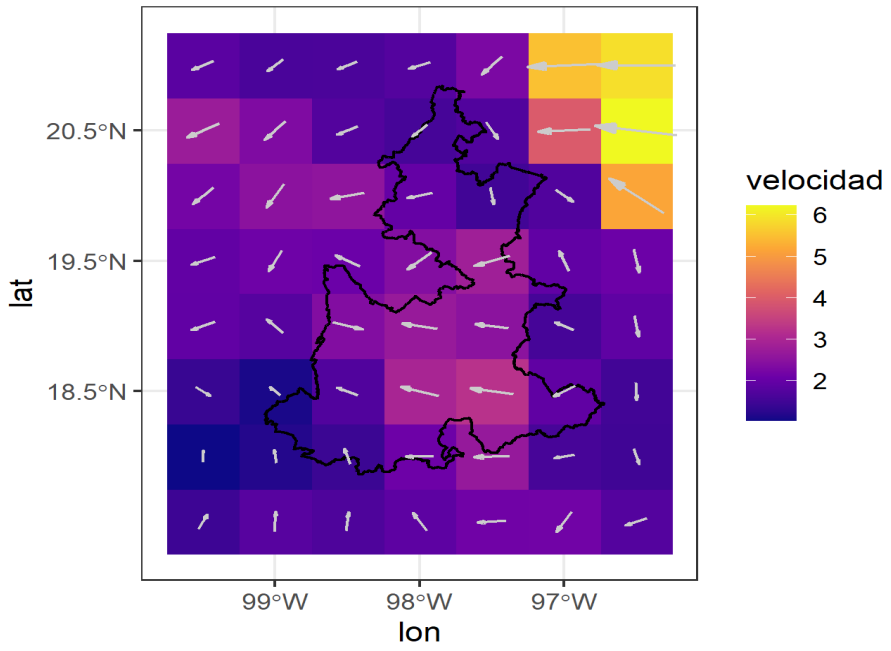


FIGURA 5. PROMEDIO DE LA DIRECCIÓN Y VELOCIDAD DEL VIENTO [M S^{-1}] EN EL ESTADO DURANTE EL PERIODO 2015-2020.

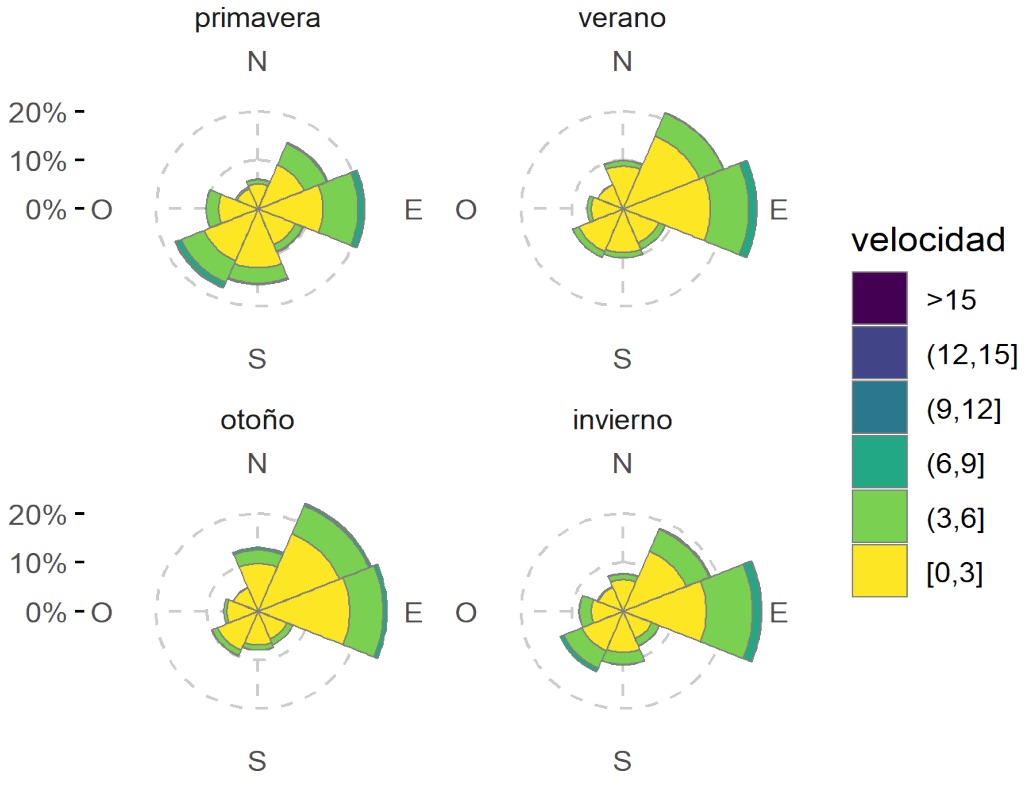
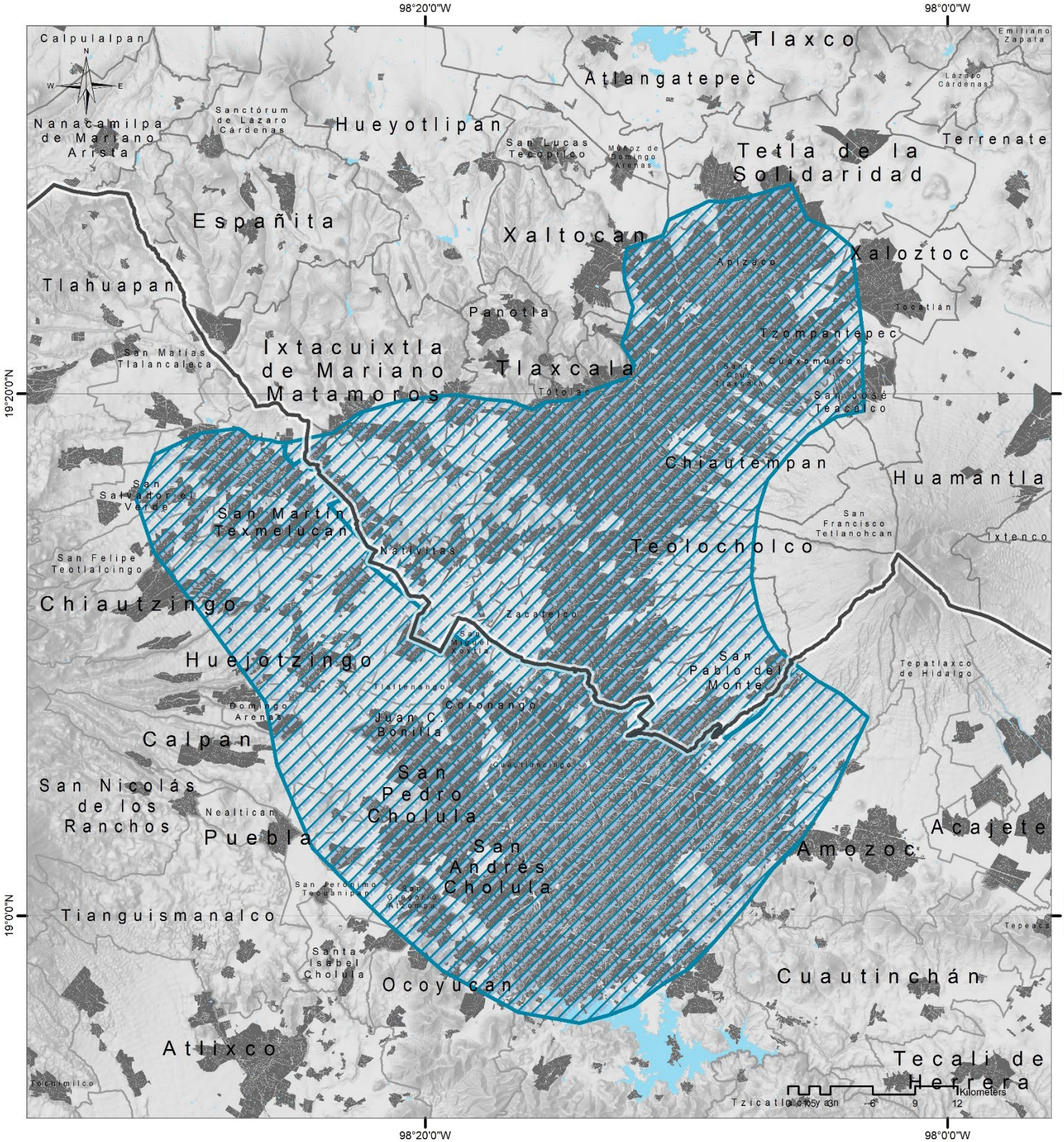


FIGURA 6. ROSA DE VIENTOS PARA EL ESTADO POR ESTACIÓN DURANTE EL PERIODO 2015-2020; LA VELOCIDAD SE PRESENTA EN M S^{-1}.

Fuente: Elaboración propia con información de NOAA y NCEP



Simbología

- Límite municipal
- Cuerpos de agua
- Mancha urbana
- Límite del Estado de Puebla
- Límite estatal
- Cuencas Atmosferica



M028. Cuencas Atmosferica del Valle de Puebla-Tlaxcala (ZMVPT)

Fuente: Elaboración propia
Mapa Base: Marco Geoestadistico diciembre 2021, Estado de Puebla, INEGI.

Coordinate System: MEXICO ITRF 2008 LCC
Projection: Lambert Conformal Conic 2SP
Datum: ITRF 2008

En general, los vientos dominantes durante el año provienen del este y noreste con velocidades de entre 0 y 3 m s^{-1}, aunque se alcanzan velocidades de más de 15 m s^{-1} Durante la primavera, la mayoría de los vientos tienen dirección este, suroeste y sur, donde la mayor frecuencia de velocidades esta entre 0 y 3 m s^{-1}. En el verano, las direcciones este, noreste y suroeste predominan, mientras que en el otoño la frecuencia de direcciones este y noreste se mantiene, pero incrementan los vientos del norte. Durante el invierno, las direcciones este, noreste y suroeste son las que predominan en el Estado.

Cuencas atmosféricas

Los vientos dependen de las condiciones topográficas y meteorológicas de un área determinada, por lo cual, es necesario entender los patrones de los vientos predominantes para conocer el transporte de contaminantes. De esta manera, cuando se habla de cuencas atmosféricas el comportamiento de los vientos ayuda a conocer el comportamiento de los contaminantes atmosféricos al interior de ésta (SEMARNAT, 2022).

Una cuenca atmosférica se define como un espacio geográfico delimitado parcial o totalmente por elevaciones montañosas u otros atributos naturales con características meteorológicas y climáticas afines, donde la calidad del aire a nivel estacional está influenciada por las fuentes de emisión antropogénicas y naturales en el interior de esta, y por concentraciones de fondo que llegan a la cuenca (Barrera, H. et al, 2019).

La cuenca atmosférica de Puebla-Tlaxcala, también conocida como Valle de Puebla-Tlaxcala, es una cuenca semicerrada ubicada en el centro de México, entre los estados de Puebla y Tlaxcala. En el estado de Tlaxcala la cuenca abarca un área de 765 km^2, mientras que en el estado de Puebla de 890 km^2.

La cuenca atmosférica de Puebla-Tlaxcala abarca el Valle de Puebla-Tlaxcala y sus áreas circundantes, incluyendo en Tlaxcala los municipios de Acuamanala, Apizaco, Ayometla, Chiautempan, Contla, Cuaxomulco, Mazatecochco, Nativitas, Papalotla, Huactzinco, San Lorenzo, San Pablo, Sta. Ana, Sta. Cruz, Tlaxcala, Sta. Isabel, Teacalco, Teolocholco, Tepeyanco y Tetla. En Puebla los municipios de Coronango, Cuautlancingo, Huejotzingo, Juan Bonilla, Puebla, San Andrés Cholula, San Martín Texmelucan, San Pedro Cholula, Tlaltenango (CMM, 2015).

El estado de Puebla también tiene la cuenca atmosférica de Tehuacán, que se caracteriza por ser cerrada con un área de 788 km^2 que incluye a los municipios de Coronango, Cuautlancingo, Huejotzingo, Juan Bonilla, Puebla, San Andrés Cholula, San Martín Texmelucan, San Pedro Cholula, Tlaltenango (CMM, 2015).

1.7. Influencia de variables colindantes

1.7.1. Actividad volcánica.

En los últimos 27 años, el volcán Popocatépetl registró actividad volcánica (GACETA UNAM, 2021), es una fuente natural de contaminación, la cual, aporta una cantidad considerable de contaminantes a la atmósfera. La distribución de la ceniza está determinada por la dirección y velocidad del viento, mismas que presentan variaciones con respecto a la altitud y época del año. Se identificó que, en la zona de influencia del Popocatépetl, el campo de viento presenta variaciones a diferentes altitudes. La zona de influencia se localiza en la provincia fisiográfica conocida como Eje Neovolcánico. Ocupa una superficie aproximada de 283,192.53 hectáreas que involucra 34 municipios de los estados de México, Morelos y Puebla (SEMARNAT, 2016b).

En un informe publicado por el INECC en noviembre de 2013, se determinó que aún con los eventos de exhalación del volcán Popocatépetl registrados durante el periodo del proyecto no se rebasaron los límites de 24 horas de las NOM de calidad del aire para partículas PM_{10}, $PM_{2.5}$ y bióxido de azufre, vigentes en esa fecha (INECC/SEMARNAT, 2013), sin embargo, si consideramos la NOM-025-SSA1-2021, Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto a las partículas suspendidas PM_{10} y $PM_{2.5}$. Valores normados para la concentración de partículas suspendidas PM_{10} y $PM_{2.5}$ en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población, se puede observar que existen días donde se rebasan los límites de ambas normas (Figura 7).

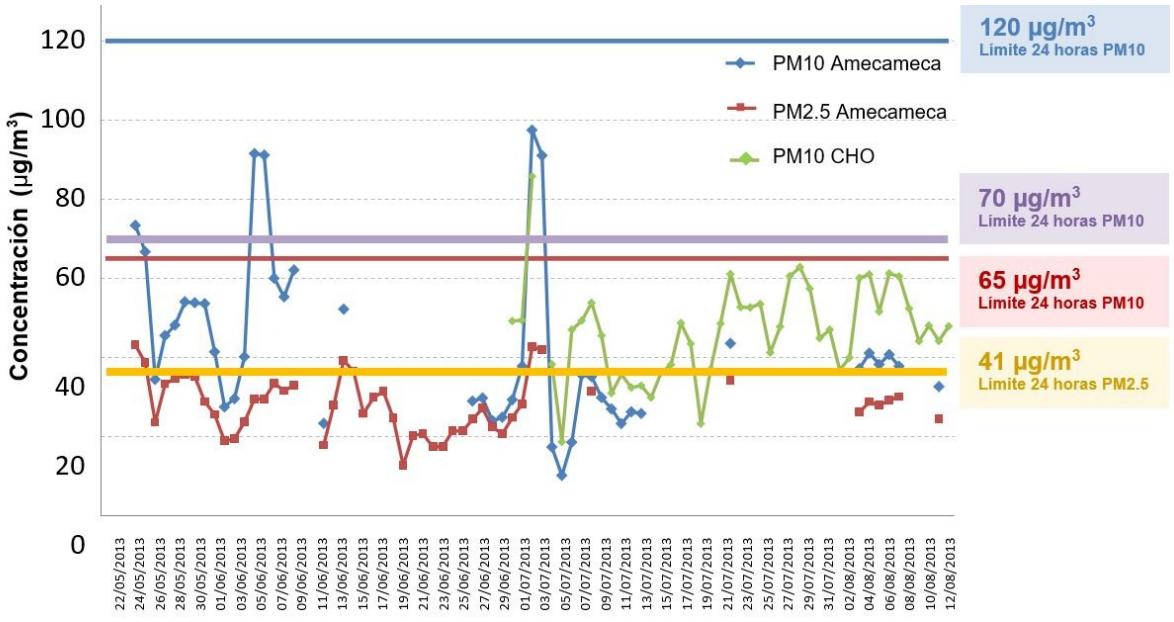


Figura 7. Datos de concentración $PM_{2.5}$ y PM_{10} vs tiempo para Amecameca y Chalco Mayo-Agosto 2013

Fuente: Elaboración propia con información tomada de INECC, 2013. Monitoreo de las Emisiones del Volcán Popocatépetl.

1.7.2. Incendios forestales

A nivel nacional en el 2022, se registraron 6,719 incendios forestales en las 32 entidades federativas, en una superficie de 735,205.54 ha. En este sentido en el estado de Puebla, se registraron 320 incendios forestales ocupando el séptimo lugar a nivel nacional con una afectación aproximada de 5,686.30 ha (CONAFOR, 2022a, consultada el 20 de junio de 2022). Con respecto a la información de los incendios forestales registrados para el estado de Puebla en el periodo 2018-2022 se presentan en la Tabla 5.

Tabla 5. Tipo y número de incendios, superficie afectada en el periodo 2018-2021

AÑO	TIPO DE INCENDIO				SUPERFICIE (ha)	No. INCENDIOS FORESTALES
	RENUEVO	ADULTO	ARBUSTIVO	HERBÁCEO		
2022	209.00	53	2044.50	3,379.80	5,686.30	320
2021	140.5	92.5	2,883.7	4,799.66	7,916.36	303
2020	348.5	275	3,576.7	6,366.5	10,566.7	253
2019	464.45	377.26	6,066.8	11,803.31	18,711.79	347
2018	38.05	78.05	2,200.2	28,995.1	5,215.81	359
Total	**991.5**	**822.81**	**14,727.3**	**25848.98**	**42,410.66**	**1,262**

Fuente: Tomado del Gobierno de Puebla, Periodo 2018-2021. El 2020 se tomó de https://www.puebla.gob.mx/images/tramites-y-servicios/162/DOCUMENTOMEDIOAMBIENTE.pdf. Consultada el 04 de octubre de 2022.
El 2022 se tomó de (Consultada el 20 de junio de 2023.):
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/821392/Cierre_de_la_Temporada_2022.pdf .

1.8. Elementos Sociodemográficos

1.8.1. Demografía

Con respecto a los aspectos socioeconómicos, la población del estado de Puebla creció de 2010 a 2020 a una tasa de 1.31% anual, pasando de 5.78 a 6.58 millones de habitantes, 5.22% del total nacional, manteniéndose en el quinto lugar por tamaño de población, en el periodo de 1090 a 2020. El crecimiento demográfico registrado en la entidad se tradujo en una mayor densidad, al pasar de 120 habitantes por kilómetro cuadrado en 1990, a 192 h/km^2 en 2020, valor que triplica la densidad promedio nacional de 64 personas por km^2. Con base en las proyecciones del CONAPO, se prevé que para 2050 la densidad aumente a 224 habitantes/km^2 (Figura 8).

La población en Puebla es predominantemente joven, actualmente la mediana de edad es de 28 años, ligeramente abajo del promedio nacional (29 años). El estado de Puebla se encuentra en un proceso de transición demográfica avanzada, que se caracteriza por una menor proporción de niños de 0 a 14 años y un crecimiento de los jóvenes y adultos en paralelo al aumento gradual de los adultos mayores (65 y más años). Lo anterior se puede apreciar en la estructura poblacional entre los años 2000 y 2020 (Figura 9).

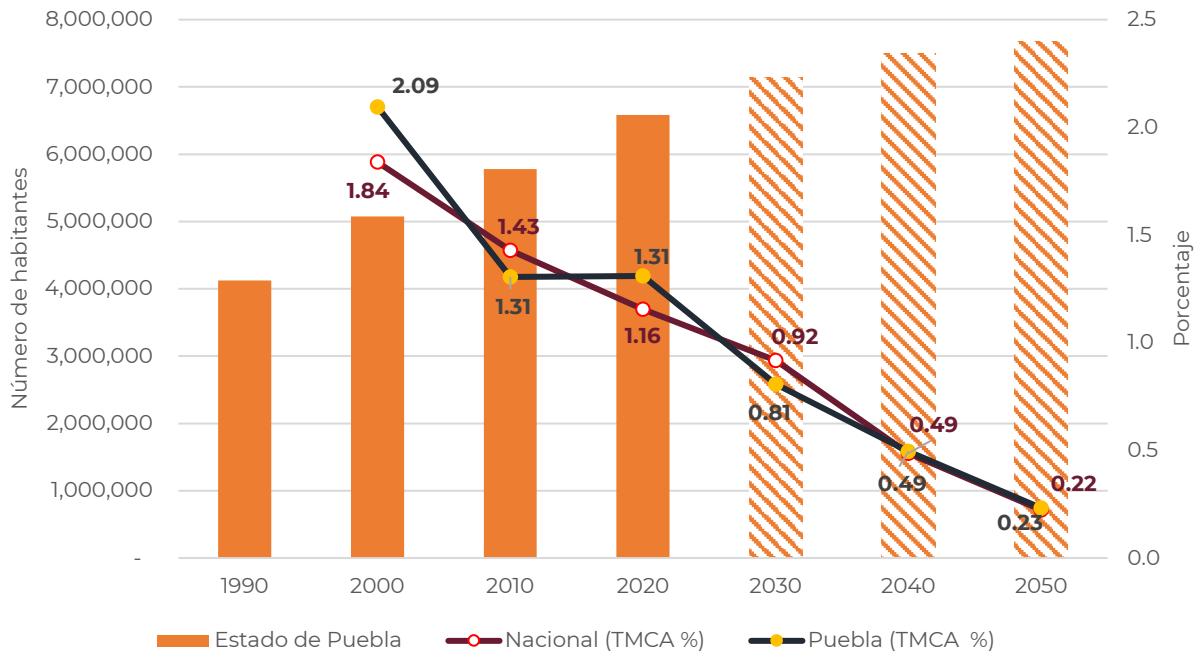


FIGURA 8. POBLACIÓN TOTAL Y TASA MEDIA DE CRECIMIENTO 1990-2050. ESTADO DE PUEBLA.

Fuente: INEGI, Censos de Población y Vivienda 1990; 2000; 2010; 2020.
CONAPO. Proyecciones a mitad de año para la República Mexicana 1950-2050.
Las columnas con tramas corresponden a proyecciones.

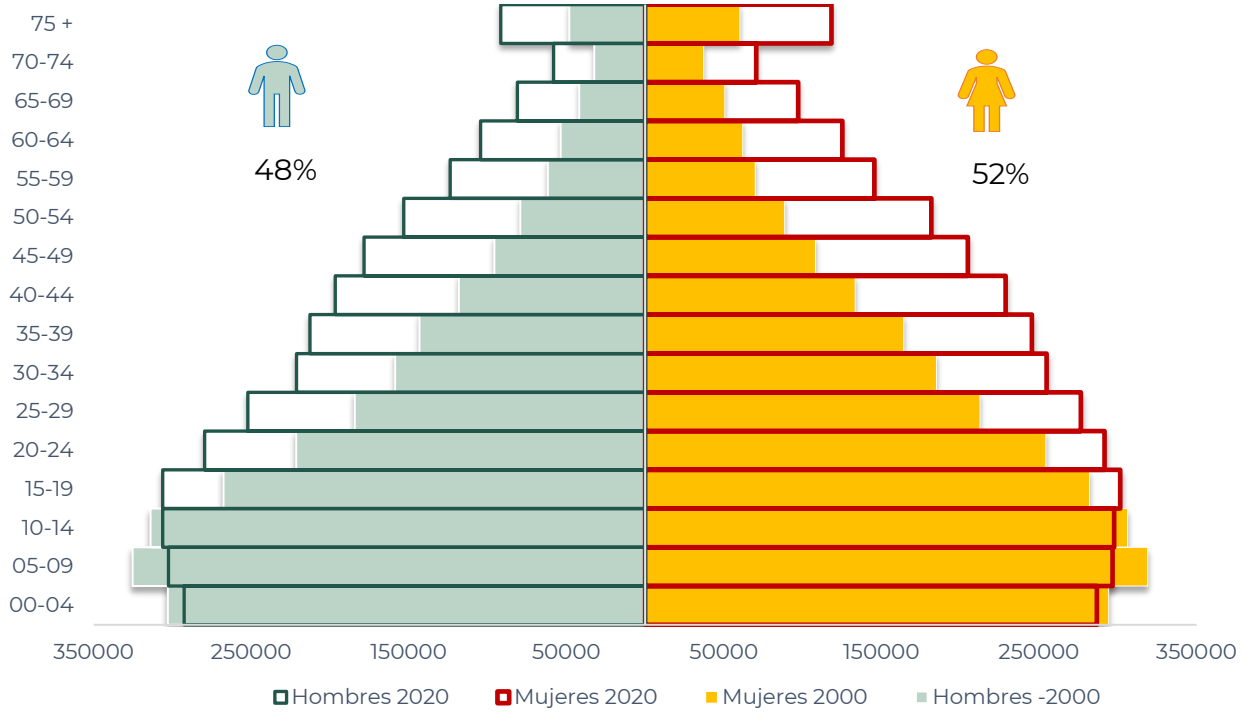


FIGURA 9. PUEBLA. POBLACIÓN POR GRUPO DE EDAD 2000 Y 2020

Fuente: INEGI. Censos de Población y Vivienda 2000 y 2020

1.8.2. Dinámica de la población

Los cambios que registran los niveles y distribución por edades de la población poblana se explican por el comportamiento de los indicadores de natalidad, fecundidad, mortalidad y migración, estos determinan el crecimiento natural y social de la población.

Natalidad

En el estado se observa una tendencia a la baja en la tasa de natalidad. En 2010 se registró una tasa de 102 nacimientos por cada 1,000 mujeres en edad reproductiva y en 2020 cayó a 58 nacimientos (INEGI, 2020a). Como resultado de los avances en los sistemas de salud, la esperanza de vida al nacer se mantiene en 78 años para las mujeres y 72 para los hombres, el promedio general es de 75 años.

Mortalidad

Entre 2010 y 2020, el estado de Puebla mantenía una tasa bruta de mortalidad relativamente estable hasta antes del 2020, año en que se dispara por el impacto de la pandemia de Covid-19. La tasa bruta de mortalidad aumentó de 5.37 en 2010 a 5.93 en 2019 y se eleva a 8.62 en 2020 (INEGI, 2020a).

Migración

De acuerdo con el Anuario de Migración y Remesas de México 2021, en los años 2015-2020, un total de 27,075 personas emigraron, lo que representa el 4.3% del total nacional, cifra muy inferior a los 57,702 emigrantes de 2010-2015 años en los que Puebla participó con el 7.6% de los emigrantes del país. El 69% de los emigrantes son hombres y el 31% mujeres; en más del 95% de los casos el principal destino es Estados Unidos de América.

1.8.3. Distribución de la población en el territorio del estado de Puebla

En 2020 en tan solo 10 de sus 217 municipios, que abarcan el 6.3% del territorio poblano, habitaba el 46.8% de la población. Los municipios con mayor población fueron Puebla con 1,7 millones de habitantes (25.7% de la población estatal) y Tehuacán (327 mil, 5%). Asimismo, se observa una alta dispersión, el 10% de los habitantes vivía en 131 municipios (60% de los 217 municipios del estado). Los municipios con menos población son San Miguel Ixitlán, La Magdalena Tlatlauquitepec y San Martín Totoltepec con menos de 700 habitantes cada uno. En 2020, el 75.2% de la población estatal radicaba en 345 localidades urbanas y un 24.8% vivía en 6,223 localidades rurales (INEGI. Censo de Población y Vivienda, 2020)

1.8.4. Salud

De la población que tiene acceso a servicios de salud destaca que en 2020 el 58.5% estaba adscrito al seguro popular, un 31.1% al IMSS (Instituto Mexicano del Seguro Social) y el 11.4% restante a otras instituciones públicas o privadas (INEGI. Censos de Población y Vivienda 2010 y 2020). En Puebla las principales enfermedades por número de personas afectadas son las enfermedades respiratorias agudas (53% del total) que tienen entre sus múltiples causas la contaminación del aire, y las enfermedades gastrointestinales. Así como, las enfermedades del corazón, diabetes mellitus, tumores malignos, enfermedades del hígado, influenza, neumonía y enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC). A partir del 2020 los fallecimientos por Covid19 ocuparon el tercer lugar por número de decesos.

1.9. Actividades productivas y económicas

1.9.1. Población Económicamente Activa

A fines de 2021, la población económicamente activa en la entidad fue de 3.08 millones de personas, de los cuales el 59% son hombres y 41% mujeres. De la PEA total el 95.1% se encuentra ocupada y el resto está desocupada (Tabla 6)

Tabla 6. Estado de Puebla. Población Económicamente Activa por condición de ocupación 2015-2021

AÑO	POBLACIÓN ECONÓMICAMENTE ACTIVA		
	TOTAL (No. DE PERSONAS)	PEA Ocupada (% DE LA PEA TOTAL)	PEA DESOCUPADA (% DE LA PEA Total)
2015	2,770,194	94.87	2.97
2016	2,836,313	95.60	2.75
2017	2,940,894	95.75	2.44
2018	2,931,714	96.12	2.45
2019	3,042,993	96.14	2.46
2020	2,996,311	92.67	5.92
2021	3,081,898	95.00	3.80

Fuente: INEGI. Encuesta Nacional de Ocupación y Empleo (ENOE), actualización mayo 2022. Cifras al cuarto trimestre de cada año.

1.9.2. Actividades Económicas

En los años 2010 a 2020, el estado de Puebla aportó en promedio el 3.3% del Producto Interno Bruto Nacional, colocándose en el onceavo lugar. La composición del Producto Interno Bruto Estatal (PIBE) por actividad económica se observa en la Figura 10.

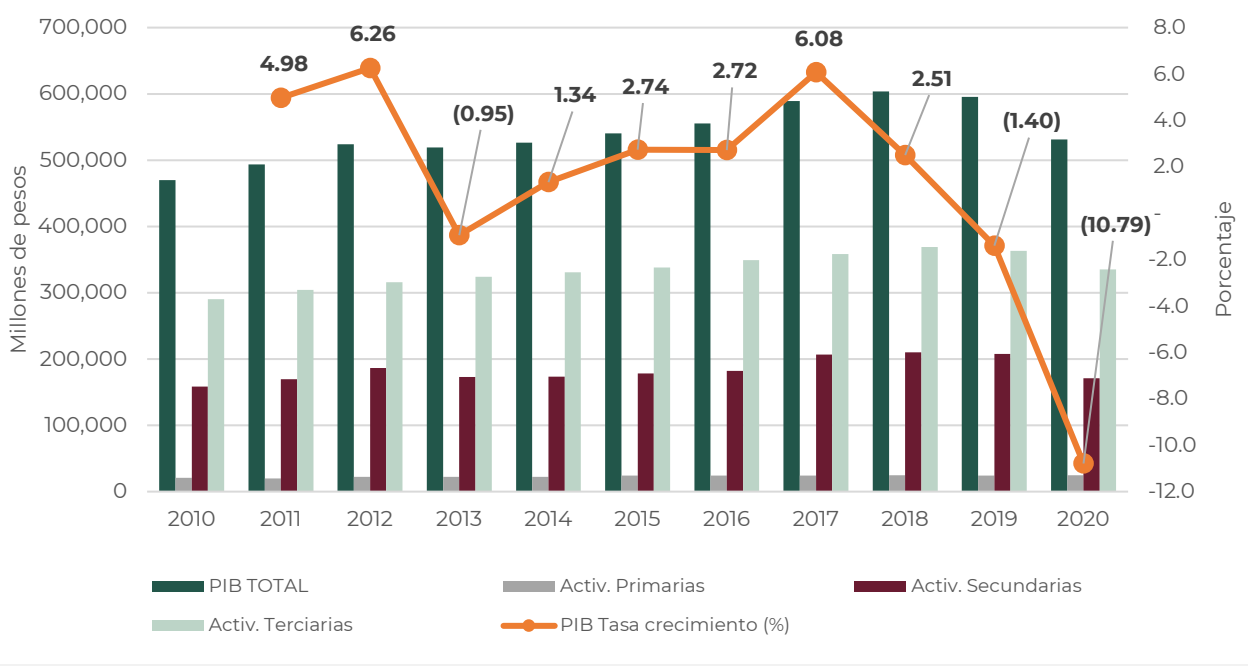


FIGURA 10. ESTADO DE PUEBLA. EVOLUCIÓN DEL PIB POR ACTIVIDAD ECONÓMICA 2010-2020. (MILLONES DE PESOS, AÑO BASE 2013)

Fuente: INEGI. Subsistema de Información Económica. PIBE, Base 2013.

Actividades primarias

Estas actividades se basan en el aprovechamiento de los recursos naturales como agricultura; cría y explotación de animales; aprovechamiento forestal; pesca, caza y captura, y servicios agropecuarias y forestales. En este sector se emplea al 22% del personal ocupado, pero aporta solo el 4.69% del PIBE, lo que refleja limitaciones en la productividad.

Las actividades agrícolas generan cerca del 40% del PIBE del sector primario. Los principales cultivos por valor de la producción y superficie sembrada fueron maíz grano, caña de azúcar, café, alfalfa y frijol de la superficie sembrada en el 2018, ocuparon 10,111 km^2. Por su parte, las actividades pecuarias aportaron el 59% del valor del PIBE en este sector. Los principales productos son huevo para plato y carne de porcino en canal. Estas actividades generaron el 2.2% de las exportaciones estatales. Las actividades de este sector son fuentes de emisión de contaminantes derivadas principalmente de las actividades ganaderas.

Actividades secundarias

Las actividades secundarias se componen de la minería; transmisión y distribución de energía eléctrica; suministro de agua y de gas por ductos al consumidor final; industria de la construcción y manufacturas. En conjunto generan un tercio del PIB Estatal (33.9%) y ocupan 25.9% del personal ocupado. La participación por cada industria se presenta en Figura 11.

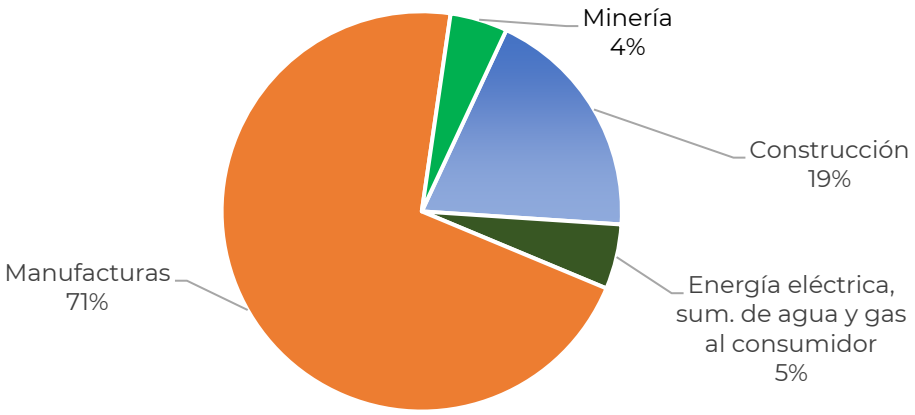


FIGURA 11. ESTADO DE PUEBLA. ESTRUCTURA DEL PIB DE ACTIVIDADES SECUNDARIAS.

Fuente: INEGI. Subsistema de Información Económica. PIBE Base 2013.

Las industrias manufactureras aportan el 71% del PIBE de las actividades secundarias, destacando las ramas de fabricación de maquinaria y equipo; que generaron el 52.7% del PIBE. Le siguen en importancia la industria alimentaria que contribuyó con el 19.6% de PIBE del sector y la industria metálica básicas y fabricación de productos metálicos con el 6.7%.

Actividades Terciarias

Actividades Terciarias, que engloban diversos servicios y el comercio, son predominantes en la economía estatal. En el periodo 2010-2020 generaron el 61.8% del PIB estatal y 52.4% de los empleos. Los servicios inmobiliarios y de alquiler de bienes muebles e intangibles aportaron el 24% del PIBE de las actividades terciarias, seguido el comercio al por menor con el 16.2%, el comercio al por mayor con 11.8% y la categoría de transporte, por correos y almacenamiento con 11.4%.

Las actividades terciarias se concentran en los 10 municipios con más de 100 mil habitantes (54% del total, 157,646 establecimientos) y el 76% de las empresas medianas y grandes se localizan en estos municipios.

El Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE) de INEGI, registra la existencia de 287,736 establecimientos dedicados a las actividades terciarias en la entidad. En ese total predomina el comercio minorista con 146,583 unidades (51%), le siguen “otros”, que agrupa los servicios personales y de reparación y mantenimiento con 44,585 unidades (15.5%), y los servicios de alojamiento temporal y preparación de alimentos y bebidas con el 13.6%.

Los servicios de transporte, correos y almacenamiento, aunque genera el 11.8% del valor agregado tiene menos del 1% de los establecimientos con 1,769 unidades y los servicios inmobiliarios cuentan con 3,852 unidades (1.3% del total).

1.10. Demanda energética

En el 2020, se estima que el consumo energético en el estado de Puebla fue de 186.2 PJ; donde la industria es el mayor consumidor de gas natural con 74.4 PJ (40%), le sigue en importancia el sector residencial con el gas LP y la leña con una demanda de 57.6 PJ (31%), y, por último, el sector vehicular con la gasolina y el diésel con un consumo de 54.3 PJ (29%) (Figura 12). El consumo de energía del estado de Puebla representa cerca del 3.6% del consumo nacional, mientras que la relación entre el consumo y la generación alcanza cerca de un 92%., al 2020.

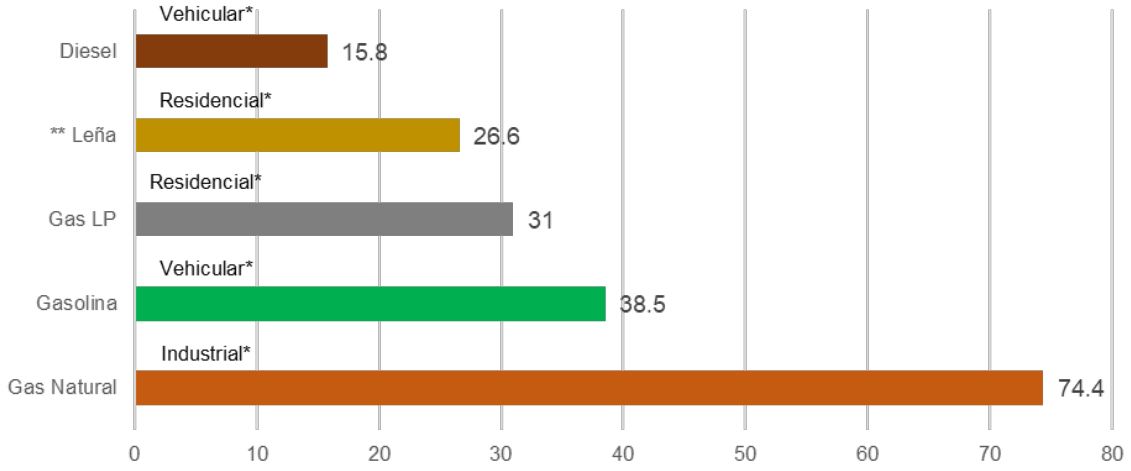


Figura 12. Consumo energético por tipo de combustible (PJ), 2020

*Sector más demandante del combustible
** Estimado con base al consumo nacional de leña y con el número de viviendas a nivel nacional y estatal que utilizan leña.
Fuente: Elaboración propia con datos de SENER consultado 07/2022 (https://sie.energia.gob.mx/bdiController.do?action=temas e INEGI 2021/ENIGH 2020

1.11. Movilidad

El estado de Puebla forma parte de la Megalópolis del Valle de México, su colindancia y cercanía con los principales centros económicos del país (Ciudad de México y Estado de México) le confieren una ubicación estratégica para detonar su desarrollo económico e industrial, lo que han propiciado la construcción de una amplia red de carreteras para el transporte de personas y bienes. Las carreteras suman una longitud de 11,437 km integrados por los siguientes tipos de carreteras de acuerdo con la Tabla 7.

El estado cuenta con dos aeropuertos, uno internacional y uno nacional localizados en los municipios de Huejotzingo y Tehuacán, respectivamente. El transporte de carga aérea es poco utilizado en la entidad.

TABLA 7. ESTADO DE PUEBLA. TIPOS DE CARRETERAS (2016)

TIPO DE CARRETERA	KM
Carretera troncal federal	1,638
Carreteras alimentadoras estatales pavimentadas	5,091
Carreteras alimentadoras estatales revestidas	39
Caminos rurales	4,668
Total	11,437

Fuente: INEGI. Anuario Estadístico y Geográfico del estado de Puebla 2017.

1.11.1. PARQUE VEHICULAR

El análisis de la información referente al total de vehículos de motor registrados y en circulación en el estado de Puebla en el periodo 1980-2021 (Figura 13).

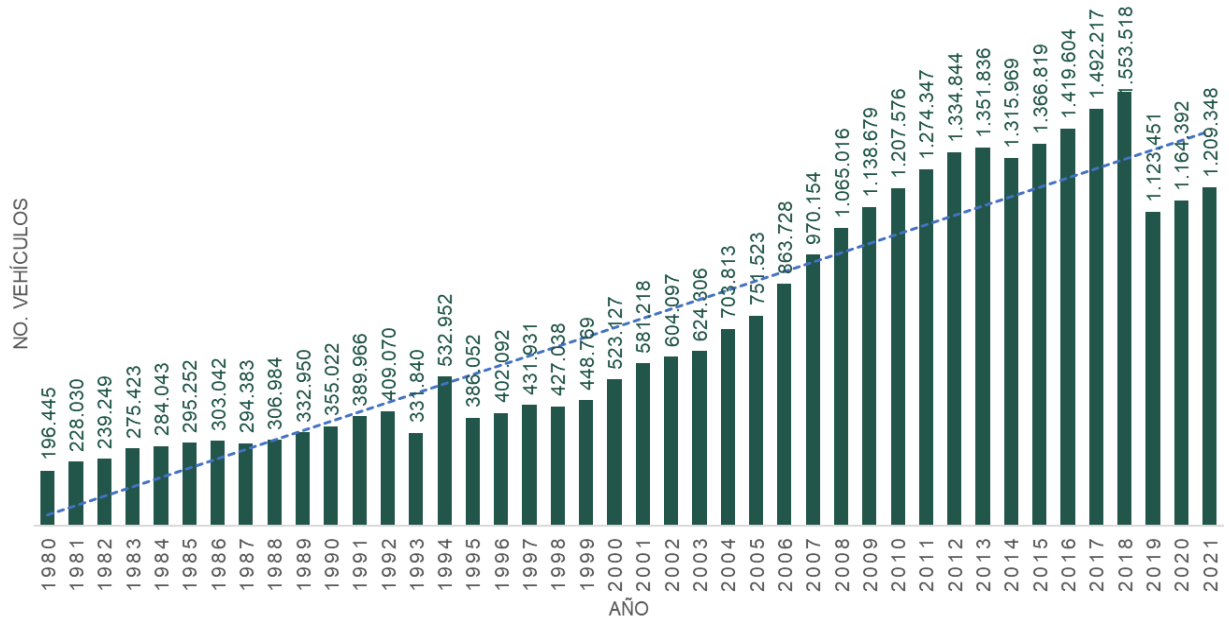


FIGURA 13. VEHÍCULOS REGISTRADOS EN CIRCULACIÓN EN EL ESTADO DE PUEBLA 1980-2021.
Fuente: Elaboración propia (INEGI, 2021d).

El parque vehicular por municipio se gráfica en la Figura 13, mientras que en la Tabla 8 se muestran el número de vehículos registrados por su tipo. Asimismo, la Figura 14 desglosa el parque vehicular de los principales municipios de Puebla.

TABLA 8. TIPOS DE VEHÍCULOS DE MOTOR REGISTRADOS EN CIRCULACIÓN EN EL ESTADO DE PUEBLA, 2021

TIPO DE VEHÍCULOS DE MOTOR	NO. DE VEHÍCULOS	%
Automóviles	792,996	65.57
Camiones para pasajeros	9,348	0.8
Camiones y camionetas para carga	281,214	23.25
Motocicletas	125,790	10.4
Total	1,209,348	100

Fuente: Elaboración Propia con información de INEGI, 2021d.

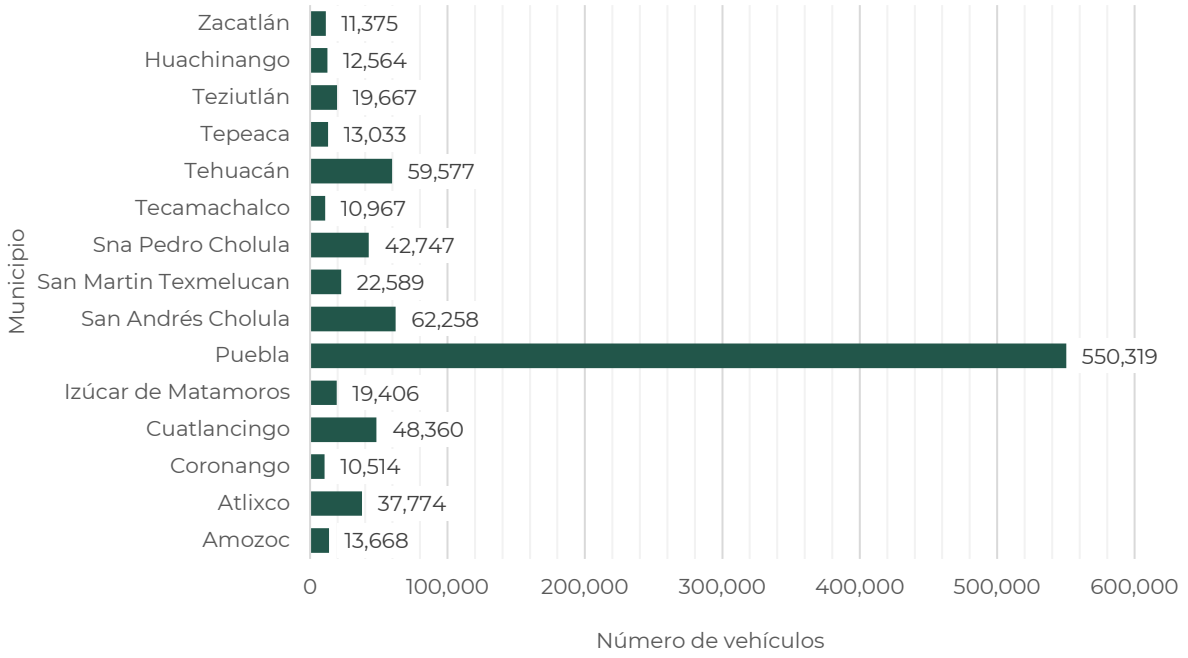


FIGURA 14. PARQUE VEHICULAR DE LOS PRINCIPALES MUNICIPIOS DEL ESTADO DE PUEBLA

Fuente: Elaboración propia con información de INEGI, 2021d.

Con respecto a los vehículos automotores registrados en el estado de Puebla, entre los años 2020 y 2021, correspondientes a las tablas 8 y 9, presentan ligeras variaciones debido a que son diferentes fuentes, en un caso es INEGI y en el otro, es el Gobierno del Estado de Puebla. Se observa el incremento entre los tipos de vehículos, resaltando las motocicletas y los camiones de carga, cuyo incremento corresponde al 26,7% y 21%, respectivamente.

TABLA 9. PARQUE VEHICULAR REGISTRADO EN EL ESTADO DE PUEBLA, 2020

TIPO DE VEHÍCULO	UNIDADES	
	NÚMERO	PORCENTAJE
Autos particulares	758,958	68.3%
Taxis TPE	30,065	2.7%
Microbuses y vagonetas TPE	2,392	0.2%
Autobús TPE	2,622	0.2%
Autobús particular	1,148	0.1%
Autobuses foráneos	2,938	0.3%
Vehículos de carga ligera	192,411	17.3%
Vehículos de carga >3.8 t	8,870	0.8%
Vehículos de carga >3.8 t foráneos	8,851	0.8%
Tractocamiones	1,410	0.1%
Tractocamiones foráneos	9,915	0.9%
Motocicletas	92,219	8.3%
Total	**1,111,799**	**100%**

TPE - Transporte Público Estatal
Fuente: elaboración propia con datos del IEEPuebla-2020.

En el caso de los vehículos particulares, prácticamente el 50% corresponden a modelos del periodo entre 2011 al 2020, mientras que aproximadamente el 20% corresponden a modelos menores al año 2000, mientras que en el caso de los vehículos de alquiler el 74% son modelos mayores al 2010.

1.11.2. Red Urbana de Transporte Articulado

La Red Urbana de Transporte Articulado (RUTA) es un sistema de autobús de tránsito rápido o servicio tronco alimentador ubicado en la Zona Metropolitana de Puebla pasando por los municipios de Puebla, San Andrés Cholula y Amozoc con una longitud de 47.6 kilómetros, con tres rutas troncales y 35 alimentadoras.

1.12. Residuos sólidos urbanos

Los residuos urbanos generados por la población en sus actividades cotidianas son una fuente de emisiones a la atmósfera, especialmente sino son manejados adecuadamente y su disposición final no cumple con lo que establece la normatividad al respecto. Todavía es una práctica común que en poblaciones pequeñas los residuos son quemados al aire libre, lo que provoca emisiones de contaminantes, especialmente partículas y carbono negro.

Los residuos no son solo un aspecto que deba ser cubierto por los sitios de disposición final. Los residuos también contribuyen a deteriorar la calidad del aire y al cambio climático. Una mala gestión de residuos, donde exista la quema de éstos a cielo abierto genera emisiones de $PM_{2.5}$, PM_{10}, SO_x, NO_x, CO, COV, CH_4, CO_2 N_2O, entre otros.

El estado de Puebla, de acuerdo con el DBGIR genera 5,991 toneladas diarias de residuos sólidos urbanos, colocándolo en el sexto lugar de las entidades del país (SEMARNAT, 2020b). Con relación a la emisión de Gases de Efecto Invernadero (GEI), se ha documentado por el Gobierno del Municipio de Puebla que el sector residuos aporta el 0.4% de emisiones, siendo CH_4 el gas principal (Gobierno del Estado de Puebla, 2012a). Los residuos que han sido contabilizados para la estimación del inventario de GEI son residuos orgánicos (comida), de jardín, madera y paja, pañales, papel y textiles.

Cabe mencionar que la estrategia de gestión integral de residuos de Puebla tiene un enfoque basado en la economía circular.

Para mayor información de este capítulo, consultar el documento electrónico "DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO" en el sitio WEB https://calidaddelaire.puebla.gob.mx/views/principal.php.

2

Marco jurídico, instrumentos de planeación y capacidades

2. MARCO JURÍDICO, INSTRUMENTOS DE PLANEACIÓN Y CAPACIDADES.

El Programa de Gestión de Calidad del Aire y de Acción ante el Cambio Climático del estado de Puebla 2021-2030, se sustenta en un marco jurídico conformado por la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos; tratados internacionales; leyes y reglamentos federales; Normas Oficiales Mexicanas; la Constitución Política del Estado Libre y Soberano de Puebla[1]; leyes estatales y reglamentos en materia de calidad del aire y de mitigación y adaptación al cambio climático.

El artículo 4° párrafo quinto de la Constitución[2] hace referencia a que toda persona tiene derecho a un medio ambiente sano para su desarrollo y bienestar y precisa que todas las personas gozarán de los derechos humanos reconocidos en la Constitución y en los tratados internacionales firmados por México.

En la agenda internacional, México es Estado Parte del Pacto Internacional de Derechos Económicos, Sociales y Culturales (PIDESC)[3], del Protocolo Adicional a la Convención Americana sobre Derechos Humanos en materia de Derechos Económicos, Sociales y Culturales "Protocolo de San Salvador"[4] y del Acuerdo Regional Sobre el Acceso a la Información, la Participación Pública y el Acceso a la Justicia en América Latina y el Caribe (Acuerdo de Escazú)[5]. Asimismo, firmó la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible.

---

1 Constitución Política del Estado Libre y Soberano de Puebla. Última reforma publicada en el Periódico Oficial del Estado el 24-10-2022. Disponible en https://ojp.puebla.gob.mx/media/k2/attachments/Constitucion_Politica_del_Estado_Libre_y_Soberano_de_Puebla_T2_24102022.pdf.

2 Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, Última reforma publicada en el Diario Oficial de la Federación el 28-05-2021. Disponible en https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/CPEUM.pdf.

3 Decreto Promulgatorio del Pacto Internacional de Derechos Económicos, Sociales y Culturales, abierto a firma en la Ciudad de Nueva York, E.U.A., el 19-12-1966. Publicado en el DOF el 12-05-1981. Disponible en https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4646611&fecha=12/05/1981#gsc.tab=0.

4 Decreto Promulgatorio del Protocolo Adicional a la Convención Americana sobre Derechos Humanos en Materia de Derechos Económicos, Sociales y Culturales "Protocolo de San Salvador", adoptado en la ciudad de San Salvador el 17-11-1988. Publicado en el DOF el 01-09-1998. Disponible en https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4891682&fecha=01/09/1998#gsc.tab=0.

5 Decreto Promulgatorio del Acuerdo Regional sobre el Acceso a la Información, la Participación Pública y el Acceso a la Justicia en Asuntos Ambientales en América Latina y el Caribe, hecho en Escazú, Costa Rica el 04-03-2018. Publicado en DOF el 22-04-2021. Disponible en https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5616505&fecha=22/04/2021#gsc.tab=0.

2.1. De Gestión de la Calidad del Aire

En el plano nacional, el marco jurídico federal en la materia se sustenta en la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA)[6], que estipula que las emisiones de contaminantes de la atmósfera deben ser reducidas y controladas con el fin de asegurar una calidad del aire satisfactoria. De la LGEEPA derivan entre otros, el Reglamento en Materia de Prevención y Control de la Contaminación de la Atmósfera y el Reglamento en materia de Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes.

La LGEEPA establece el marco de concurrencia de los tres órdenes de gobierno respecto a la protección y control de la contaminación atmosférica. Señala que es competencia de la Federación la política ambiental nacional, mientras que en materia de programas de gestión, las principales fracciones que se consideran del artículo 111 de la ley, son las V.- Promover y apoyar técnicamente a los gobiernos locales en la formulación y aplicación de programas de gestión de calidad del aire, que tengan por objeto el cumplimiento de la normatividad aplicable y XII.- Aprobar los programas de gestión de calidad del aire elaborados por los gobiernos locales para el cumplimiento de las normas oficiales mexicanas respectivas. En tanto que que corresponde a las Entidades Federativas, la formulación y aplicación de programas de gestión de calidad del aire con base en las Normas Oficiales Mexicanas (NOMs) vigentes.

Las Normas Oficiales Mexicanas, son herramientas de carácter regulatorio que determinan los límites máximos permisibles de concentración de contaminantes y son emitidas por la Secretaría de Salud (Ley General de Salud), mientras que a la SEMARNAT le corresponde la emisión de las NOMs que definen por contaminante y fuente de contaminación, los niveles máximos permisibles de emisión a la atmósfera y para el establecimiento, operación y medición de los sistemas de monitoreo de la calidad del aire.

En cumplimiento al mandato jurídico, la SEMARNAT elaboró la Estrategia Nacional de Calidad del Aire, visión 2017-2030[7] y el *Programa de Gestión Federal para Mejorar la Calidad del Aire de la Megalópolis 2017-2030*.[8] Son herramientas de planeación fundamentales para mejorar la calidad del aire. La estrategia define cinco ejes estratégicos: Eje 1. Gestión integral para mejorar la calidad del aire; Eje 2. Instituciones eficientes y orientadas a resultados; Eje 3. Empresas comprometidas con la calidad del aire; Eje 4. Política atmosférica con base científica; Eje 5. Sociedad responsable y participativa.

---

6 Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente. Última reforma publicada en el DOF el 11-04-2022. Disponible en https://www.diputados.gob.mx/LeyesB iblio/pdf/LGEEPA.pdf.

7 SEMARNAT. Estrategia Nacional de Calidad del Aire, visión 2017-2030 Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/195809/Estrategia_Nacional_Calidad_del_Aire.pdf.

8 CAMe. SEMARNAT. Programa de Gestión Federal para Mejorar la Calidad del Aire de la Megalópolis. PROAIRE de la Megalópolis 2017-2030. Disponible en https://framework-gb.cdn.gob.mx/data/institutos/semarnat/Programa_de_Gesti%C3%B3n_Federal_2017-2030_final.pdf.

En el marco de la Estrategia, la SEMARNAT instrumenta los programas de gestión para mejorar la calidad del aire (ProAire) para que los tres órdenes de gobierno trabajen con una visión integral y coordinada, enfocada a disminuir la contaminación atmosférica y sus impactos en la salud humana y en los ecosistemas.

El Programa de Gestión Federal para Mejorar la Calidad del Aire de la Megalópolis, PROAIRE de la Megalópolis 2017-2030, busca reducir significativamente las emisiones de contaminantes para mejorar la calidad del aire de manera coordinada a partir de un enfoque territorial, ecosistémico e integral.

A nivel estatal la legislación en materia de gestión de la calidad del aire se sustenta en la Constitución Política del Estado Libre y Soberano de Puebla que establece el derecho de toda persona a un medio ambiente adecuado para su desarrollo, salud y bienestar. La Ley para la Protección del Ambiente Natural y el Desarrollo Sustentable del estado de Puebla[9] reglamenta este derecho.

La Ley señala que las políticas y programas deberán dirigirse a garantizar que la calidad del aire sea satisfactoria. Establece que corresponde a la Secretaría de Medio Ambiente, Desarrollo Sustentable y Ordenamiento Territorial (SMADSOT) formular un programa para reducir la producción, transporte, comercialización y uso de todas las sustancias que hayan sido identificadas como nocivas para la capa de ozono y emitir programas para controlar la contaminación por fuentes móviles y prevenir contingencias ambientales. De esta Ley se derivan los reglamentos siguientes: Reglamento en materia de prevención y control de la Contaminación Atmosférica; Reglamento en materia de Auditoría Ambiental; Reglamento en materia de Ordenamiento Ecológico; Reglamento en Materia de Áreas Naturales Protegidas.

Por su parte, el Plan Estatal de Desarrollo (PED) 2019-2024[10], se propone lograr un desarrollo sostenible con base en cuatro Enfoques Transversales; Infraestructura; Pueblos Originarios; igualdad sustantiva y Cuidado ambiental y atención al cambio climático. Este último busca asegurar que el desarrollo de la Entidad tenga como marco un ambiente sostenible que brinde equilibrio a la interacción entre la sociedad y el medio natural, propiciando la conservación de espacios y la resiliencia.

---

9 Ley para la Protección del Ambiente Natural y el Desarrollo Sustentable del Estado de Puebla. Última reforma publicada en el Periódico Oficial del Estado el 21-10-2022. Disponible en https://ojp.puebla.gob.mx/media/k2/attachments/Ley_para_la_Proteccion_del_Ambiente_Natural_y_el_Desarrollo_Sustentable_del_Estado_de_Puebla_EV_21102022_2.pdf.

10 Ley de Planeación para el Desarrollo del Estado de Puebla. Última reforma publicada en el Periódico Oficial del Estado el 14-01-2020. Disponible en https://ojp.puebla.gob.mx/media/k2/attachments/Ley_de_Planeacion_para_el_Desarrollo_del_Estado_de_Puebla_14012020.pdf.

En temas vinculados a la calidad del aire, a nivel internacional, México es Parte del Convenio de Estocolmo sobre Contaminantes Orgánicos Persistentes[11] y del Protocolo de Montreal[12] relativo a las sustancias que agotan la capa de ozono que tiene una importante contribución frente al cambio climático.

2.2. DE MITIGACIÓN Y ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO

En su calidad de Estado Parte en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático, México ratificó el Acuerdo de París en 2016[13], que busca reforzar la respuesta mundial a la amenaza del cambio climático. La legislación federal en materia de mitigación y adaptación al cambio climático se sustenta en la Ley General del Cambio Climático (LGCC)[14] para transitar hacia economías bajas en carbono y la resiliencia al cambio climático.

Los instrumentos de planeación previstos por la LGCC son:

I. La Estrategia Nacional de Cambio Climático
II. El Programa Especial de Cambio Climático.
III. La Política Nacional de Adaptación.
IV. Las contribuciones determinadas a nivel nacional,
V. Los programas de las Entidades Federativas.

La Ley establece el marco de concurrencia de los tres órdenes de gobierno donde se precisa que corresponde a la Federación la formulación de la política nacional en materia de cambio climático; la Estrategia Nacional de Cambio Climático; el Programa Nacional de Cambio Climático y las contribuciones determinadas a nivel nacional; el atlas nacional de riesgo y la Política Nacional de Adaptación. A las entidades federativas les corresponde la política estatal en materia de cambio climático; las acciones de mitigación y adaptación al cambio climático; el programa estatal en materia de cambio climático y el atlas estatal de riesgo.

De la LGCC se deriva el Reglamento en Materia del Registro Nacional de Emisiones[15], que identifica los sectores, subsectores y actividades en los que se agrupan los establecimientos sujetos a reporte y precisa los gases o compuestos de efecto invernadero que deberán reportarse.

---

[11] http://chm.pops.int/TheConvention/Overview/TextoftheConvention/tabid/2232/Default.aspx.
[12] Decreto Promulgatorio de la Enmienda del Protocolo de Montreal relativo a las Sustancias que Agotan la Capa de Ozono, aprobada en Kigali el 15 de octubre de 2016. Publicado en el DOF el 30-11-2018. Disponible en https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5545338&fecha=30/11/2018#gsc.tab=0.
[13] Decreto Promulgatorio del Acuerdo de París, hecho en París el 12-12-2015. Publicado en el DOF el 04-11-2016. Disponible en https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5459825&fecha=04/11/2016#gsc.tab=0.
[14] Ley General de Cambio Climático. Última reforma publicada en el DOF el 11-05-2022. Disponible en https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGCC.pdf.
[15] Reglamento de la Ley General de Cambio Climático en materia del Registro Nacional de Emisiones. Publicado en el DOF el 28-10-2014. Disponible en https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/regley/Reg_LGCC_MRNE_281014.pdf.

Cumpliendo el mandato de la LGCC, la SEMARNAT, con la participación del Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático elaboró la Estrategia Nacional de Cambio Climático (ENCC)[16], visión 10-20-40 y el Programa Especial de Cambio Climático 2021-2024.

La Estrategia se orienta al cumplimiento de las obligaciones internacionales asumidas por México, que se expresan en las contribuciones determinadas a nivel nacional: los compromisos no condicionados de México consisten en reducir el 22% de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero y 51% de las emisiones de carbono negro al año 2030 y compromisos condicionados que apoyarán a reducir hasta un 36% las emisiones de GEI y 70% de las emisiones de carbono negro al año 2030.

El Programa Especial de Cambio Climático 2021-2024[17], se dirige a enfrentar los efectos adversos del cambio climático sobre el patrimonio biocultural, la infraestructura nacional, la economía y el Estado de Bienestar. Incorpora un enfoque integral de calidad del aire y cambio climático para el desarrollo de políticas y acciones que potencien beneficios en la salud pública y ambiental.

A nivel estatal la legislación en materia de cambio climático se sustenta en la Constitución Política del Estado Libre y Soberano de Puebla, de la cual se deriva la Ley de Cambio Climático[18] para el estado de Puebla (LCCEP) que tiene por objeto proteger ese derecho y regular las acciones para la mitigación y adaptación al cambio climático; reducir la vulnerabilidad de la población y de los ecosistemas y promover la transición hacia una economía verde que sea competitiva, sustentable y de bajas emisiones de carbono.

La Ley establece que son instrumentos de planeación de la política estatal:

I. La Estrategia Estatal de Cambio Climático.
II. El Programa Especial de Cambio Climático del estado de Puebla.
III. Los Programas Municipales de Acción Climática.

De acuerdo con la LCCEP, corresponde al Ejecutivo del Estado formular y conducir la política estatal en materia de cambio climático y expedir la Estrategia Estatal, el Programa Estatal de Cambio Climático y las normas técnicas. Por su parte, la SMADSOT tiene atribuciones para elaborar o actualizar la Estrategia Estatal de Cambio Climático, el Programa Estatal de Cambio Climático y el Atlas Estatal de Riesgo por cambio climático, así como para desarrollar estrategias, programas y proyectos integrales de mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero.

---

[16] SEMARNAT. Estrategia Nacional de Cambio Climático, visión 10-20-40, Primera edición junio 2013. Disponible en https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/41978/Estrategia-Nacional-Cambio-Climatico-2013.pdf.

[17] Comisión Intersecretarial de Cambio Climático. Programa Especial de Cambio Climático 2021-2024. Disponible en https://dof.gob.mx/2021/SEMARNAT/SEMARNAT_081121_EV.pdf.

[18] Ley de Cambio Climático para el Estado de Puebla. Última reforma publicada en el Periódico Oficial del Estado el 09-04-2021. Disponible en https://ojp.puebla.gob.mx/media/k2/attachments/Ley_de_Cambio_Climatico_del_Estado_de_Puebla_09abr2021.pdf.

Además se cuenta con diversas leyes que inciden directa o indirectamente en las acciones de mitigación y adaptación al cambio climático, como son:

- La Ley de Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano del estado de Puebla que fija las normas para ordenar el uso del territorio y los asentamientos humanos en el Estado y declara de utilidad pública la preservación y restauración del equilibrio ecológico y la protección del ambiente en los centros de población y la atención de situaciones de emergencia debidas al cambio climático y fenómenos naturales.
- La Ley para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos Sólidos Urbanos y de Manejo Especial para el estado de Puebla que regula la generación, caracterización, valorización y gestión integral de residuos de competencia estatal.
- La Ley para el Desarrollo Rural Sustentable del estado de Puebla que señala la prioridad de las políticas públicas y programas en el medio rural para el desarrollo del Estado, dando prioridad a la corrección de las disparidades de desarrollo regional mediante la transformación y la reconversión productiva y económica, al amparo de esta Ley se pueden impulsar acciones para reducir emisiones y ampliar la captura de carbono forestal que contempla la LGCC.

La legislación estatal establece que el Plan Estatal de Desarrollo es el instrumento rector de planeación del desarrollo sustentable, del cual se derivan programas sectoriales, institucionales y especiales. En el Plan Estatal de Desarrollo 2019-2024 se plantea el Enfoque Transversal “Cuidado Ambiental y Cambio Climático” que busca asegurar que el desarrollo de la Entidad recaiga en un ambiente sostenible, el indicador para evaluar avances se denomina *“Posición nacional de la capacidad adaptativa al cambio climático”* y la meta al 2024 es avanzar al sitio 14 partiendo del puesto 29 en 2019. Dentro de los programas que se derivan del Plan se encuentra el Programa Especial de Cuidado Ambiental y Atención al Cambio Climático.

En cumplimiento a la normatividad, la SMADSOT coordinó la formulación de la Estrategia Estatal de Cambio Climático 2021-2030 que tiene entre sus objetivos establecer acciones de mitigación y adaptación a los efectos del cambio climático; promover esquemas de economía circular; fomentar la transición hacia una cultura ecocentrista y climáticamente justa, e impulsar la eficiencia, sustentabilidad y transición energética para contribuir a la descarbonización de los sectores prioritarios del Estado y maximizar los cobeneficios a la sociedad poblana.

Para mayor información de este capítulo, consultar los documentos electrónicos “MARCO JURÍDICO, INSTRUMENTOS DE PLANEACIÓN Y CAPACIDADES INSTITUCIONALES” en el sitio WEB https://calidaddelaire.puebla.gob.mx/views/principal.php.


Secretaría de
Medio Ambiente,
Desarrollo Sustentable y
Ordenamiento Territorial
Red Estatal de
Monitoreo Atmosférico
Estación
"UTP"
https://smadsot.puebla.gob.mx
https://calidaddelaire.puebla.gob.mx

3

Diagnóstico de la situación actual en materia de calidad del aire y cambio climático

3. DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL EN MATERIA DE CALIDAD DEL AIRE Y CAMBIO CLIMÁTICO

Cuando se habla de calidad del aire se reseña a la presencia de contaminantes en la atmósfera que pueden ser nocivos tanto para el medio ambiente como para la salud de la población. Estos contaminantes, en general, se producen por la acción de la humanidad, desde calentar agua, cocinar, movilizarse en vehículos automotores, hasta la funcionalidad de las fábricas que queman una gran cantidad de combustibles fósiles. Cabe mencionar, que esta situación de la calidad del aire es un problema ignorado por gran parte de la población a pesar de ser muy perjudicial para su salud y calidad de vida.

Una vez que los contaminantes se encuentran en la atmósfera, la persistencia de estos dependerá de diversos factores, ya sean de carácter meteorológico o su transformación por diversas reacciones químicas en otras sustancias que puedan ser contaminantes (contaminantes secundarios). La capacidad de la atmósfera para diluir las concentraciones de contaminantes es fundamental para preservar una buena calidad del aire. Así, en una atmósfera estable, se propicia la acumulación de contaminantes y se facilita la formación de contaminantes secundarios, mientras que, en una atmósfera inestable, la dilución de los contaminantes es más eficaz debido a las turbulencias.

Una buena calidad del aire se puede definir como el conjunto de concentraciones de componentes presentes en la atmósfera en un periodo de tiempo dado, que satisfacen la salud, el bienestar de la población, el equilibrio ecológico, y los materiales con valor económico (ProAire 2012-2020 Puebla).

La contaminación del aire representa un importante riesgo medioambiental para la salud. Mediante la disminución de los niveles de contaminación del aire los países pueden reducir la carga de morbilidad derivada de accidentes cerebrovasculares, cánceres de pulmón y neumopatías crónicas y agudas, entre ellas el asma. Cuanto más bajo sean los niveles de contaminación del aire, mejor será la salud cardiovascular y respiratoria de la población, tanto a largo como a corto plazo (INECC, 2019b).

3.1. Monitoreo de la calidad del aire de Puebla

Para medir y evaluar el impacto de la contaminación del aire en la población y los recursos naturales, es indispensable contar con sistemas adecuados de medición de la calidad del aire. Estos sistemas, se han convertido en una herramienta que permite conocer, con niveles aceptables de confiabilidad, la calidad del aire con respecto a contaminantes específicos y formular, con base en los datos obtenidos, las estrategias de control y las medidas oportunas y adecuadas para una efectiva gestión ambiental (INECC, 2019a).

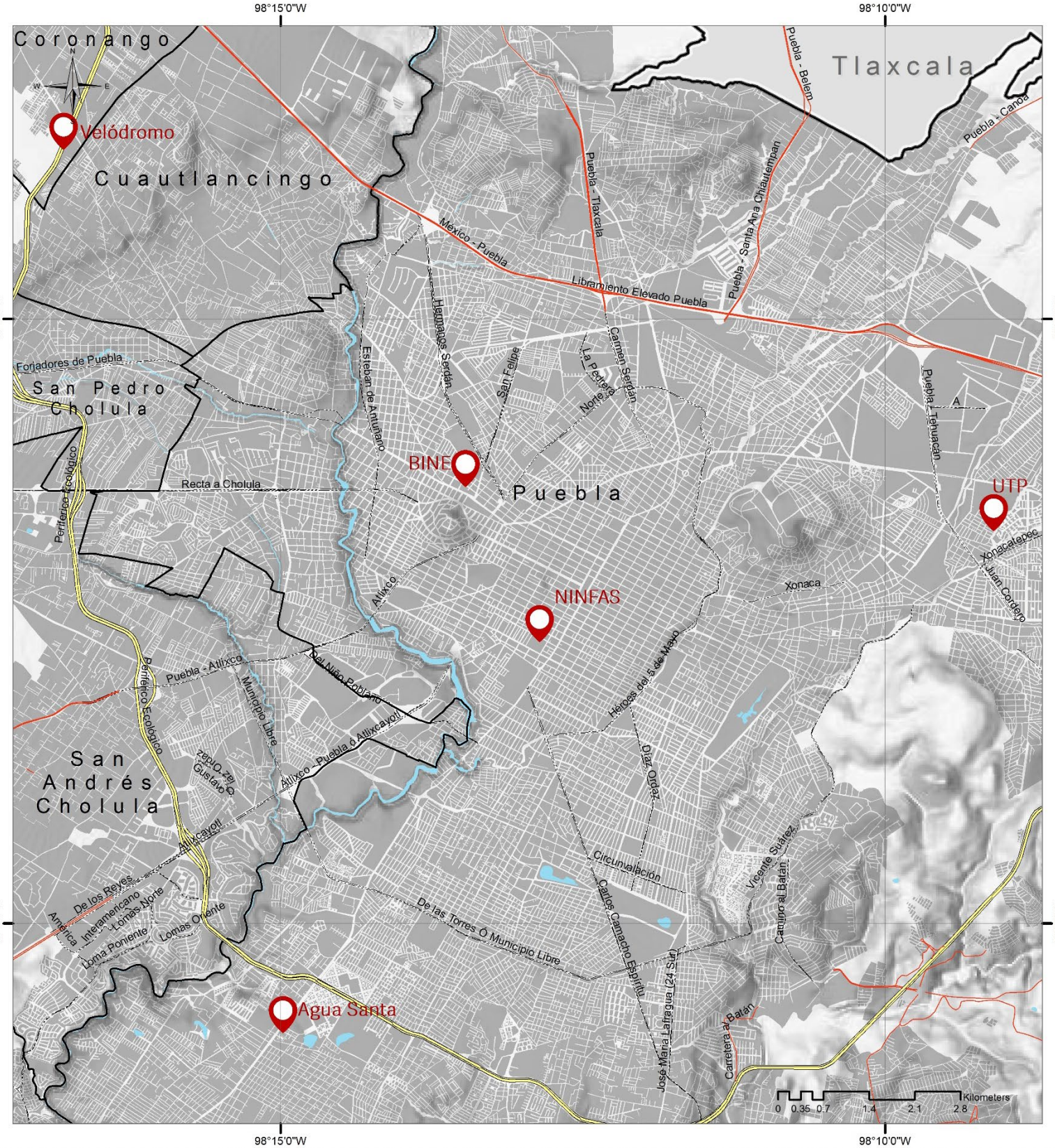
En este sentido, el estado de Puebla cuenta con una **Red Estatal de Monitoreo Atmosférico (REMA)** que inicio su operación en al año 2000, con la finalidad de registrar de forma cuantitativa los contaminantes presentes en la atmósfera, así como las condiciones meteorológicas, mismos que nos permitan identificar su comportamiento en el área conurbada de la Ciudad de Puebla, que se conforma por los municipios de Amozoc, Coronango, Cuautlancingo, Puebla, San Andrés Cholula y San Pedro Cholula. En la Tabla 10 se relacionan las estaciones de monitoreo, y en el Mapa 044, se muestra la ubicación de estas.

Tabla 10. Estaciones de Monitoreo Atmosférico de la REMA de Puebla

NO.	ESTACIÓN	COORDENADAS	REPRESENTATIVIDAD
1	Agua Santa (STA)	18.9874, -98.249666	Urbana
2	Benemérito Instituto Normal del Estado (BINE)	19.0673, -98.2245	Urbana
3	Parque de la Ninfas (NINFAS)	19.0413, -98.21429	Urbana
4	Universidad Tecnológica de Puebla (UTP)	19.056652, -98.15171	Urbana
5	Velódromo (VELODROMO)	19.1158, -98.277656	Urbana

Fuente: Página Web de Calidad del Aire, Gobierno del Estado de Puebla. https://calidaddelaire.puebla.gob.mx/views/principal_monitoreo.php

Las cinco estaciones de monitoreo de la REMA, distribuidas en la ZMVP (Mapa 44) están equipadas exclusivamente con equipo de monitoreo automático, y miden los contaminantes criterios: partículas suspendidas menores a 10 y 2.5 Micrómetros (PM_{10} y $PM_{2.5}$), ozono (O_3), bióxido de nitrógeno (NO_2), monóxido de carbono (CO), bióxido de azufre (SO_2). Así mismo, monitorean los parámetros meteorológicos: temperatura (T), velocidad del viento (WS) y dirección del viento (WD), humedad relativa (HR), presión barométrica (BP), precipitación (P), radiación solar (RS). En la Tabla 11, se muestran los parámetros que las estaciones referidas miden.



Simbología

- Estaciones de Monitoreo Atmosférico
- Límite municipal
- Mancha urbana
- Municipios del Estado de Puebla
- Límite estatal
- Cuerpos de agua

Red Vial

Tipo

- Boulevard
- Carretera
- Periférico



M044. Red Estatal de Monitoreo Atmosférico del Estado de Puebla

La REMA es un instrumento de diagnóstico de la Calidad del aire, inicio su operación en el año 2000, con la finalidad de registrar de forma cualitativa los contaminantes presentes en la atmósfera, así como las condiciones meteorológicas, para identificar su comportamiento en la Zona Metropolitana del Valle de Puebla.

Fuente: Secretaría de Medio Ambiente y Ordenamientto Territorial del Estado de Puebla
Mapa Base: Marco Geoestadistico junio 2018, Estado de Puebla, INEGI.

Coordinate System: MEXICO ITRF 2008 LCC
Projection: Lambert Conformal Conic 2SP

TABLA 11. PARÁMETROS MEDIDOS POR LA REMA DE PUEBLA.

ESTACIÓN	CLAVE	CONTAMINANTES						PARÁMETROS METEOROLÓGICOS							
		PM_{10}	$PM_{2.5}$	O_3	SO_2	NO_2	CO	T	WS	WD	HR	BP	P	RS	UVB
Benemérito Instituto Normal del Estado	BIN	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Ninfas	NIN	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Agua Santa	STA	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Universidad Tecnológica de Puebla	UTP	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Velódromo (Coronango)*	VEL	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

✓= Se cuenta con equipo de monitoreo de este contaminante.
Fuente: Secretaría de Medio Ambiente, Desarrollo Sustentable y Ordenamiento Territorial.

El Gobierno del Estado de Puebla, cuenta con una página para consultar los datos de la REMA (https://calidaddelaire.puebla.gob.mx/views/principal.php). Así mismo, envía esta información al Sistema Nacional de Información de la Calidad del Aire (SINAICA - https://sinaica.inecc.gob.mx/), administrada por el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), con la finalidad de que la población cuente con los datos de calidad del aire y de variables meteorológicas y algunos indicadores de calidad del aire.

3.2. CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS

Los contaminantes atmosféricos de acuerdo con su origen se clasifican en primarios y secundarios. Los primarios son sustancias vertidas directamente a la atmósfera, entre los que se encuentran los aerosoles o partículas, los óxidos de azufre, los óxidos de nitrógeno, el monóxido de carbono y los hidrocarburos. Los contaminantes secundarios son sustancias que se producen como consecuencia de las transformaciones, reacciones químicas y fotoquímicas que sufren los contaminantes primarios en el seno de la atmósfera (https://calidaddelaire.puebla.gob.mx/views/principal_monitoreo.php#section_monitoreo).

Los contaminantes criterio son aquellos en los que se cuenta con mejor información científica sobre las concentraciones en el aire y sus efectos en la salud. Los contaminantes atmosféricos criterio considerados en las normas oficiales mexicanas en materia de salud son:

Partículas Suspendidas (PM_{10} y $PM_{2.5}$). La exposición a las partículas puede causar reducción en las funciones pulmonares. Las partículas con diámetros mayores de 10 µm se depositan casi exclusivamente en la nariz y garganta; **las PM_{10}**, también llamada fracción torácica o inhalable, puede penetrar y depositarse a lo largo del tracto espiratorio y las partículas finas **$PM_{2.5}$** llegan a los bronquíolos respiratorios y región alveolar, por lo que se les conoce como partículas respirables. (SMADSOT, 2023).

El **Bióxido de Azufre (SO_2)** causa daños en las plantas, ya que se manifiesta por el amarillamiento de las hojas, con lo que se disminuye la capacidad de estas de captar el CO_2 y convertirlo a O_2. Es causante de enfermedades respiratorias como broncoconstricción, bronquitis y traqueítis, también puede causar broncoespasmos en personas sensibles como los asmáticos, agravamiento de enfermedades respiratorias y cardiovasculares existentes, incluso la muerte. (SMADSOT, 2023).

El **Bióxido de Nitrógeno** (NO_2) afecta principalmente al sistema respiratorio. La exposición a corto plazo en altos niveles causa daños en las células pulmonares mientras que la exposición a más largo plazo en niveles bajos puede causar cambios irreversibles en el tejido pulmonar similares a un enfisema. (SMADSOT, 2023).

El **Monóxido de Carbono (CO)** es altamente tóxico para los seres humanos y otras formas de vida aeróbicas, inhalado en pequeñas cantidades puede producir hipoxia, daño neurológico y posiblemente la muerte. Aún en concentraciones pequeñas como de 400 ppm en el aire, puede ser fatal. Una característica peligrosa está relacionada a que carece de olor, lo cual da lugar a que no sea detectado por el olfato del ser humano. (SMADSOT, 202).

El **ozono** (O_3) es un gas tóxico que a concentraciones elevadas puede tener efectos en la salud humana, afectando principalmente al aparato respiratorio e irritando las mucosas, pudiendo llegar a producir afecciones pulmonares. El aparato respiratorio es el principal perjudicado por la acción del ozono, los primeros síntomas que se detectan tras una exposición a ozono son: tos, dolor de cabeza, náuseas, dolores pectorales, y acortamiento de la respiración. (SMADSOT, 2023).

Los **Compuestos Orgánicos Volátiles** (COV) tienen un origen tanto natural como antropogénico (debido a la evaporación de disolventes orgánicos, a la quema de combustibles, etc.). Se caracterizan por participar en reacciones químicas en la atmósfera generando otros contaminantes, como el **ozono**. (SMADSOT, 2023).

3.3. Normas Oficiales Mexicanas (NOM)

En México, la Secretaría de Salud es el órgano responsable de evaluar la evidencia de los impactos de la contaminación atmosférica en la salud y establecer los límites permisibles de concentración de los contaminantes en la atmósfera. La Tabla 12 resume los indicadores con los que se evalúa el cumplimiento de las NOM de salud con respecto a cada uno de los contaminantes criterio.

TABLA 12. VALORES LÍMITE PERMISIBLES DE EXPOSICIÓN A LOS CONTAMINANTES NORMADOS

CONTAMINANTE	DATO BASE UTILIZADO	EXPOSICIÓN	FRECUENCIA TOLERADA	VALOR LÍMITE INDICADOR CON EL QUE SE EVALÚA	CRITERIO DE SUFICIENCIA ANUAL	NORMA OFICIAL MEXICANA
Partículas menores de 10 micrómetros (PM_{10})	Promedio 24 horas	Aguda	No se permite	Años 2022-2023: 70 μg/m3 Años 2024-2025: 60 μg/m3 A partir de 2026: 50 μg/m3	Por lo menos tres trimestres con al menos el 75% de los promedios de 24 horas válidas	NOM-025-SSA1-021
		Crónica	---	Años 2022-2023: 36 μg/m3 Años 2024-2025: 28 μg/m3 A partir de 2026: 20 μg/m3		
Partículas menores de 2.5 micrómetros ($PM_{2.5}$)	Promedio 24 horas	Aguda	No se permite	Años 2022-2023: 41 μg/m3 Años 2024-2025: 33 μg/m3 A partir de 2026: 25 μg/m3		
		Crónica	---	10 µg/m³ Promedio anual		
Ozono (O_3)	Dato horario	Aguda	No se permite	0.090 ppm Máximo	Al menos 75% de los datos horarios	NOM-020-SSAI-2021
	Promedios móviles de 8 horas		No se permite	2022-2023: 0.065 ppm 2024-2025: 0.060 ppm A partir de 2026: 0.051 ppm	Al menos 75% de los de los promedios móviles de ocho horas	
Bióxido de azufre (SO_2)	Máximo diario	Aguda	1% de veces al año	0.075 ppm Promedio aritmético de 3 años consecutivos de los percentiles 99 anuales	Al menos 75% de los datos diarios por trimestre de tres años consecutivos	NOM-022-SSA1-2019
	Promedio 24 horas	Aguda	No se permite	0.04 ppm Máximo tres años consecutivos	Al menos 75% de los promedios de 24 horas por trimestre o de los meses con concentraciones altas de tres años consecutivos	
Bióxido de nitrógeno (NO_2)	Dato horario	Aguda	1 vez al año	0.106 ppm Segundo máximo	Al menos 75% de los datos horarios	NOM-023-SSAI-2021
	Promedio 24 horas	Aguda	No se permite	0.04 ppm		
Monóxido de carbono (CO)	Dato horario	Aguda	No se permite	26 ppm Máximo horario	Al menos 75% de los datos horarios	NOM-021-SSA1-2021
	Promedio móvil de 8 horas	Aguda	1 vez al año	9 ppm Segundo máximo	Al menos 75% de los de los promedios móviles de ocho horas	
Plomo (Pb)	Muestreo 24 horas	Crónica	No se permite	1.5 µg/m³ Promedio trimestral	---	NOM-026-SSA1-1993

Fuente: Elaboración propia de acuerdo con lo estipulado en las presentes Normas Oficiales Mexicanas en materia de salud.

- **NOM-020-SSA1-2021**. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto al ozono (O_3). Valores normados para la concentración de ozono (O_3) en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población.
- **NOM-021-SSA1-2021**. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto al monóxido de carbono (CO). Valores normados para la concentración de monóxido de carbono (CO) en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población.

- **NOM-022-SSA1-2019**. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto al dióxido de azufre (SO_2). Valores normados para la concentración de dióxido de azufre (SO_2) en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población.
- **NOM-023-SSA1-2021**. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto al dióxido de nitrógeno (NO_2). Valores normados para la concentración de dióxido de nitrógeno (NO_2) en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población.
- **NOM-025-SSA1-2021**. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto a las partículas suspendidas PM_{10} y $PM_{2.5}$. Valores normados para la concentración de partículas suspendidas PM_{10} y $PM_{2.5}$ en el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población.

3.4. Programa de verificación vehicular

Un programa importante para disminuir la contaminación emitida por los automóviles es la verificación vehicular. En el estado de Puebla, desde 1989, se realizan pruebas de emisiones vehiculares, que se vuelven obligatorias en 1996. En 2005, los centros de verificación empezaron su modernización y a partir de 2008, se incorporan las pruebas dinámicas, implementado las calcomanías 0 y 00, y así llevar un mejor control de las emisiones vehiculares.

En 2014 el Órgano de Gobierno de la CAMe acordó armonizar los criterios del Programa de Verificación Vehicular Obligatoria y en el año 2017 se publicó la NOM-167-Semarnat-2017 que establece los LMP para vehículos en circulación en la Megalópolis y el procedimiento de las pruebas de verificación. Desde esa fecha, Puebla homologa sus medidas de control de la contaminación con la Ciudad de México, Querétaro, Hidalgo, Tlaxcala y el Estado de México.

En 2014 el Programa de Verificación Vehicular (PVV) vuelve obligatorio el proceso con base en la NOM-167-SEMARNAT-2017, con el que se transitó hacia un nuevo modelo homologado de centros en los que se incorporaron equipos de tecnología de punta y sistemas de control de calidad, acordes con los lineamientos de la Comisión Ambiental de la Megalópolis.

El Gobierno del Estado de Puebla, a través de la SMADSOT, nuevamente ha implementado el Programa de Verificación Vehicular Obligatoria (PVVO) a través del acuerdo publicado en el Periódico Oficial del estado de Puebla el lunes 17 de noviembre de 2022, esto después de dos años inactivo. En este acuerdo, se señala que es de observancia general, orden público e interés social, regular los niveles de emisiones contaminantes provenientes de vehículos automotores matriculados en el estado de Puebla, además de las referentes a la contaminación ostensible, que serán aplicables a todo vehículo automotor que circule en el estado de Puebla.

Aunado a PVVO, el Gobierno del Estado de Puebla implementó el **Programa de Modalidades a la Circulación (PMC)**, el cual se aplica en la ZMVP con base a los hologramas. Indicando que los vehículos de servicio particular, de servicio mercantil de carga, de servicio público de transporte, de servicio ejecutivo y

taxis con hologramas “Exento”, “00” y “0”, quedarán libres de todas las modalidades establecidas en el PMC. Y, en el caso de los vehículos que hayan obtenido el holograma “1” o “2”, sin importar la entidad que lo haya emitido, se restringe un día entre semana, **SOLO** cuando se presenten **dos días consecutivos de mala calidad del aire,** es decir más de 40 horas, en más de dos estaciones de la Red Estatal de Monitoreo Atmosférico (REMA).

Esto, obliga al Gobierno del Estado de Puebla a mantener una red de monitoreo atmosférico en buenas condiciones y representativa para contar con datos aceptables, confiables y suficientes sobre el comportamiento de los contaminantes para la toma de decisión de restringir la circulación vehicular.

3.5. CONTINGENCIA AMBIENTAL

La contingencia ambiental se refiere a una situación de emergencia ambiental en la que se alcanzan niveles peligrosos de contaminación del aire. Se declara cuando las condiciones atmosféricas, combinadas con altas concentraciones de contaminantes, representan un riesgo significativo para la salud de la población y el medio ambiente. Se presenta principalmente en áreas urbanas densamente pobladas, donde las emisiones de gases y partículas provenientes de fuentes como vehículos, industrias y quema de combustibles fósiles superan los límites aceptables.

Los Programas para Contingencias Ambientales Atmosféricas son una herramienta de gestión de la calidad del aire que contribuyen a reducir los riesgos a la exposición de concentraciones elevadas de contaminantes y disminuir emisiones de los contaminantes relacionados, para prevenir que sigan incrementándose y/o evitar que se acumulen para el día siguiente. (ProAire ZMVM 2021- 2030, 2021).

Su primer antecedente en nuestro país data de 1988 cuando se creó el Programa para Contingencias Ambientales Atmosféricas (PCAA) en la Ciudad de México en respuesta a los altos niveles de contaminación que se registraban en esa época. De entonces a la fecha, el Programa se ha actualizado, y varias ciudades de la República Mexicana, especialmente aquellas con alta concentración de población, vehicular e industrial, cuentan con uno.

Los programas de contingencia cuentan con varias fases en su activación dependiendo del tipo de contaminante, en cada fase se especifican una serie de medidas. Estas medidas pueden incluir restricciones al tráfico vehicular, suspensión de actividades industriales, suspensión de actividades al aire libre, limitaciones en la quema de combustibles, promoción del uso de transporte público y vehículos menos contaminantes.

Es importante que el estado de Puebla desarrolle y aplique un programa de contingencias ambientales, especialmente para la ZMVP.

3.6. Calidad del aire en la ZMV de Puebla

Como se ha mencionado, en la ZMVP, desde el 2000 es monitoreado la calidad del aire a través de la red estatal de monitoreo atmosférico (REMA). Y, Con base en el análisis de la información que se ha generado a lo largo de los años de la operación de la REMA por la SMADSOT y de los informes nacionales de calidad del aire publicados por INECC.

En el último informe publicado por el INECC (Informe Nacional de Calidad del Aire, 2020. https://sinaica.inecc.gob.mx/archivo/informes/Informe2020.pdf), indica que, en 2020, en Puebla se registró el incumplimiento de al menos una norma de calidad del aire en el 33% de los días de 2020, en Coronango esto ocurrió en 16% de los días con información válida. El contaminante que con mayor frecuencia determina una condición de mala calidad del aire en la ciudad de Puebla son las PM_{10}, en tanto que en Coronango es el ozono.

Por otro lado, el informe publicado por SMADSOT sobre el diagnóstico de contaminantes criterio en 2021, revela que, de los 365 días transcurridos; 93 días presentaron buena calidad del aire, o sea, en esos días ningún contaminante excedió la normatividad oficial vigente; 207 días con aceptable o moderada calidad del aire, es decir, al menos un contaminante se mantuvo en un rango de concentraciones altas sin exceder la normatividad. Y, que en 65 días del 2021 (18% de los días) con mala calidad del aire, excediendo la normatividad de los contaminantes de partículas PM_{10} y ozono.

Este análisis, se amplió para obtener indicadores que ayude a desarrollar las medidas que atiendan la problemática de calidad del aire, como:

- Análisis de los datos desde el 2010 al 2021 para evaluar el cumplimiento con las normas oficiales de calidad del aire para ozono, SO_2, CO, NO_2 y partículas (PM_{10} y $PM_{2.5}$), considerando los criterios de suficiencia o complexión de datos diario, trimestral o anual.
- Generación de gráficas para mostrar el: a) comportamiento horario, b) comportamiento diario, c) comportamiento durante la semana, y, d) comportamiento anual.

El análisis de datos se apega al manejo de datos indicado en las normas mexicanas de salud (ver tabla 12) y la metodología usada por el INECC para el cálculo de indicadores para los informes nacionales de calidad del aire, publicados en el SINAICA (https://sinaica.inecc.gob.mx/pags/informes.php).

3.7.1. Disponibilidad de número de datos por contaminantes

Como se puede observar en las tablas (del 13 al 18), que en algunos años los números de datos de los contaminantes están por debajo de los 75% de horas al año (números rojos), los cuales quedan fuera del análisis para la evaluación de cumplimiento de normas. Los porcentajes marcado en color negro indica que hay suficiencia de datos del 75% para comparar con los umbrales marcados en las NOM de calidad del aire. En este caso, la estación Universidad Tecnológica de Puebla es la que en más años cumple con este indicador.

Tabla 13. Porcentaje de datos disponibles de ozono

AÑO	TECNOLÓGICO	NINFAS	AGUA SANTA	BINE	VELODROMO
2010	51.79		55.66	57.53	
2011	92.72	94.70	95.27		
2012	98.04	92.53	91.60	95.83	55.93
2013	99.06		64.67		91.15
2014	76.07	12.41	78.76	85.18	95.82
2015	77.72	78.04	99.78	91.32	75.74
2016	99.97	97.69	83.53	75.24	94.85
2017	89.46	73.15	49.83	86.20	74.71
2018	94.03	89.41	86.10	97.42	98.49
2019	91.56	97.19	77.83	63.08	73.60
2020	67.54	95.09	82.70	43.98	82.59
2021	93.17	96.52	57.77	94.68	83.00

Tabla 14. Porcentaje de datos disponibles de PM_{10}

AÑO	TECNOLÓGICO	NINFAS	AGUA SANTA	BINE	VELODROMO
2010	59.52		59.54	60.90	
2011	93.01	90.62	96.04		
2012	98.84	95.89	91.01	98.18	11.77
2013	55.56		72.58		83.31
2014	82.18	35.40	86.03	86.50	94.38
2015	88.21	95.37	79.35	77.33	90.61
2016	98.78	96.33	86.18	76.46	80.57
2017	85.40	87.11	65.46	89.29	
2018	94.10	96.26	79.57	93.70	69.39
2019	91.51	96.12	70.64	55.70	73.37
2020	84.71	66.27	28.92	26.71	87.93
2021	86.97	95.16	57.09	92.83	15.25

Tabla 15. Porcentaje de datos disponibles de $PM_{2.5}$

AÑO	TECNOLÓGICO	NINFAS	AGUA SANTA	BINE	VELODROMO
2010	57.53		55.55	59.16	
2011	99.84	92.40	99.99		
2012	99.62	98.75	98.74	98.18	14.91
2013	83.77		16.36		60.75
2014	74.98		38.42	37.29	91.97
2015	87.20	75.16	75.45	87.20	15.64
2016	99.52	99.46	84.29	76.46	
2017	85.24	87.59	59.90	88.60	
2018	93.57	93.54	79.20	92.79	
2019	91.13	97.12	59.91	51.45	
2020	65.40	72.62	66.93		
2021	88.24	92.47	53.25	58.73	

Tabla 16. Porcentaje de datos disponibles de CO

AÑO	TECNOLÓGICO	NINFAS	AGUA SANTA	BINE	VELODROMO
2010	65.37		62.48	64.61	
2011	91.56	94.99	94.82		
2012	95.78	94.14	94.88	96.33	57.24
2013	96.69		71.00		96.94
2014	81.27	24.06	75.42	87.63	95.25
2015	77.32		57.23	99.74	91.29
2016	99.75	97.13	88.01	75.02	95.40
2017	85.72	13.94	13.16	43.90	38.25
2018	78.47	77.92	75.66	32.40	40.70
2019	87.80	95.70	83.98	60.51	71.35
2020	48.76	94.52	59.46	42.45	77.88
2021	90.91	92.10	52.36	52.89	84.90

Tabla 17. Porcentaje de datos disponibles de NO_2

AÑO	TECNOLÓGICO	NINFAS	AGUA SANTA	BINE	VELODROMO
2010	63.17		62.13	52.88	
2011	92.03	88.08	90.50		
2012	93.50	99.56	94.38	90.20	51.08
2013			34.68	0.26	97.35
2014	6.95			87.97	96.23
2015	12.01		79.24	86.36	31.62
2016	99.43	23.08	63.62	0.75	
2017	90.71	69.36	56.72		79.44
2018	93.37	81.24	92.98		25.48
2019	91.48	96.31	76.39	39.70	44.71
2020	65.90	89.80	75.73	42.04	36.24
2021	93.84	93.69	57.71	86.93	12.45

Tabla 18. Porcentaje de datos disponibles de SO_2

AÑO	TECNOLÓGICO	NINFAS	AGUA SANTA	BINE	VELODROMO
2010	58.63		63.01	62.58	
2011	85.58	97.18	96.16		
2012	95.65	98.20	91.55	95.33	57.21
2013	94.24		65.55		22.29
2014	46.20	28.76	57.27	30.72	95.74
2015	51.74		99.92	31.43	92.79
2016	99.98	99.32	78.30	48.24	17.46
2017	86.20	77.50	62.63	70.75	73.12
2018	93.95		93.45	82.02	98.25
2019	90.99		80.87	61.19	66.96
2020	48.98	46.87	83.39	38.30	44.36
2021	93.98	96.22	57.79	94.00	59.90

Fuente: Elaboración propia con datos de SMADSOT 2022.

3.7.2. Distribución de días con buena, aceptable y mala calidad del aire en la ZMVP por estación de monitoreo

Este indicador ilustra la severidad de los problemas de la calidad del aire en la ZMVP y por cada estación de monitoreo atmosférico mostrando la frecuencia con la que se rebasan los valores límite diarios establecidos en la normatividad mexicana para cada contaminante. Así mismo, permite identificar sitios con potenciales problemas de calidad del aire que no necesariamente se reflejan

en incumplimiento de norma por no cumplir con el criterio de suficiencia de información para llevar a cabo tal evaluación.

Es importante señalar, que las Partículas PM_{10}, $PM_{2.5}$ y el ozono son los contaminantes que exceden su normatividad de calidad del aire en la ZMVP, por lo que, el análisis se centra más en estos contaminantes durante 2020 y 2021 con dos umbrales. Para el primer umbral, se tomó lo indicado en la norma vigente al momento de registrar los datos y el segundo con la norma que actualmente está en vigor.

Ozono

En la figura 15, se observa que el 2017 fue el año con mayor número de días con mala calidad del aire (155), seguido de 2018 con 126 días. Para el 2021 este indicador fue de 24 días. Cabe mencionar, que el umbral usado de 0.090 ppm es el de la norma vigente (NOM-020-SSAI-2021).

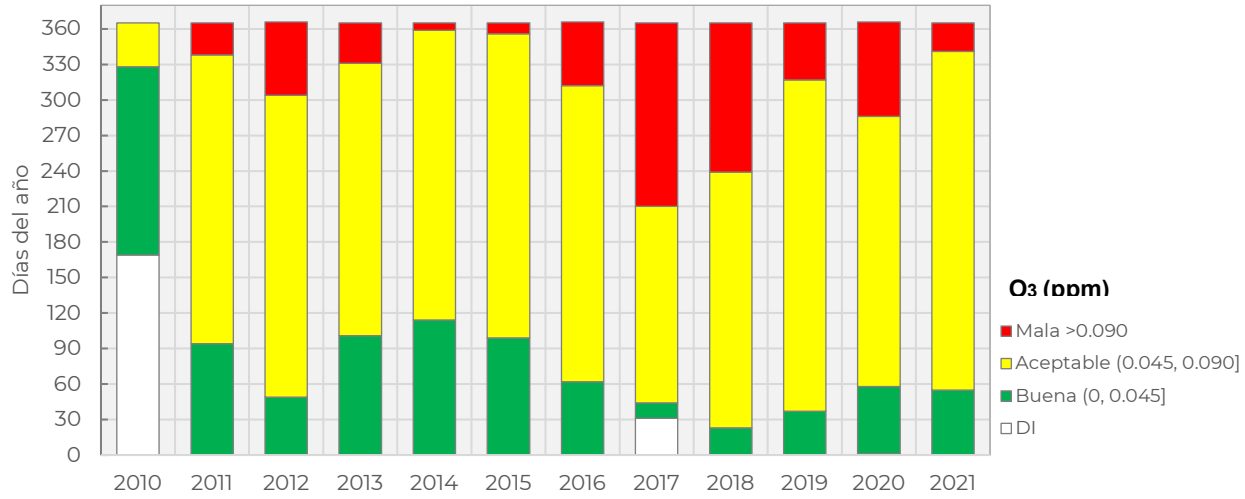


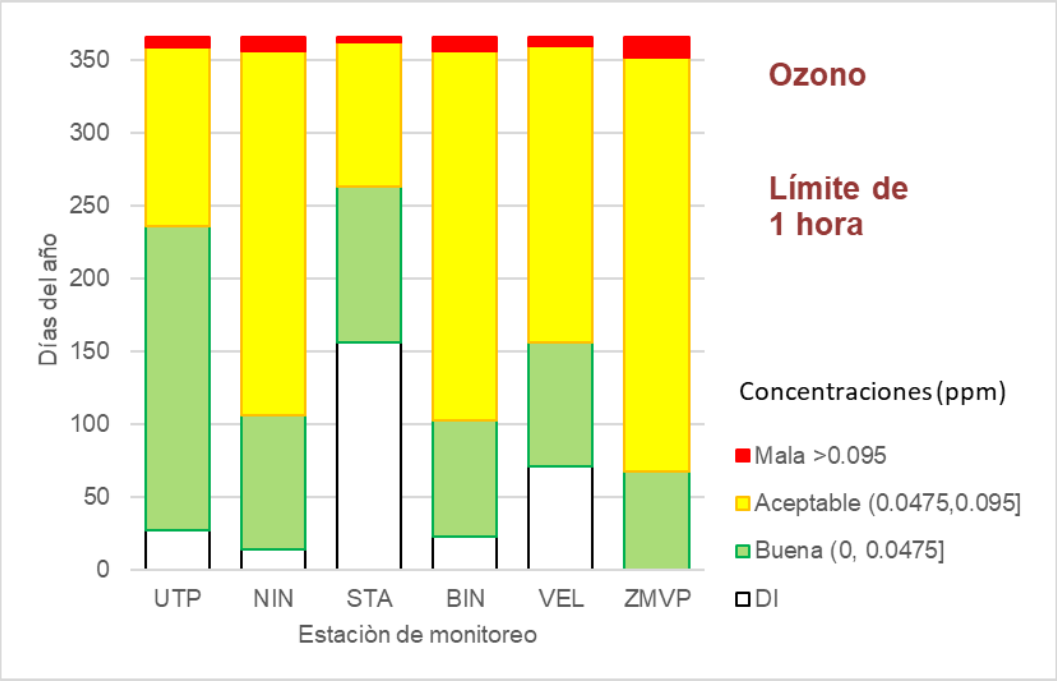
FIGURA 15. DISTRIBUCIÓN DE DÍAS CON BUENA CALIDAD DEL AIRE, ACEPTABLE Y MALA EN LA ZMVP DE 2010 A 2021 (OZONO)

Fuente: Elaboración propia con datos de SMADSOT 2022.

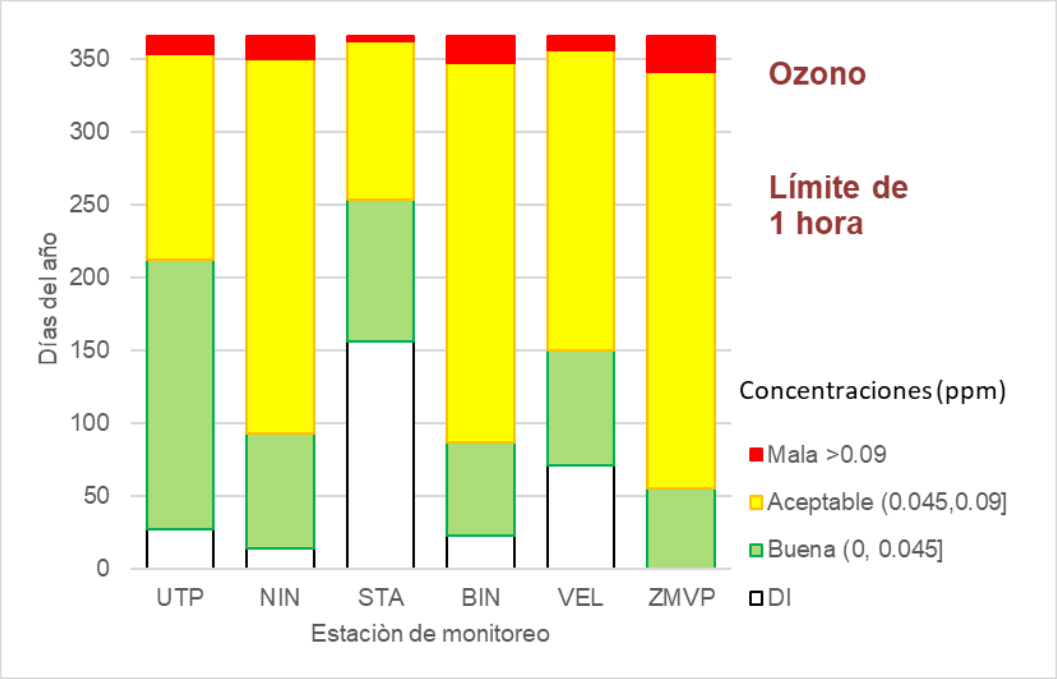
En la Figura 16, se muestra la distribución de días con buena, aceptable y mala calidad del aire en la ZMVP y por estación de monitoreo atmosférico para 2020 y 2021. Como se puede observar, al usar el umbral del 0.090 ppm (norma actual) se incrementa el número de días con mala calidad del aire que cuando se usa el umbral 0.095 ppm (norma anterior). Al analizar el indicador por estación, se tiene que la ubicada en el Benemérito Instituto Normal del Estado (BIN) es la que registra mayor número de días con mala calidad del aire.

OZONO (2021)

Límite: 0.095 ppm (NOM-020-SSA1-2014)



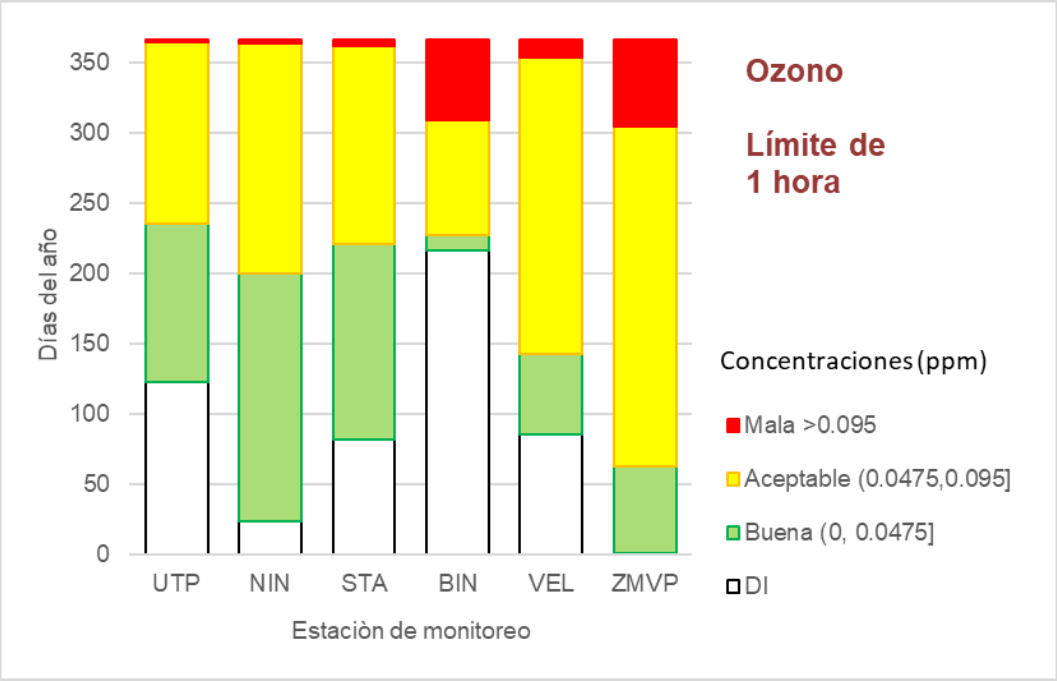
Límite: 0.090 ppm (NOM-020-SSAI-2021)



- >0.090 ppm umbral de la NOM-020-SSA1-2021.
- >0.095 ppm umbral de la NOM-020-SSA1-2014.
- DI revela que no se cuenta con datos suficientes para la evaluación de calidad del aire.

OZONO (2020)

Límite: 0.095 ppm (NOM-020-SSA1-2014)



Límite: 0.090 ppm (NOM-020-SSAI-2021)

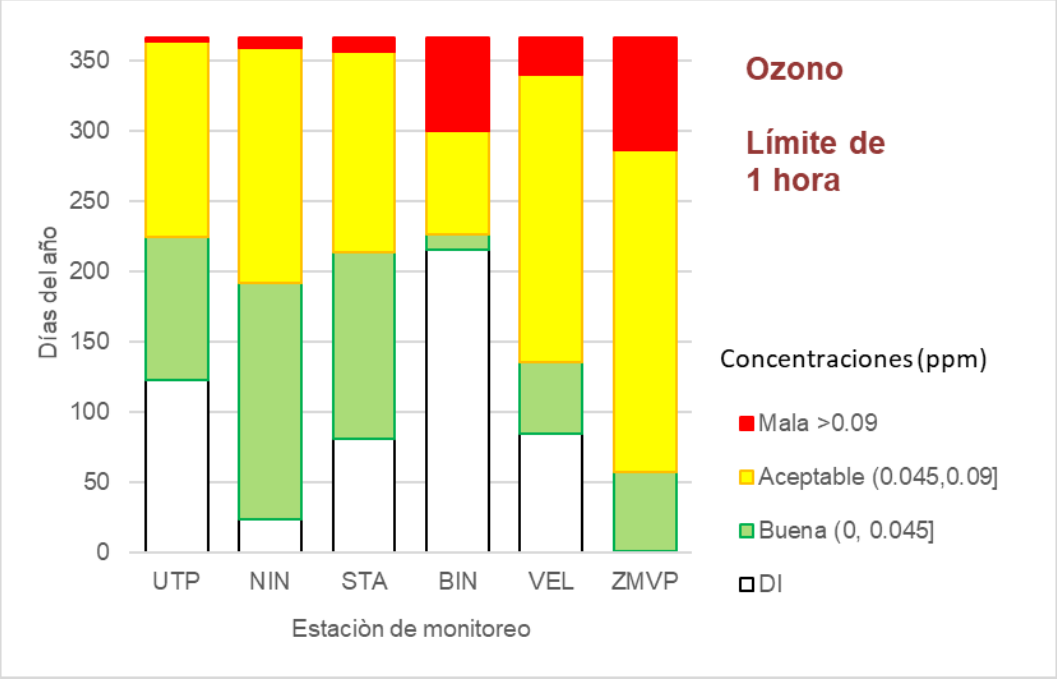


FIGURA 16. DISTRIBUCIÓN DE DÍAS CON BUENA, ACEPTABLE Y MALA CALIDAD DEL AIRE EN LA ZMVP Y POR ESTACIÓN DE MONITOREO ATMOSFÉRICO PARA 2020 Y 2021 (OZONO)

- >0.090 ppm umbral de la NOM-020-SSA1-2021.
- >0.095 ppm umbral de la NOM-020-SSA1-2014.
- DI revela que no se cuenta con datos suficientes para la evaluación de calidad del aire.

Fuente: Elaboración propia con datos de SMADSOT 2022.

Partículas PM_{10}

En cuanto a las PM_{10}, en el 2021 se tuvo 79 días con mala calidad del aire, menor que los registrados desde el 2012, a excepción del año 2020 cuando hubo 76 días con mala calidad del aire (Ver Figura 17). En el último año analizado, la estación que más días registro con mala calidad del aire (55) es Ninfas (NIN), seguida de Santa Ana (STA) con 48 días.

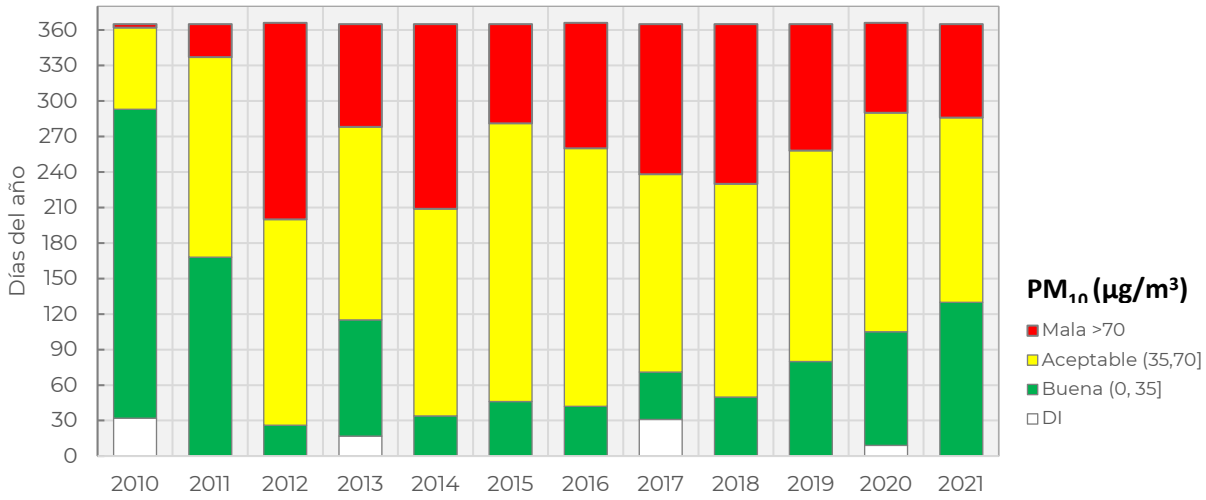
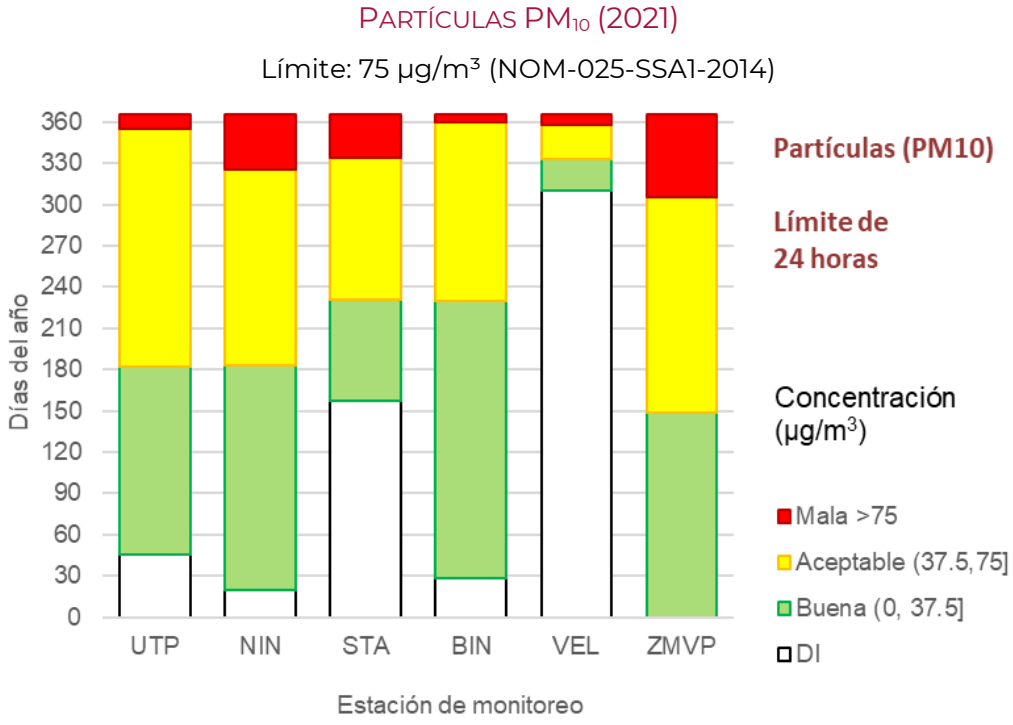
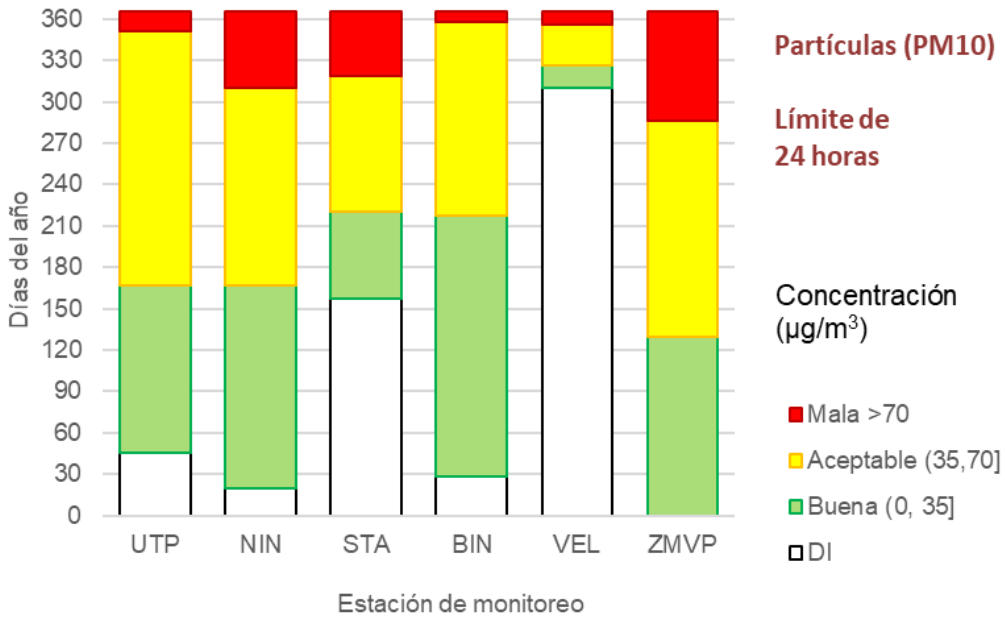


FIGURA 17. DISTRIBUCIÓN DE DÍAS CON BUENA, ACEPTABLE Y MALA CALIDAD DEL AIRE EN LA ZMVP DE 2010 A 2021 PARA PM_{10}



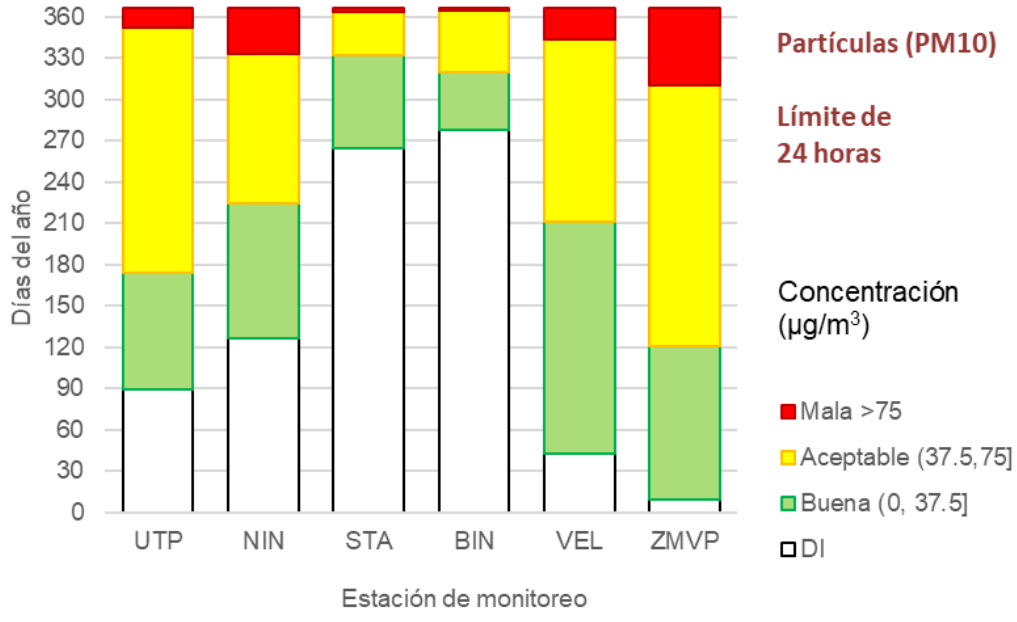
Límite: 70 µg/m³ (NOM-025-SSAI-2021)



- >70 µg/m³ (umbral de exposición aguda la NOM-025-SSAI-2021)
- >75 µg/m³ (umbral de exposición aguda la NOM-025-SSA1-2014)
- DI revela que no se cuenta con datos suficientes para la evaluación de calidad del aire.

PARTÍCULAS PM_{10} (2020)

Límite: 75 µg/m³ (NOM-025-SSA1-2014)



Límite: 70 µg/m³ (NOM-025-SSAI-2021)

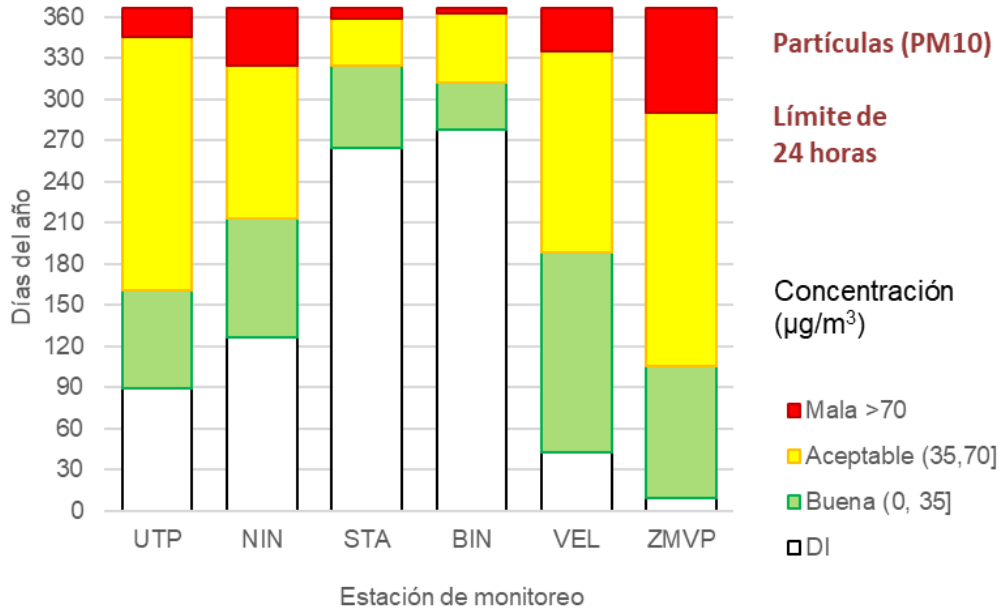


FIGURA 18. DISTRIBUCIÓN DE DÍAS CON CALIDAD DEL AIRE BUENA, ACEPTABLE Y MALA EN LA ZMVP Y POR ESTACIÓN DE MONITOREO ATMOSFÉRICO PARA 2020 Y 2021 (PM_{10})

- >70 µg/m³ (umbral de exposición aguda la NOM-025-SSAI-2021)
- >75 µg/m³ (umbral de exposición aguda la NOM-025-SSA1-2014)
- DI revela que no se cuenta con datos suficientes para la evaluación de calidad del aire.

Fuente: Elaboración propia con datos de SMADSOT 2022.

Partículas $PM_{2.5}$

En 2021, las $PM_{2.5}$, sólo se tuvo seis días con mala calidad del aire en toda la ZMVP (Figura 19). La estación donde se registraron cuatro de los seis días fue Agua Santa (STA) (Figura 20).

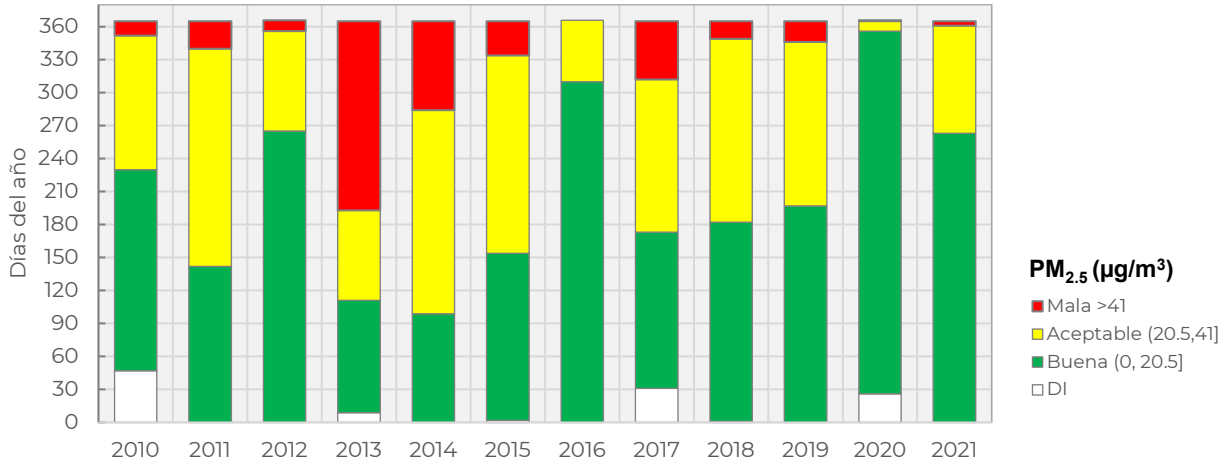
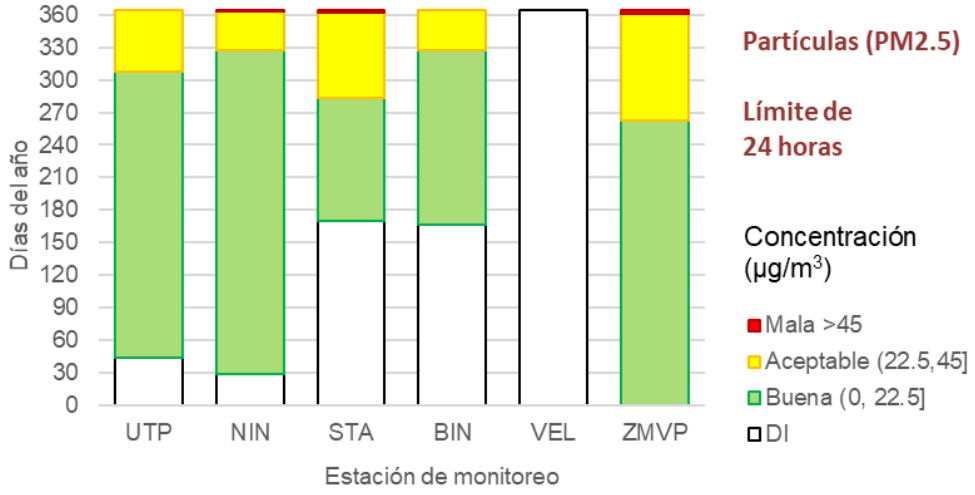


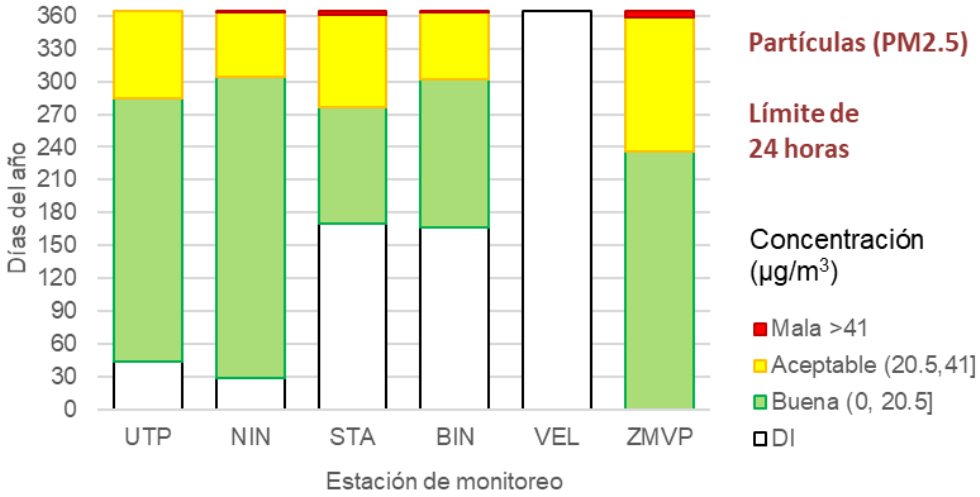
FIGURA 19. DISTRIBUCIÓN DE DÍAS CON CALIDAD DEL AIRE BUENA, ACEPTABLE Y MALA EN LA ZMVP DE 2010 A 2021 PARA $PM_{2.5}$

PARTÍCULAS $PM_{2.5}$ (2021)

Límite: 45 µg/m³ (NOM-025-SSA1-2014)

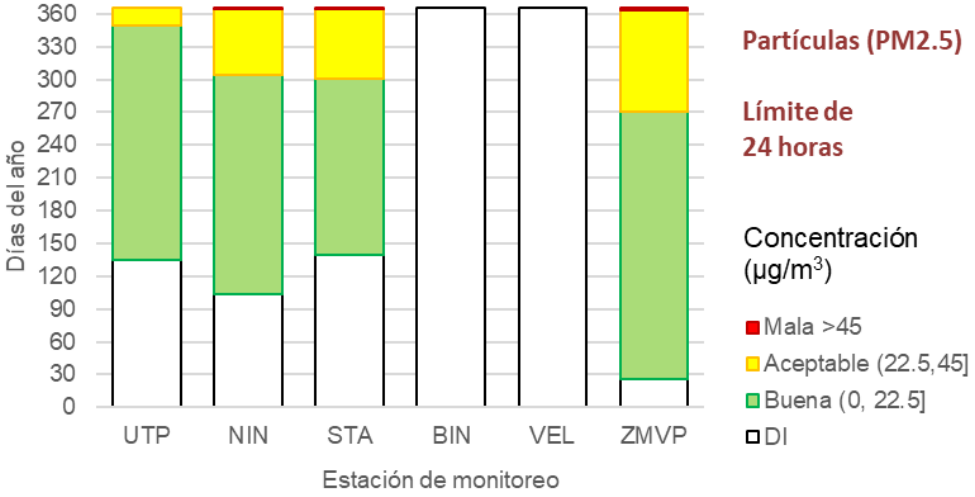


Límite: 41 µg/m³ (NOM-025-SSAI-2021)



PARTÍCULAS $PM_{2.5}$ (2020)

Límite: 45 µg/m³ (NOM-025-SSA1-2014)



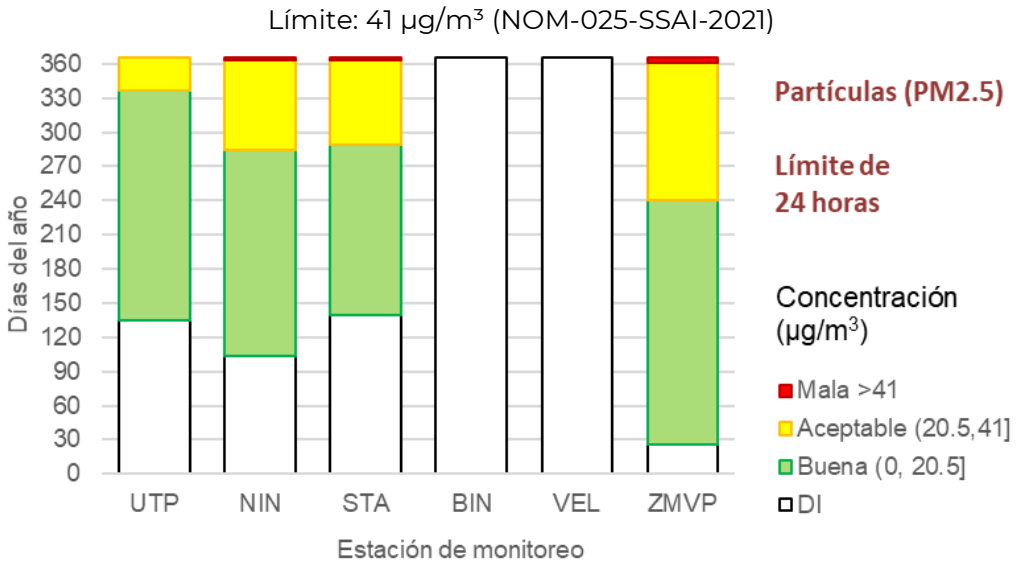


FIGURA 20. DISTRIBUCIÓN DE DÍAS CON CALIDAD DEL AIRE BUENA, ACEPTABLE Y MALA EN LA ZMVP Y POR ESTACIÓN DE MONITOREO ATMOSFÉRICO PARA 2020 Y 2021 ($PM_{2.5}$)

- >70 µg/m³ (umbral de exposición aguda la NOM-025-SSAI-2021)
- >75 µg/m³ (umbral de exposición aguda la NOM-025-SSA1-2014)
- DI revela que no se cuenta con datos suficientes para la evaluación de calidad del aire.

Fuente: Elaboración propia con datos de SMADSOT 2022.

Monóxido de Carbono

En cuanto a este contaminante, en la ZMVP casi siempre se ha tenido días con buena calidad del aire (Figura 21).

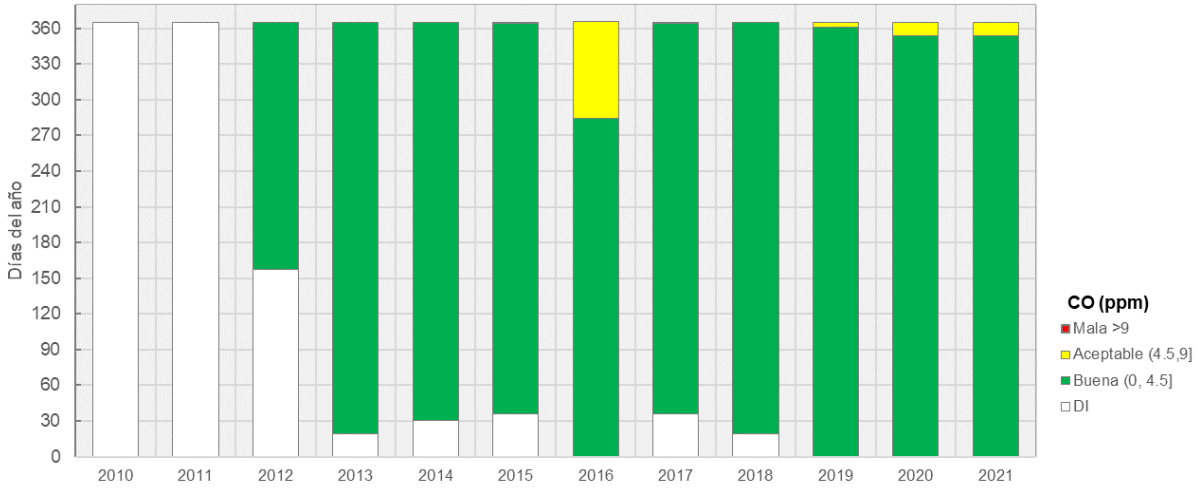


FIGURA 21. DISTRIBUCIÓN DE DÍAS CON BUENA, ACEPTABLE Y MALA CALIDAD DEL AIRE EN LA ZMVP DE 2010 A 2021 PARA CO

- >9 ppm (umbral de exposición aguda la NOM-021-SSAI-2021)

Fuente: Elaboración propia con datos de SMADSOT 2022.

Bióxido de Nitrógeno

En cuanto a este contaminante, en la ZMVP casi siempre se ha tenido días con buena calidad del aire (Figura 22).

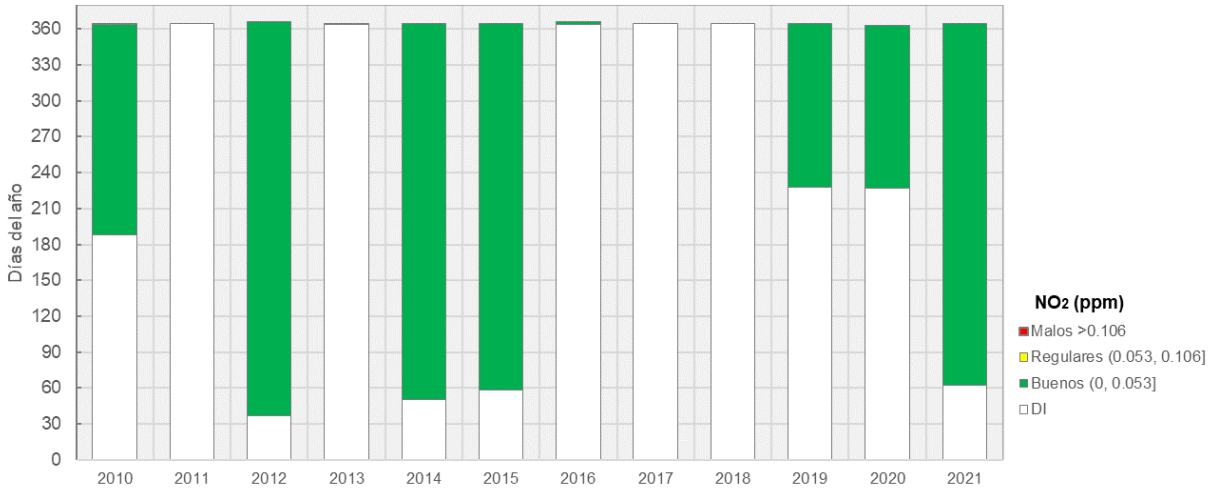


FIGURA 22. DISTRIBUCIÓN DE DÍAS CON BUENA, ACEPTABLE Y MALA CALIDAD DEL AIRE EN LA ZMVP DE 2010 A 2021 PARA NO_2

Fuente: Elaboración propia con datos de SMADSOT 2022.

Bióxido de Azufre

En cuanto a este contaminante, en la ZMVP siempre se cuenta con días con buena calidad del aire (Figura 23).

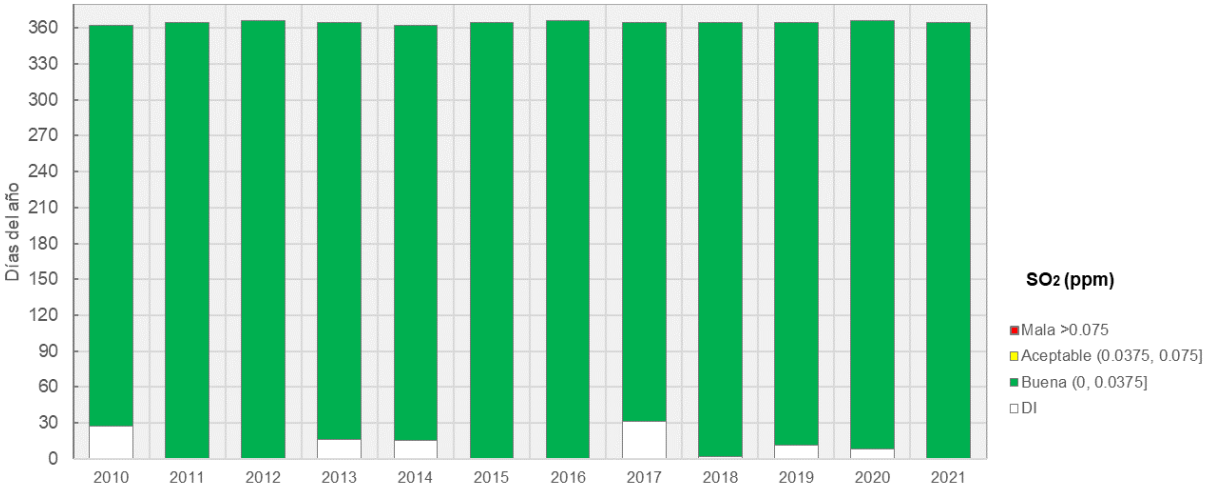


FIGURA 23. DISTRIBUCIÓN DE DÍAS CON BUENA, ACEPTABLE Y MALA CALIDAD DEL AIRE EN LA ZMVP DE 2010 A 2021 PARA SO_2

Fuente: Elaboración propia con datos de SMADSOT 2022.

3.7.3. Evaluación del cumplimiento de normas de calidad del aire

Para evaluar la calidad del aire en la ZMVP se generaron las siguientes gráficas que presentan los resultados de la evaluación de cumplimiento de las NOM para ozono y PM_{10} en la ZMVP (Figura 24 y 25) en 2021.

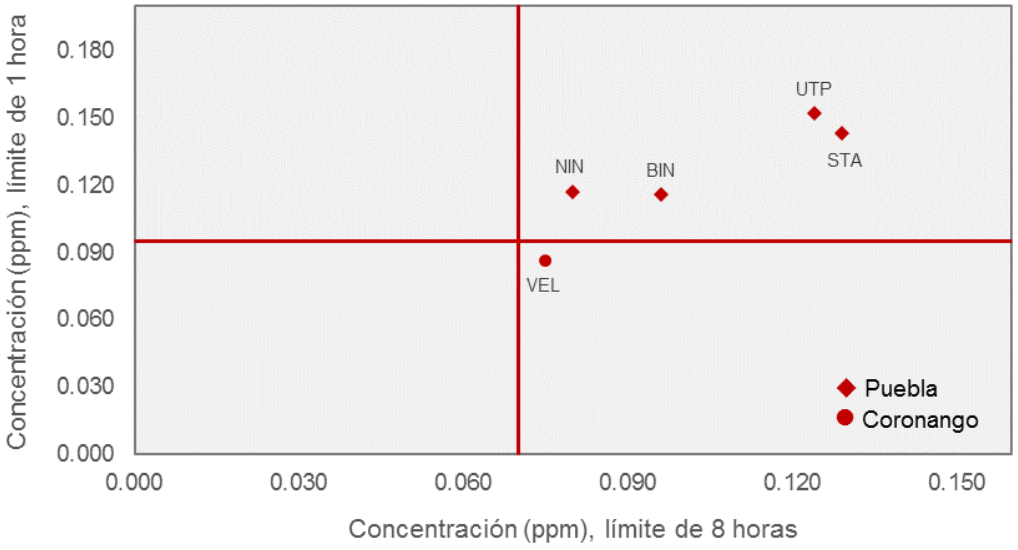


Figura 24. Evaluación de cumplimiento de norma de ozono

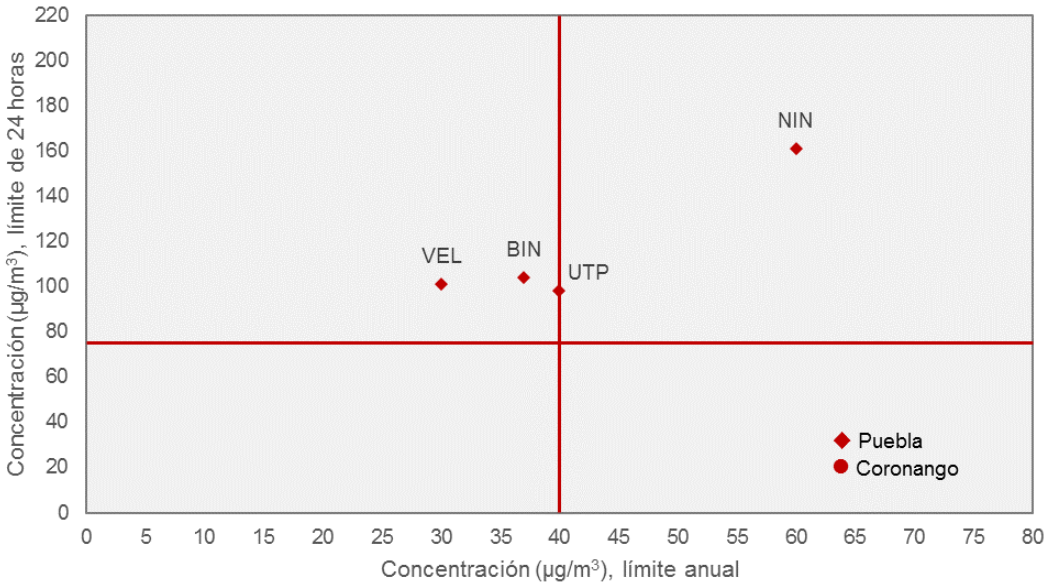


Figura 25. Evaluación de cumplimiento de norma de PM_{10}

Fuente: Elaboración propia con datos de SMADSOT 2022.

3.7.4. COMPORTAMIENTO DIURNO

En las Figuras 26 al 29, se muestra el perfil horario de los contaminantes.

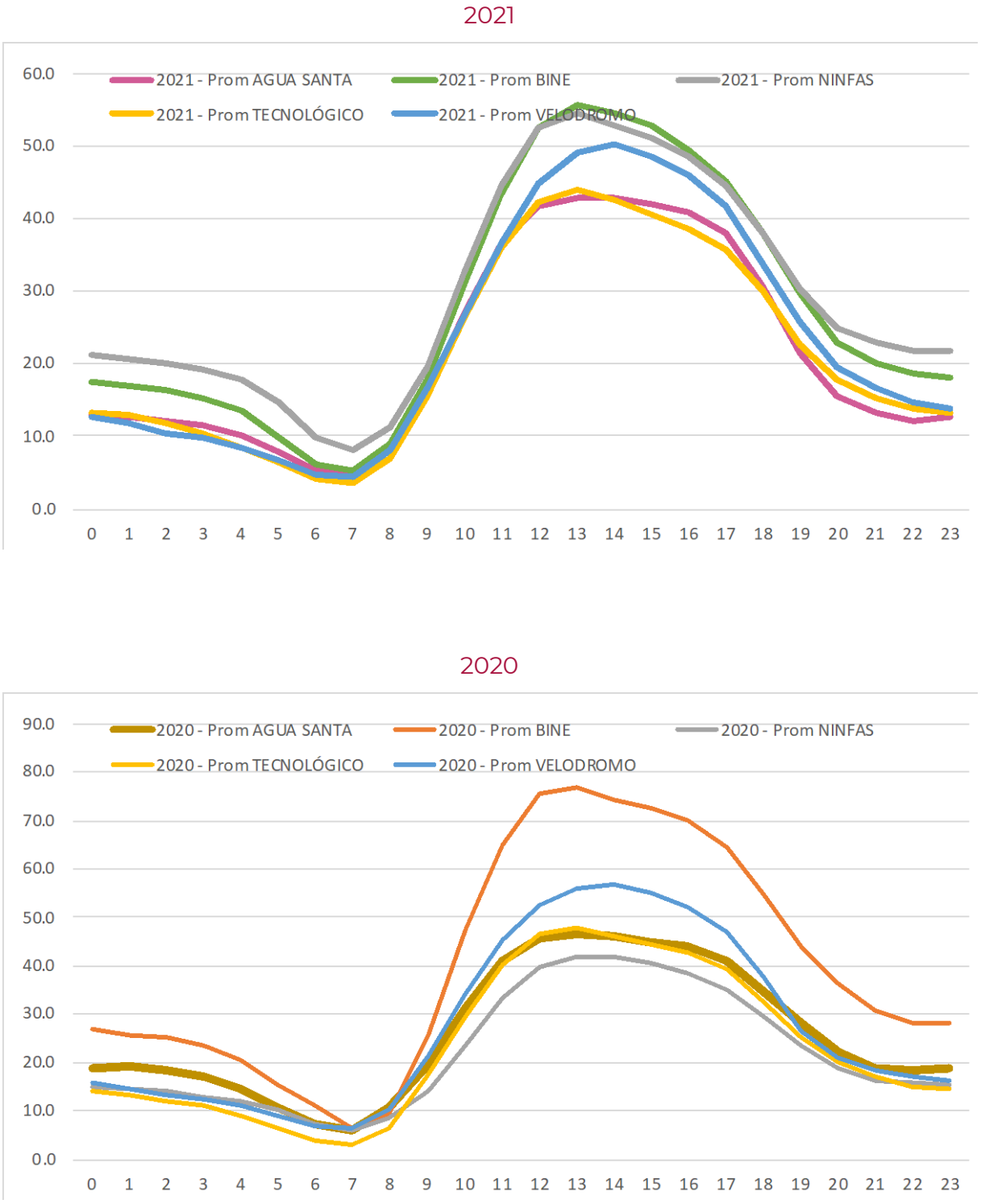
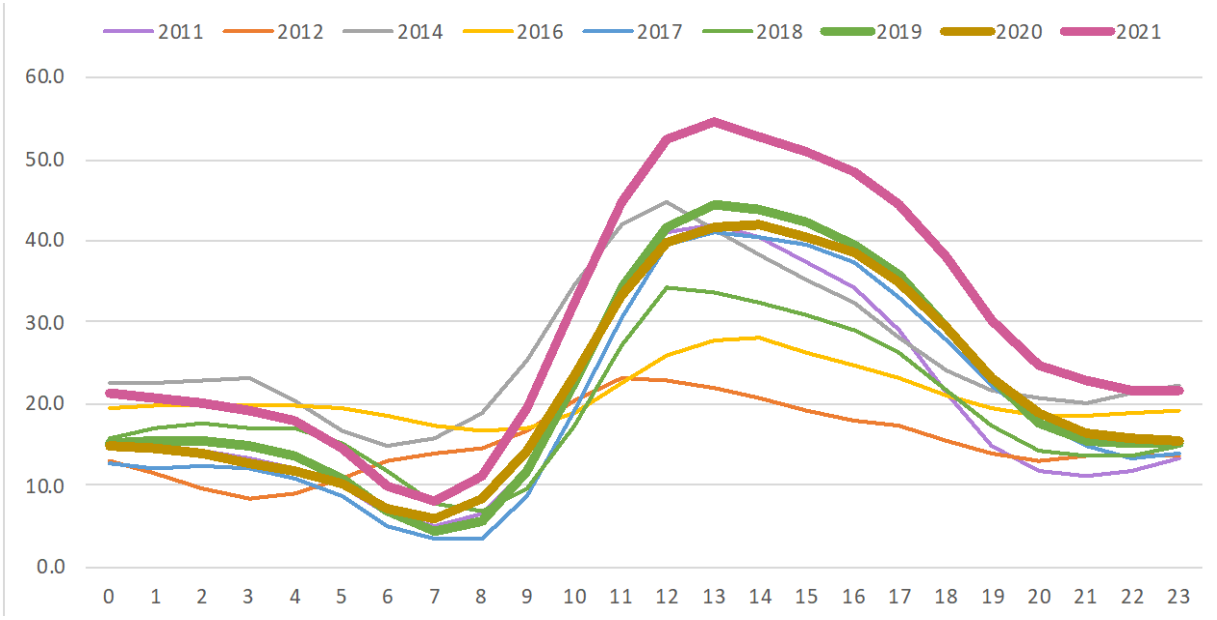


FIGURA 26. COMPORTAMIENTO HORARIO DE OZONO POR ESTACIÓN DE MONITOREO

NINFAS



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PUEBLA

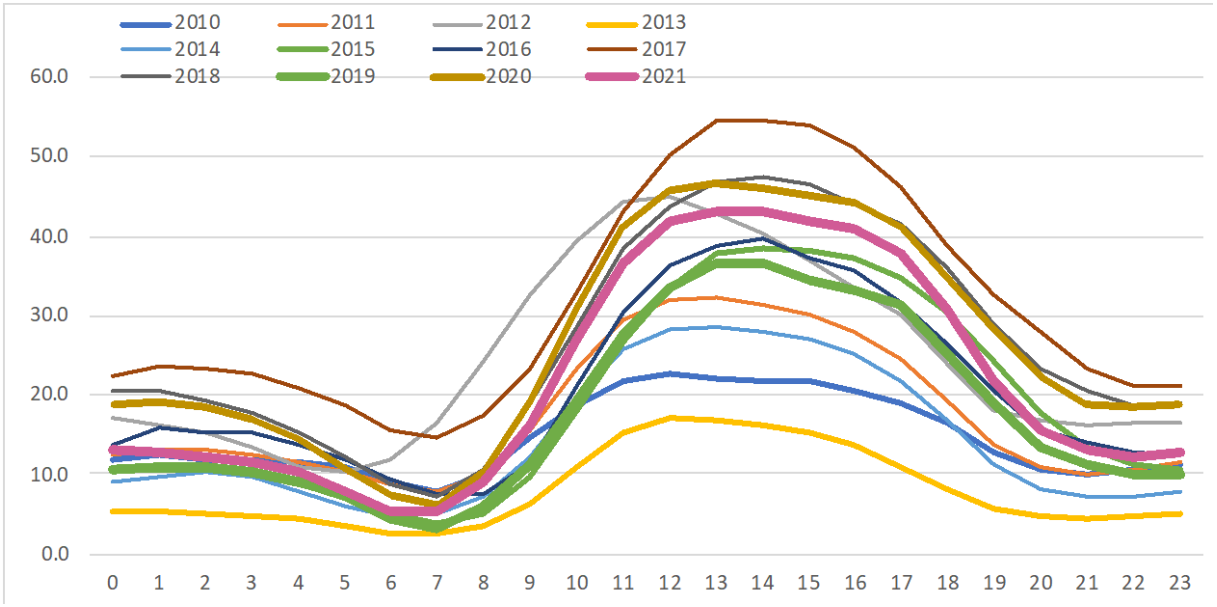
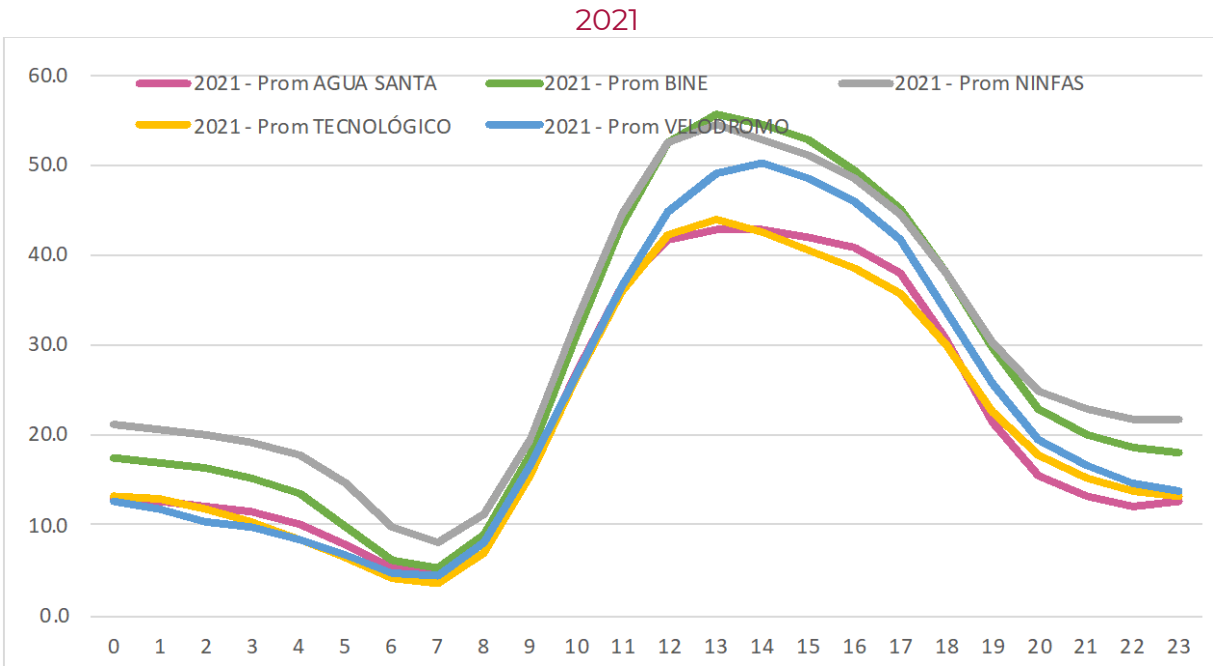


FIGURA 27. COMPORTAMIENTO HORARIO DE OZONO POR ESTACIÓN DE MONITOREO



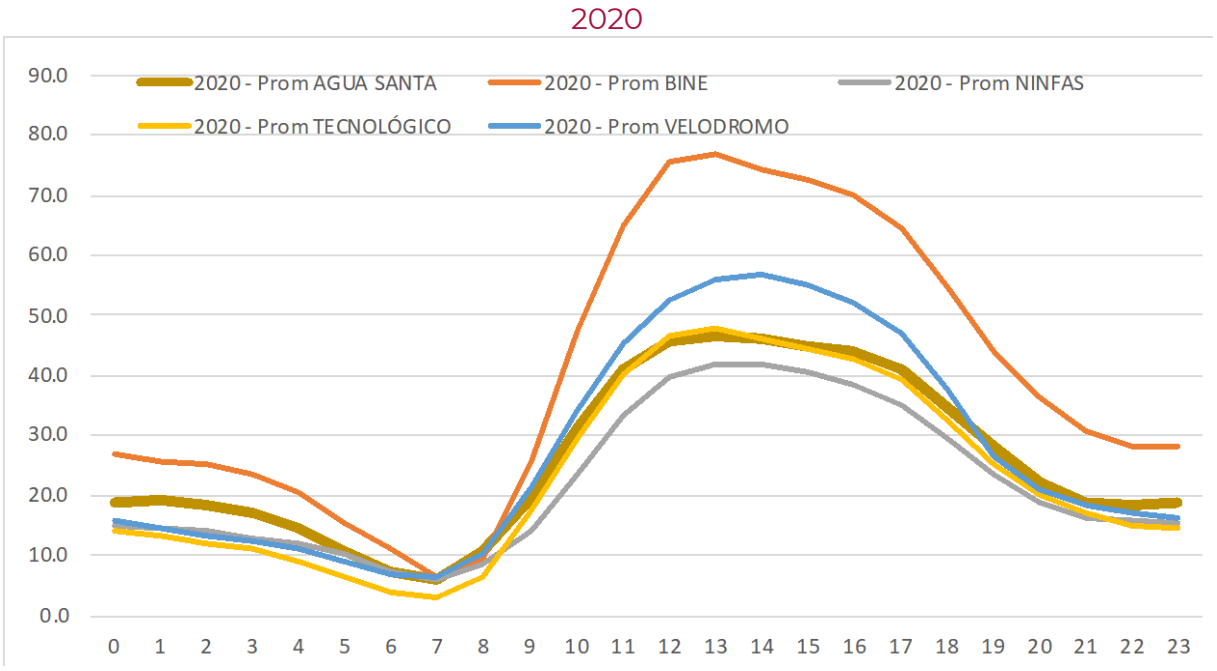


FIGURA 28. COMPORTAMIENTO HORARIO DE PM_{10} POR ESTACIÓN DE MONITOREO

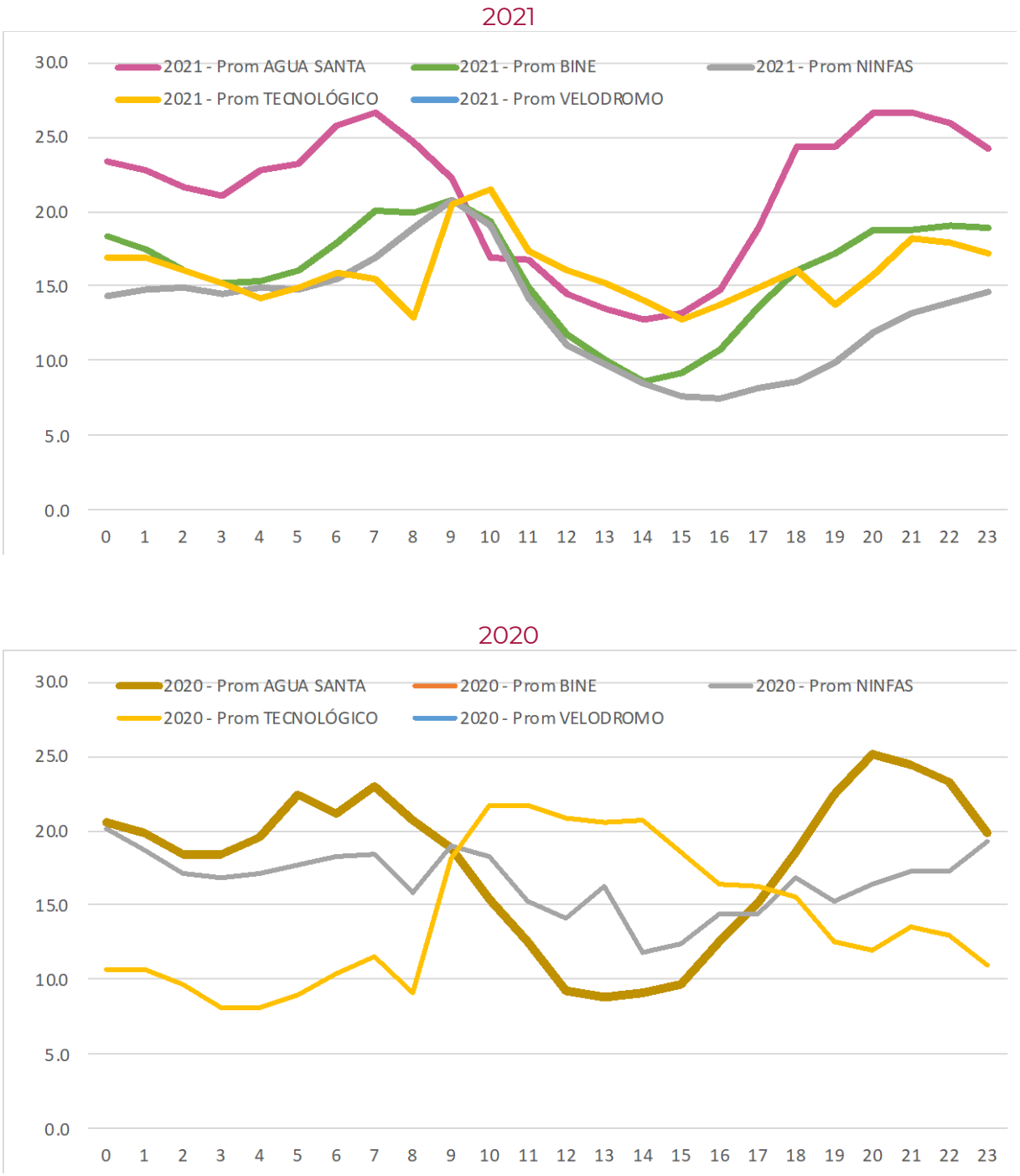


FIGURA 29. COMPORTAMIENTO HORARIO DE $PM_{2.5}$ POR ESTACIÓN DE MONITOREO

Fuente: Elaboración propia con datos de SMADSOT 2022.

3.7.5. COMPORTAMIENTO SEMANAL DE LOS CONTAMINANTES

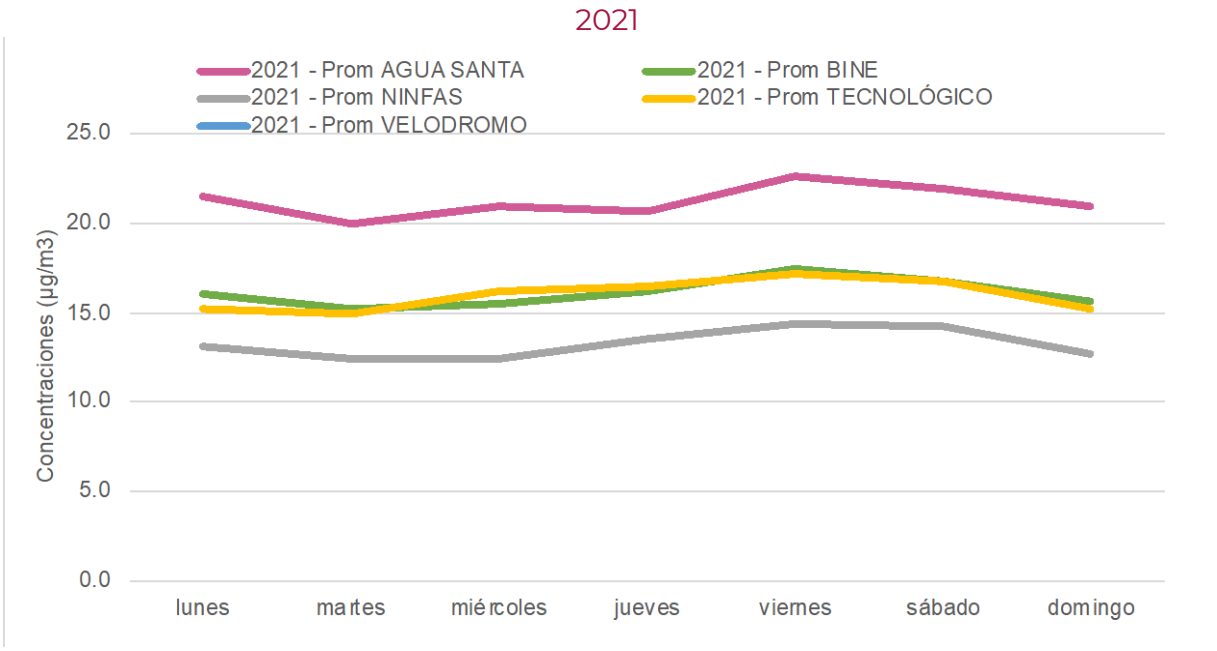
En las figuras 30 al 32, se muestra el perfil semanal de los contaminantes.



FIGURA 30. COMPORTAMIENTO SEMANAL DE OZONO POR ESTACIÓN DE MONITOREO



FIGURA 31. COMPORTAMIENTO SEMANAL DE PM_{10} POR ESTACIÓN DE MONITOREO



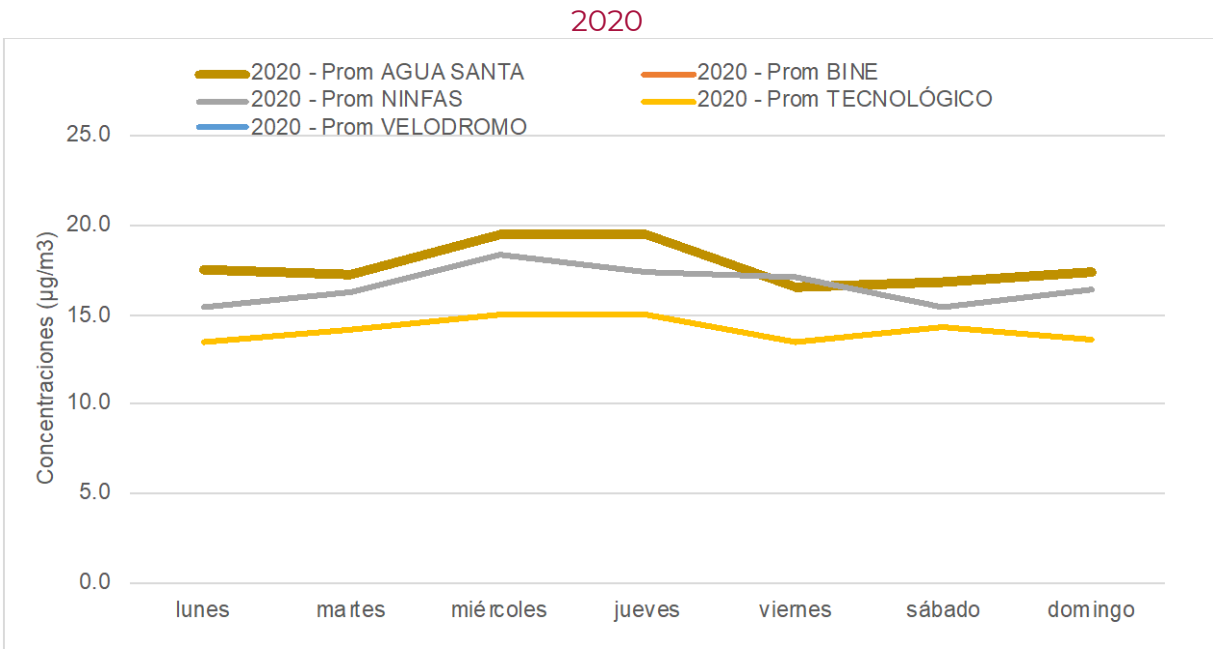


FIGURA 32. COMPORTAMIENTO SEMANAL DE $PM_{2.5}$ POR ESTACIÓN DE MONITOREO

Fuente: Elaboración propia con datos de SMADSOT 2022.

3.7.6. COMPORTAMIENTO ANUAL DE LOS CONTAMINANTES

En las figuras 33 al 35, se muestra el perfil anual de los contaminantes.

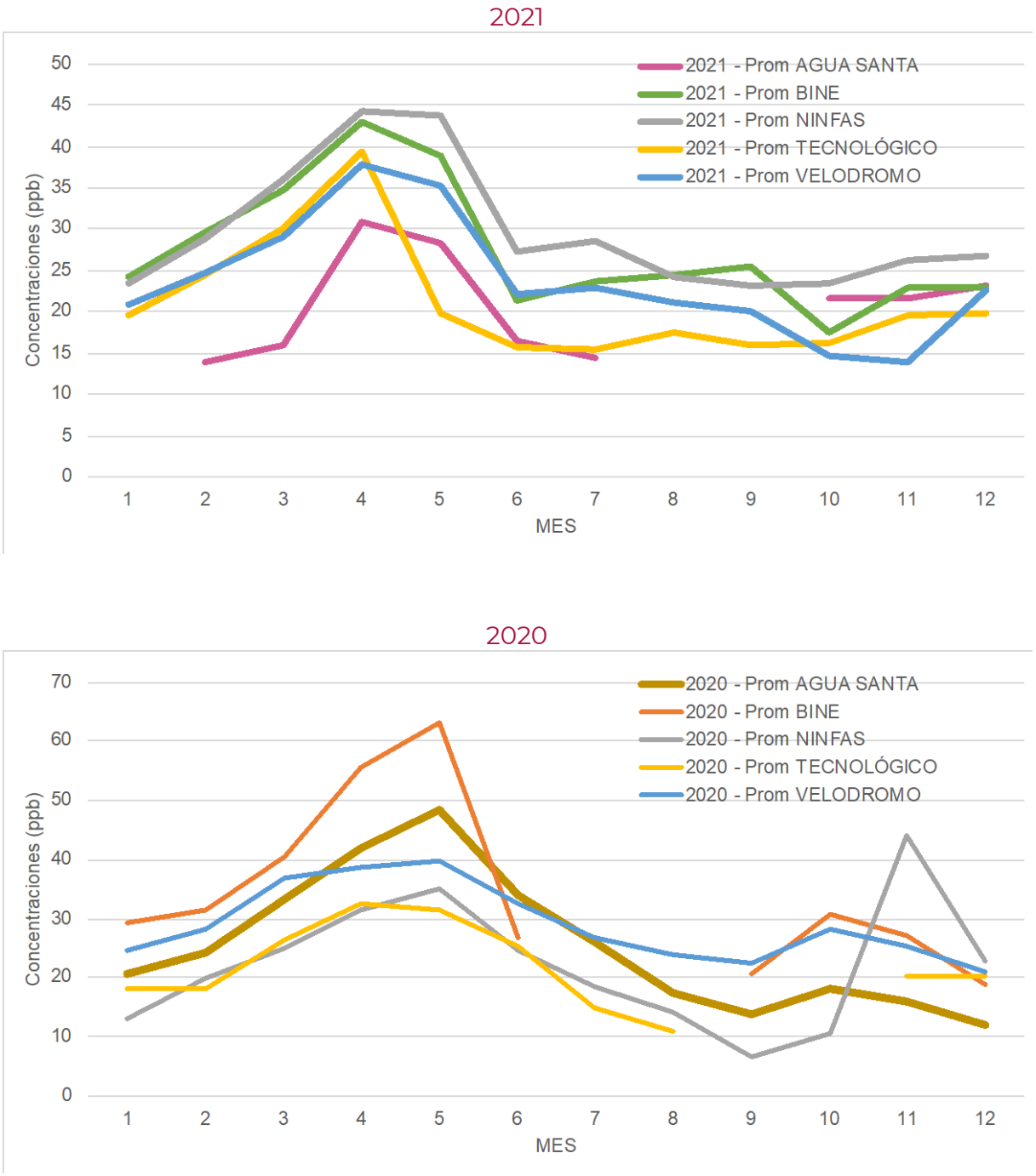


FIGURA 33. COMPORTAMIENTO ANUAL DE OZONO POR ESTACIÓN DE MONITOREO

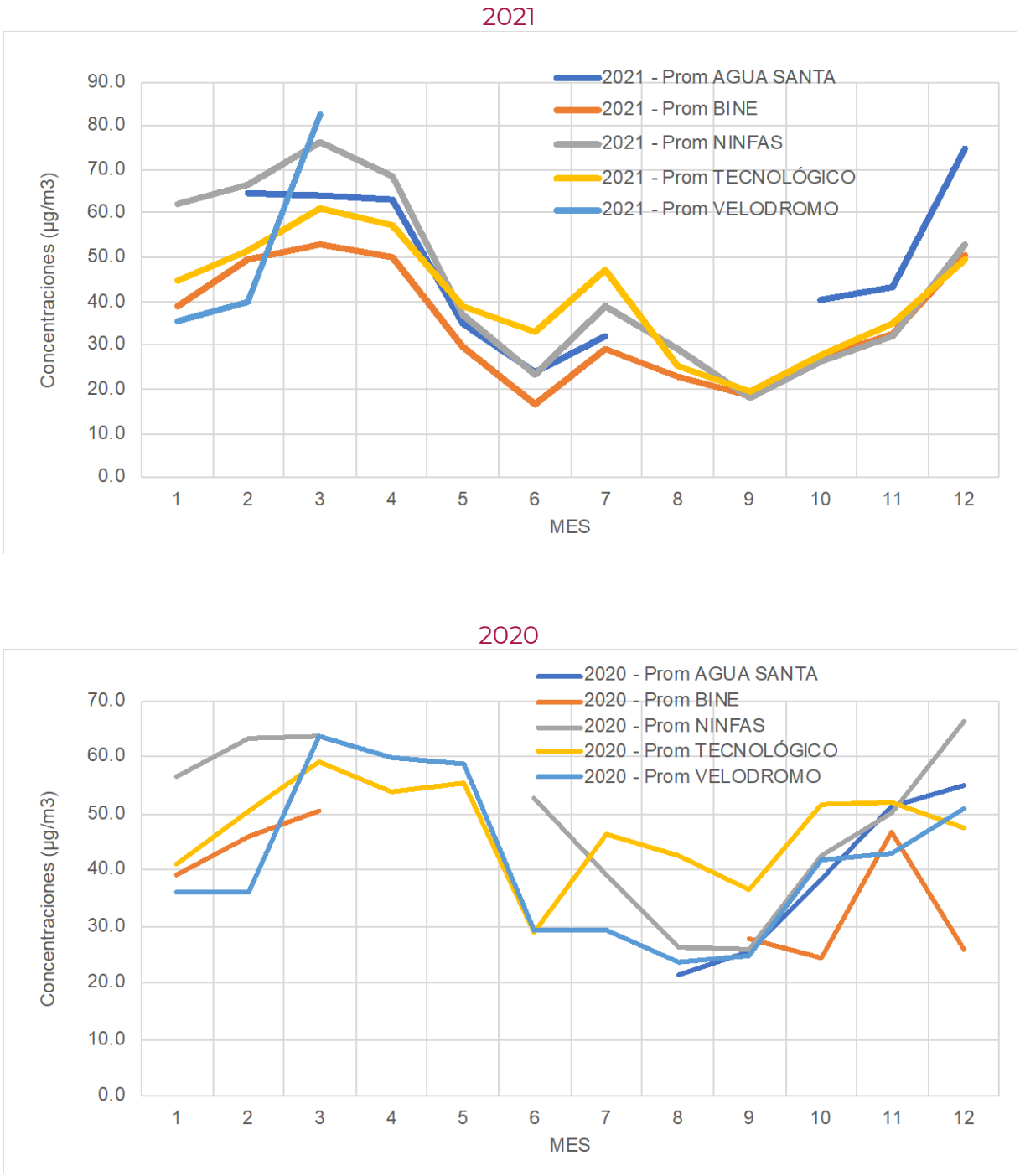


FIGURA 34. COMPORTAMIENTO ANUAL DE PM_{10} POR ESTACIÓN DE MONITOREO

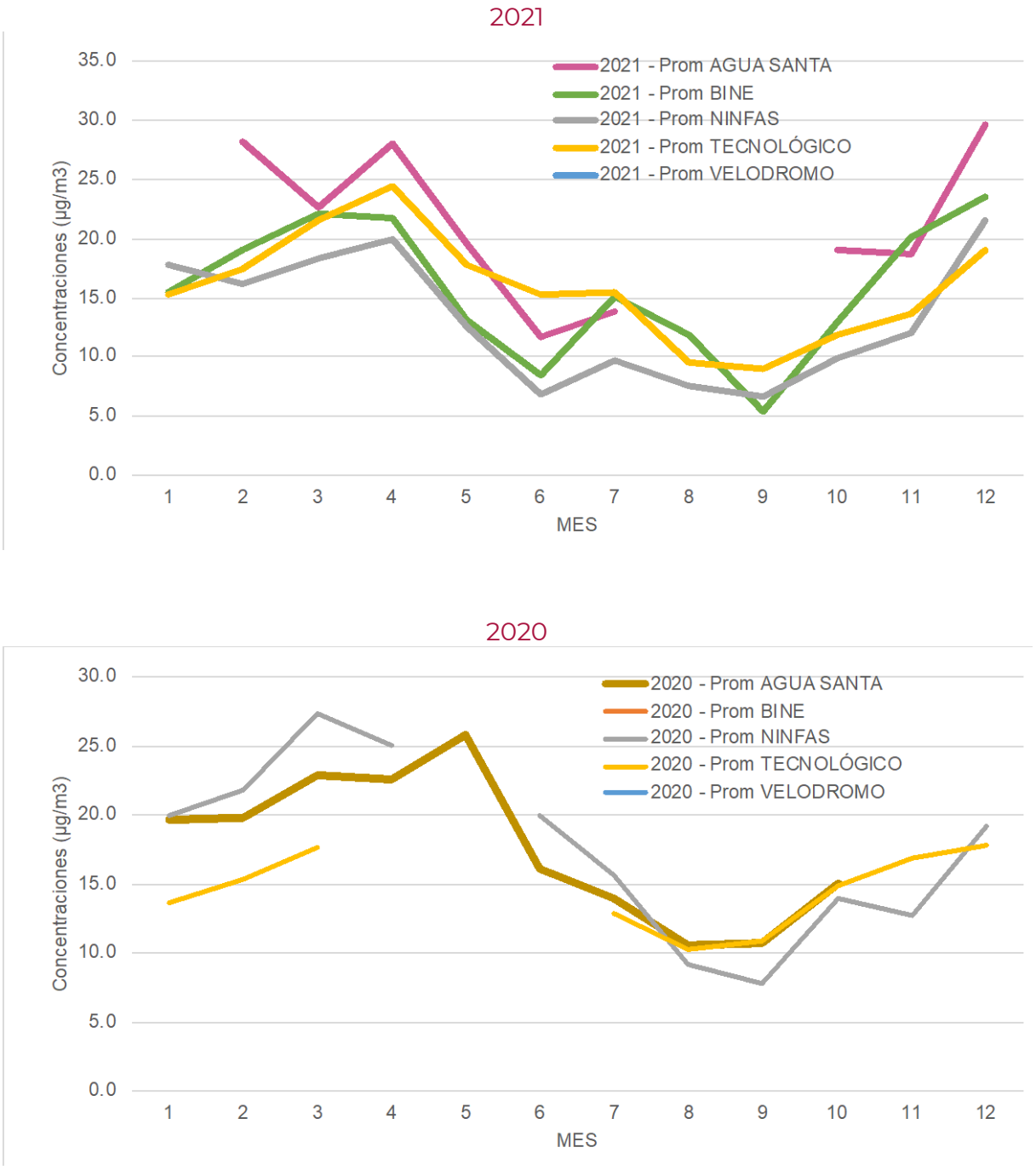


FIGURA 35. COMPORTAMIENTO ANUAL DE $PM_{2.5}$ POR ESTACIÓN DE MONITOREO.

Fuente: Elaboración propia con datos de SMADSOT 2022.

3.7. Diagnóstico climático.

3.8.1. Análisis histórico del clima.

El régimen climático del planeta es un proceso dinámico que ha evolucionado a lo largo de millones de años, influenciado por su propia dinámica interna, así como por diferentes factores externos, llamados forzamientos (Srivastav, 2019). La temperatura promedio de la tierra ha presentado una tendencia al aumento desde la década de los 1950 (IPCC, 2013) y seguirá aumentando hasta al menos mediados de siglo XXI en todos los escenarios de emisiones considerados (IPCC, 2022). La variabilidad climática y el cambio climático tienen impactos en todos los sectores y actividades humanas; la capacidad adaptativa de la sociedad determina si estos impactos derivarán en una alta vulnerabilidad (Yaro y Hesselberg, 2016). El estado de Puebla presenta una diversidad de climas influenciada en gran medida por los rasgos de su relieve (CONABIO, 2011). A continuación, se presenta un análisis de las características y estadísticas climáticas en el Estado, así como los cambios proyectados a futuro de acuerdo con diferentes proyecciones de cambio climático.

Selección de estaciones climatológicas

Se obtuvieron datos de precipitación (prec), temperatura máxima (tmax), temperatura mínima (tmin) y temperatura promedio (tprom) de las estaciones climatológicas del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) localizadas dentro de una zona de amortiguamiento de 20 km alrededor de los límites del estado de Puebla. De las 326 estaciones dentro de esta zona, 144 se localizan en el territorio estatal y 182 en las entidades colindantes (Tabla 19), dentro de 215 municipios en los que se presentan 12 tipos de clima (Tabla 20).

Tabla 19. Número de estaciones climatológicas por región y tipo de clima (*)

Tipo de clima	Angelópolis	Mixteca	Sierra negra	Sierra nororiental	Sierra norte	Valle Atlixco	Valle Serdán	OE
Cálido húmedo	0	0	1	3	5	0	0	13
Cálido subhúmedo	0	13	0	0	0	4	0	25
Seco muy cálido	0	0	6	0	0	0	0	0
Seco semicálido	0	0	2	0	0	0	0	0
Semicálido húmedo	0	0	1	10	3	0	1	18
Semicálido subhúmedo	0	4	0	0	0	2	0	18
Semifrío subhúmedo	2	0	0	0	0	0	1	5
Semiseco muy cálido	0	4	0	0	0	0	0	4
Semiseco semicálido	0	0	3	0	0	0	0	1
Semiseco templado	0	0	5	0	0	0	14	9
Templado húmedo	0	0	1	8	4	0	2	16
Templado subhúmedo	13	3	2	3	10	5	9	73

OE: otras entidades.

(*) De acuerdo con la clasificación climática de Köppen, modificado por E. García, con aportaciones del INEGI.

Fuente: Elaboración propia con datos de SMN.

TABLA 20. TIPOS DE CLIMA REPRESENTADOS POR LAS ESTACIONES.

TIPO DE CLIMA	DESCRIPCIÓN
Cálido húmedo	Clima con temperatura media anual mayor de 22° C y cuyo régimen de lluvias corresponde a todo el año o abundantes lluvias en verano.
Cálido subhúmedo	Clima con temperatura media anual mayor de 22° C y cuyo régimen de lluvias es de verano y presentan sequía en invierno.
Seco muy cálido	Climas secos, cuya característica principal es que la evaporación excede a la precipitación y la temperatura media anual es mayor a 22°C y la del mes más frío mayor a 18°C.
Seco semicálido	Climas secos, cuya característica principal es que la evaporación excede a la precipitación y la temperatura media anual manual oscila entre 18 y 22°C.
Semicálido húmedo	Clima con temperatura media anual entre 18°C y 22°C y cuyo régimen de lluvias corresponde a todo el año o abundantes lluvias en verano.
Semicálido subhúmedo	Clima con temperatura media anual entre 18 y 22°C y cuyo régimen de lluvias es de verano y presentan sequía en invierno.
Semifrío subhúmedo	Clima con temperatura media anual entre 5°C y 12°C y cuyo régimen de lluvias es de verano y presentan sequía en invierno.
Semiseco muy cálido	Clima con temperatura media anual mayor a 22 °C y del mes más frío menor 18 °C y cuyo cociente de precipitación es mayor de 22.9.
Semiseco semicálido	Son climas en los cuales el cociente de precipitación es mayor de 22.9, éste se obtiene considerando el grado de humedad que se obtiene del cociente de la precipitación entre la temperatura (P/T) y cuya temperatura media anual oscila entre 18°C y 22°C.
Semiseco templado	Son climas en los cuales el cociente de precipitación es mayor de 22.9, éste se obtiene considerando el grado de humedad que se obtiene del cociente de la precipitación entre la temperatura (P/T) y cuya temperatura media anual oscila entre 12°C y 18°C.
Templado húmedo	Clima con temperatura media anual entre 12°C y 18°C y cuyo régimen de lluvias corresponde a todo el año o abundantes lluvias en verano.
Templado subhúmedo	Clima con temperatura media anual entre 12°C y 18°C y cuyo régimen de lluvias es de verano y presentan sequía en invierno.

Fuente: Elaboración propia con datos de CONABIO.

Se realizó un diagnóstico de la suficiencia de datos de las 326 estaciones climatológicas. Para cada estación se extrajeron las fechas de inicio y fin de operación y se calcularon: a) el periodo temporal que abarca la serie climática, b) los años con datos, c) los vacíos en las series, i.e. años no registrados y d) el porcentaje de datos faltantes para las variables prec, tmax y tmin. Los vacíos en las series de las 326 estaciones son considerables; el valor promedio calculado es de 4.33 años, alcanzando valores máximos de hasta 35 años. El promedio de datos faltantes para la variable prec de es de 0.4%, con un valor máximo de 7.2%. Para las variables tmax y tmin, los valores son prácticamente iguales (6.8 y 6.7 respectivamente) y considerablemente mayores que los de prec. En este caso, ambas variables alcanzan porcentajes máximos de datos faltantes de 75.5%

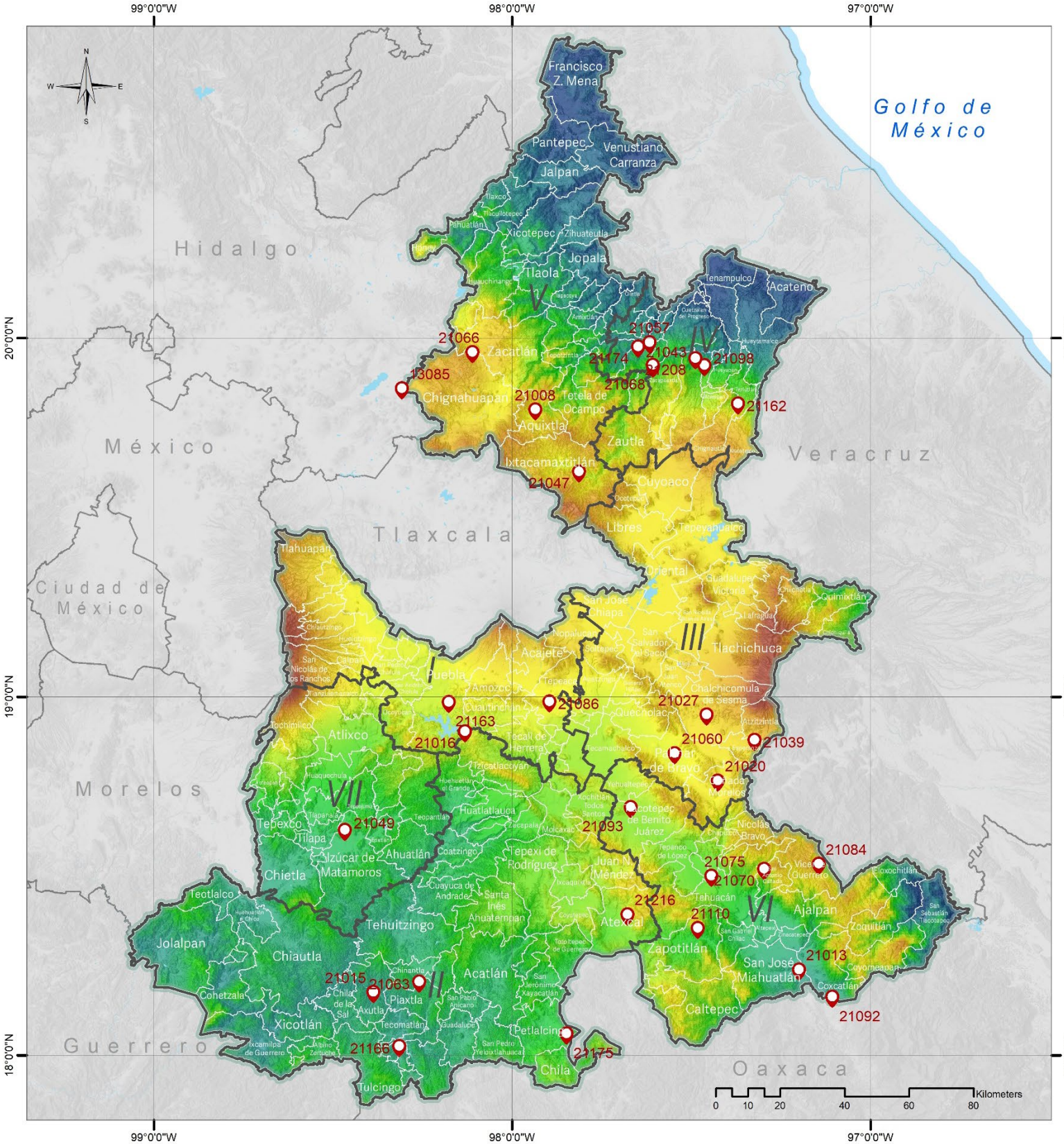
Dados los periodos temporales y porcentaje de datos faltantes de las estaciones seleccionadas, se usó como insumo para el cálculo de la tendencia de las variables climáticas del Estado, el Conjunto de datos SC-Earth, que es una serie climática completa a nivel global de datos puntuales diarios para el periodo 1950-2019, construida a partir de datos observacionales de estaciones climatológicas de los repositorios: a) Global Historical Climatology Network-Daily database (GHCN-D) y b) Global Surface Summary of the Day (GSOD) (Tang et al., 2021).

De las 326 estaciones iniciales, se seleccionaron 31 (Tabla 21, Mapa 158) que cumplieron con los siguientes criterios: a) localizadas en el estado de Puebla, b) con datos diarios dentro del periodo temporal comprendido entre 1951 y 2019, c) sin años vacíos dentro del periodo de operación, y d) con porcentaje de datos faltantes ≤ 1.7% en cada variable (valor del tercer cuartil de la distribución de datos faltantes de las estaciones durante el periodo 1950-2019).

TABLA 21. ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS SELECCIONADAS.

ID	NOMBRE	REGIÓN	ELEVACIÓN	LON	LAT
21086	Tepeaca	Angelópolis	2241	-97.8969	18.9811
21163	El Batan	Angelópolis	2099	-98.1778	18.9797
21015	Axutla	Mixteca	911	-98.3881	18.1706
21016	Balcón diablo	Mixteca	2104	-98.1322	18.8975
21063	Piaxtla	Mixteca	1112	-98.2603	18.1997
21166	Anonas	Mixteca	965	-98.3161	18.0200
21175	Santa Ana Tepejillo	Mixteca	1443	-97.8486	18.0547
21216	Tepoxtitlán	Mixteca	1943	-97.6786	18.3872
21013	Axusco	Sierra Negra	936	-97.2003	18.2336
21070	San Antonio Cañada	Sierra Negra	1837	-97.2972	18.5139
21075	San Lorenzo	Sierra Negra	1692	-97.4447	18.4947
21084	Telpatlán	Sierra Negra	2199	-97.1447	18.5281
21092	Tilapa	Sierra Negra	881	-97.1072	18.1572
21093	Tlacotepec de Benito Juárez	Sierra Negra	1932	-97.6700	18.6867
21110	Zapotitlán Salinas	Sierra Negra	1869	-97.4828	18.3494
21043	Huahuaxtla	Sierra Nororiental	1494	-97.6072	19.9156
21057	Mapilco	Sierra Nororiental	1097	-97.6167	19.9833
21068	Rancho Apulco	Sierra Nororiental	1359	-97.6081	19.9197
21098	Tlatlauquitepec	Sierra Nororiental	1649	-97.4639	19.9194
21162	Campo Experimental Teziutlán	Sierra Nororiental	1962	-97.3706	19.8122
21174	Tepecapan	Sierra Nororiental	1047	-97.6492	19.9708
21208	Gómez Poniente	Sierra Nororiental	993	-97.4892	19.9381
13085	Presa Tezoyo	Sierra Norte	2602	-98.3083	19.8542
21008	Aquixtla	Sierra Norte	2179	-97.9356	19.7956
21047	Ixtacamaxtitlan	Sierra Norte	2097	-97.8142	19.6228
21066	Pueblo Nuevo	Sierra Norte	2686	-98.1111	19.9556
21049	Izúcar de Matamoros	Valle Atlixco	1321	-98.4672	18.6231
21020	Morelos Cañada	Valle Serdán	2360	-97.4269	18.7603
21027	Ciudad Serdán	Valle Serdán	2562	-97.4578	18.9444
21039	Guadalupe Potreros	Valle Serdán	2755	-97.3242	18.8742
21060	Palmar de Bravo	Valle Serdán	2191	-97.5472	18.8369

Fuente: Elaboración propia con datos del SMN y de Global Historical Climatology Network-Daily database (GHCN-D) y del Global Surface Summary of the Day (GSOD).



Simbología

- Límite municipal
- Cuerpos de agua
- Límite del Estado de Puebla
- Límite estatal

Altitud
msnm
Max : 5417
Min : 55

- Estaciones Seleccionadas

Regiones Puebla
- I, Angelópolis
- II, Mixteca
- III, Serdán y Valles Centrales
- IV, Sierra Nororiental
- V, Sierra Norte
- VI, Tehuacán y Sierra Negra
- VII, Valle Atlixco y Matamoros



M158. Estaciones seleccionadas

Fuente: Elaboración Propia
Mapa Base: Marco Geoestadistico diciembre 2021, Estado de Puebla, INEGI.

Coordinate System: MEXICO ITRF 2008 LCC
Projection: Lambert Conformal Conic 2SP
Datum: ITRF 2008

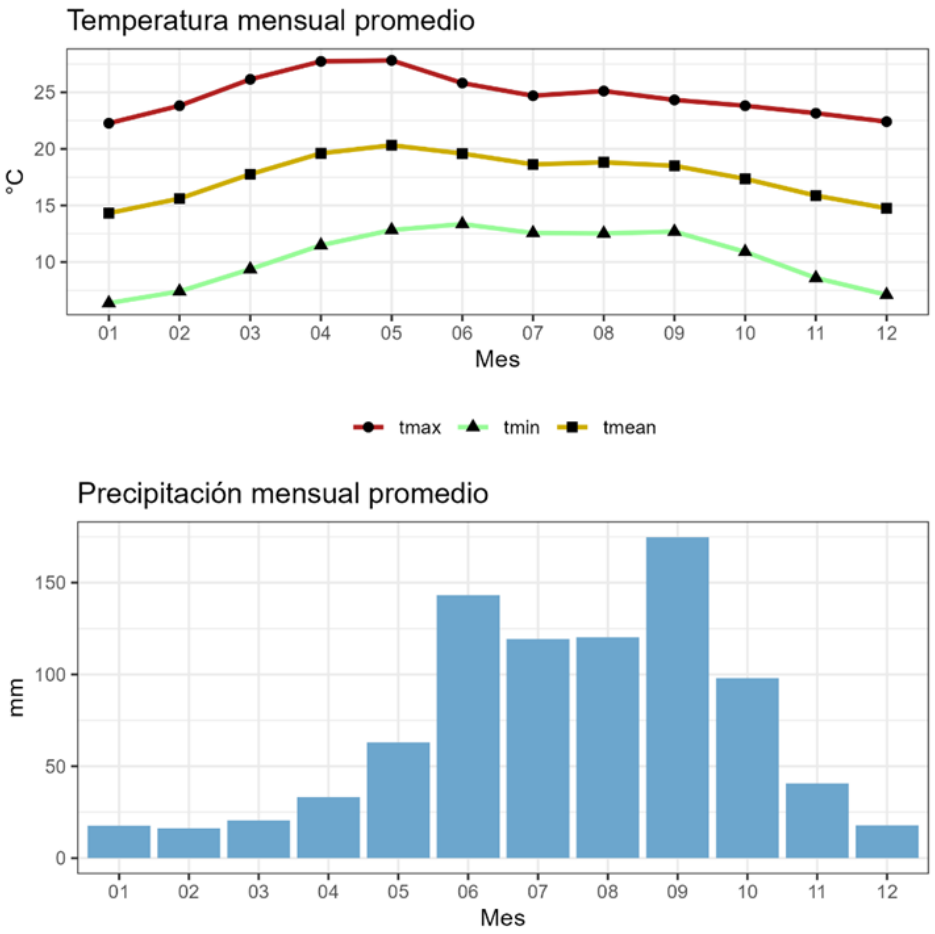


FIGURA 36. VALORES MENSUALES DE LAS VARIABLES CLIMÁTICAS PARA EL ESTADO DURANTE EL PERIODO 1950-2019.

Fuente: Elaboración propia con datos del SMN y de Global Historical Climatology Network-Daily database (GHCN-D) y del Global Surface Summary of the Day (GSOD).

Con los datos del periodo 1950-2019, se tiene que abril y mayo son los meses más cálidos mientras que en diciembre y enero se presentan las menores temperaturas. La temperatura máxima promedio es de 24.8°C, la mínima de 10.4°C y la media registra los 17.6°C. La precipitación promedio anual es de 864.4 mm (Figura 37). Durante los meses de julio y agosto, se presenta una disminución en la precipitación debido al fenómeno de la canícula, el cual se ocurre en algunas regiones del país durante el verano y se caracteriza por una disminución o ausencia de lluvia acompañada por altas temperaturas y cielos despejados.

De acuerdo con los promedios anuales, las temperaturas máximas, mínimas y promedio presentan una tendencia estadísticamente significativa ($p<0.05$) durante el periodo 1950-2019, presentando un aumento de 0.5°C, 0.7°C y 0.6°C respetivamente, no así la precipitación, que, si bien también presenta tendencia al aumento de 102 mm, ésta no es estadísticamente significativa (Figura 38).

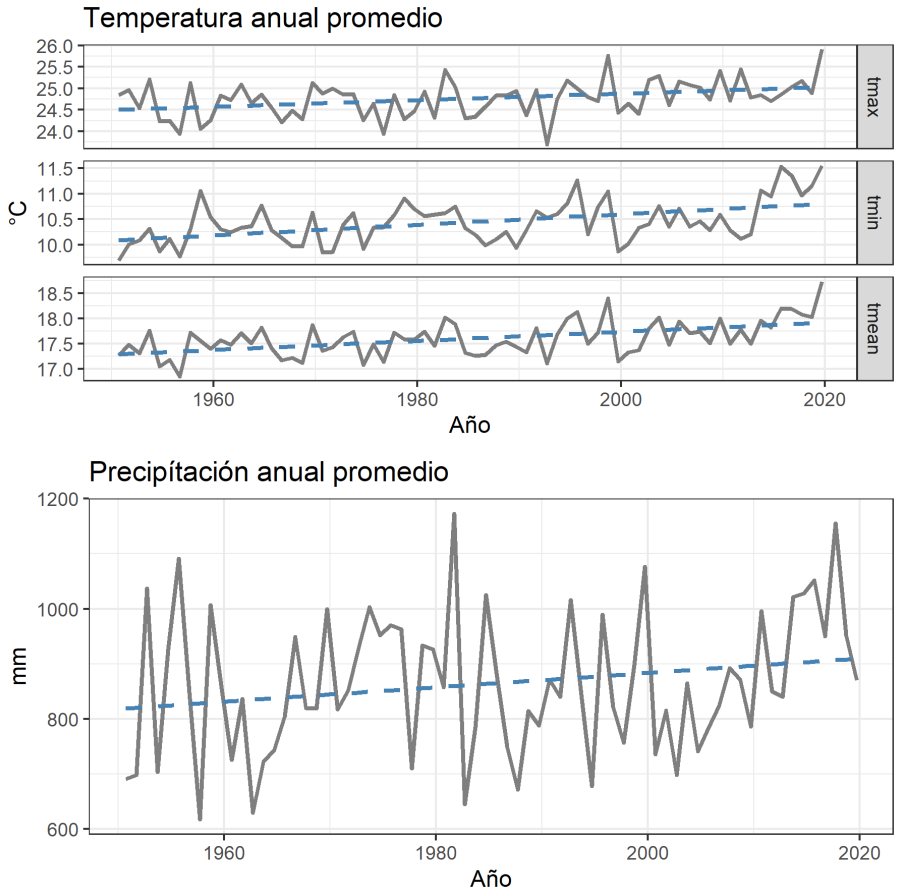


FIGURA 37. VALORES ANUALES DE LAS VARIABLES CLIMÁTICAS PARA EL ESTADO DURANTE EL PERIODO 1950-2019.

Fuente: Elaboración propia con datos del SMN y de Global Historical Climatology Network-Daily database (GHCN-D) y del Global Surface Summary of the Day (GSOD).

Cálculo de índices y análisis de tendencias

Para identificar cambios en los eventos climáticos extremos se han desarrollado una serie de índices, cuyas tendencias se pueden asociar con el calentamiento global (Alexander et al., 2006). El Grupo de Expertos en Detección de Cambio Climático e Índices (ETCCDI), conformado de forma conjunta por la Organización Meteorológica Mundial (WMO), el proyecto de variabilidad climática (CLIVAR) y la Comisión Conjunta de Oceanografía y Meteorología Marítima (JCOMM), desarrolló 27 índices de cambio climático que permiten describir la frecuencia, duración e intensidad de eventos extremos (Alexander et al., 2006).

Dada la suficiencia y calidad de los datos disponibles, se utilizó conjunto de datos Daymet V4 para identificar las tendencias en los índices para el Estado a nivel estatal y regional. Daymet V4 es un conjunto de datos climáticos diarios cuadriculados para el periodo 1980-2020 con una resolución espacial de 1km^2. Construida mediante una combinación de interpolación, extrapolación y ponderaciones a partir de los datos observacionales de las estaciones

climatológicas de la Global Historical Climatology Network-Daily database (GHCN-D) V3.26), Daymet refleja las relaciones espaciales y temporales entre una cuadrícula y las estaciones meteorológicas circundantes (Thornton et al., 2021). La distribución de los valores mensuales de las cuadrículas se presenta en las Figuras 38 a 43 y su distribución espacial anual (M159 a M161).

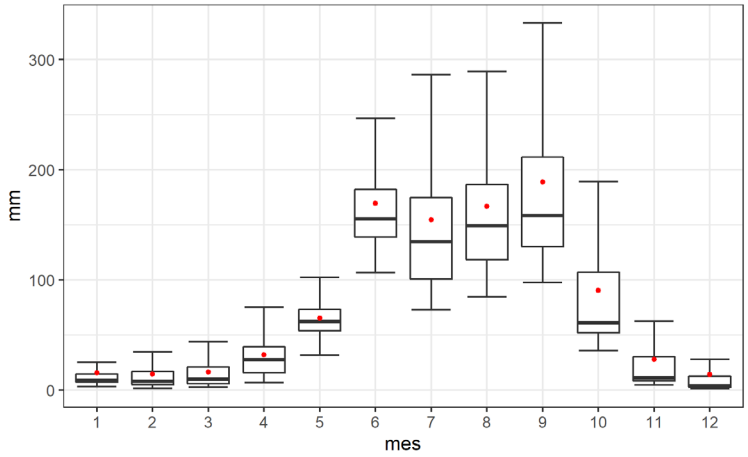


FIGURA 38. DISTRIBUCIÓN DE LOS VALORES MENSUALES DE PRECIPITACIÓN PARA EL ESTADO

Fuente: Elaboración propia con datos de Daymet; los puntos rojos indican el promedio.

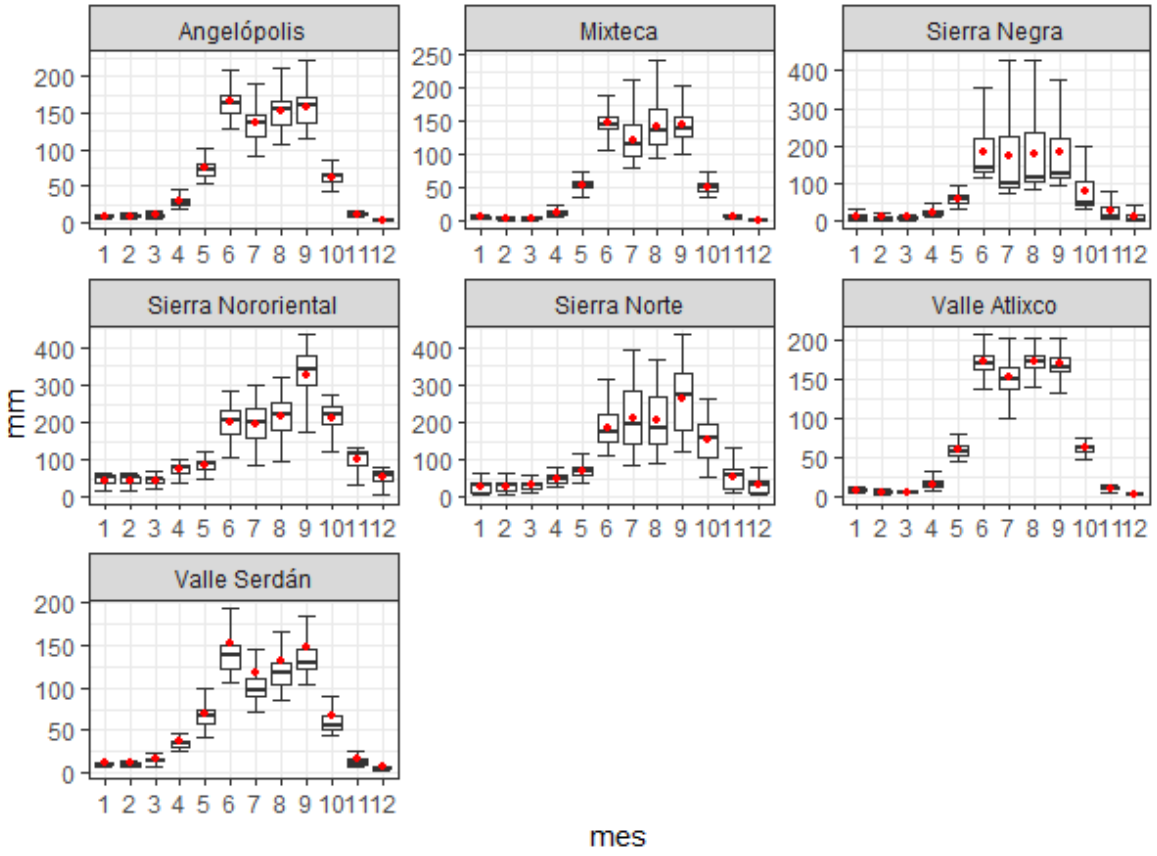


FIGURA 39. DISTRIBUCIÓN PRECIPITACIÓN MENSUAL PARA LAS REGIONES DEL ESTADO

Fuente: Elaboración propia con datos de Daymet; los puntos rojos indican el promedio.

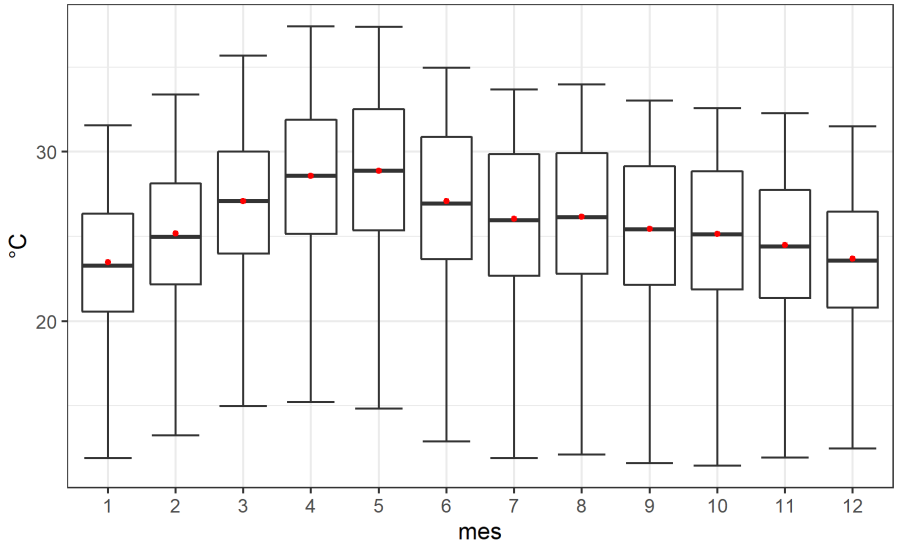


FIGURA 40. DISTRIBUCIÓN DE TEMPERATURA MENSUAL MÁXIMA PARA EL ESTADO

Fuente: Elaboración propia con datos de Daymet; los puntos rojos indican el promedio.

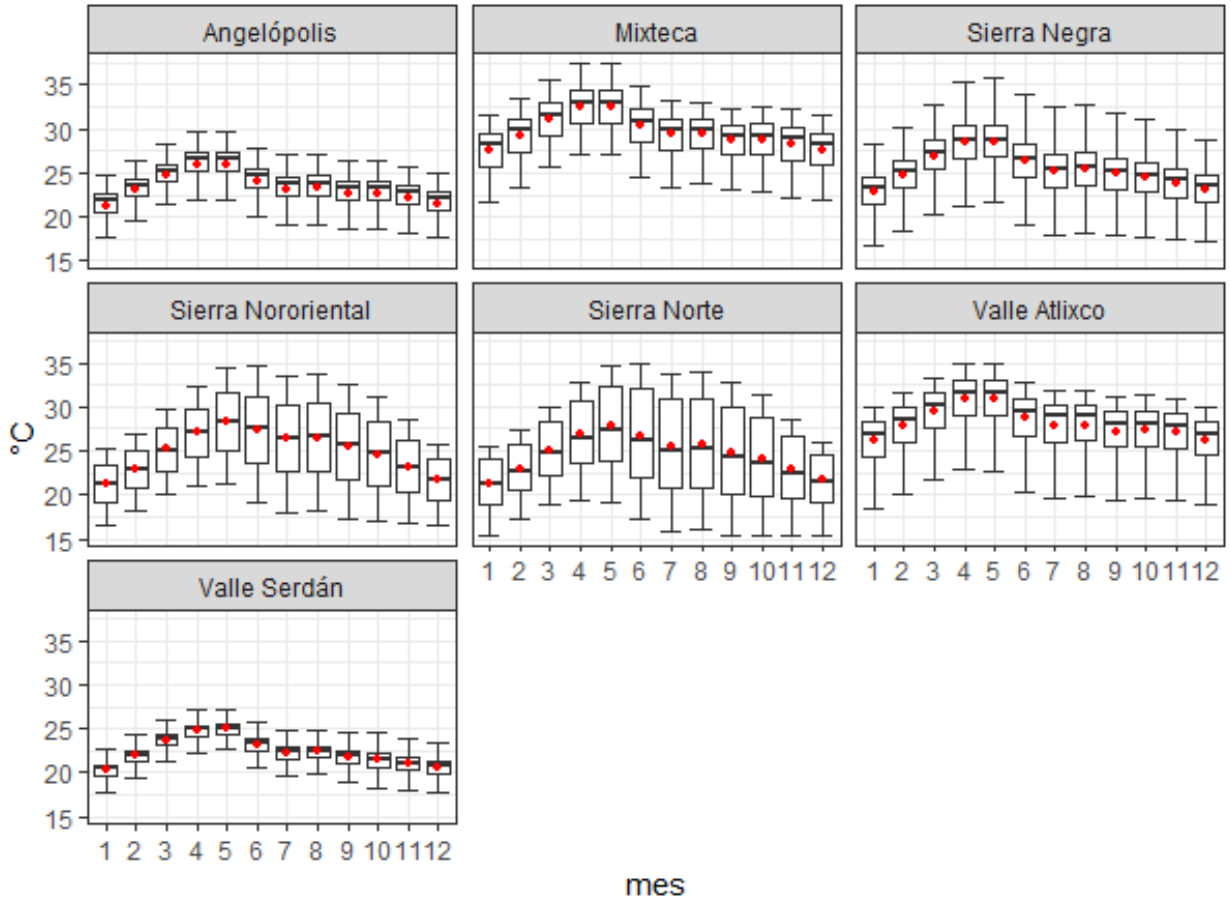


FIGURA 41. DISTRIBUCIÓN TEMPERATURA MENSUAL MÁXIMA PARA LAS REGIONES DEL ESTADO

Fuente: Elaboración propia con datos de Daymet; los puntos rojos indican el promedio.

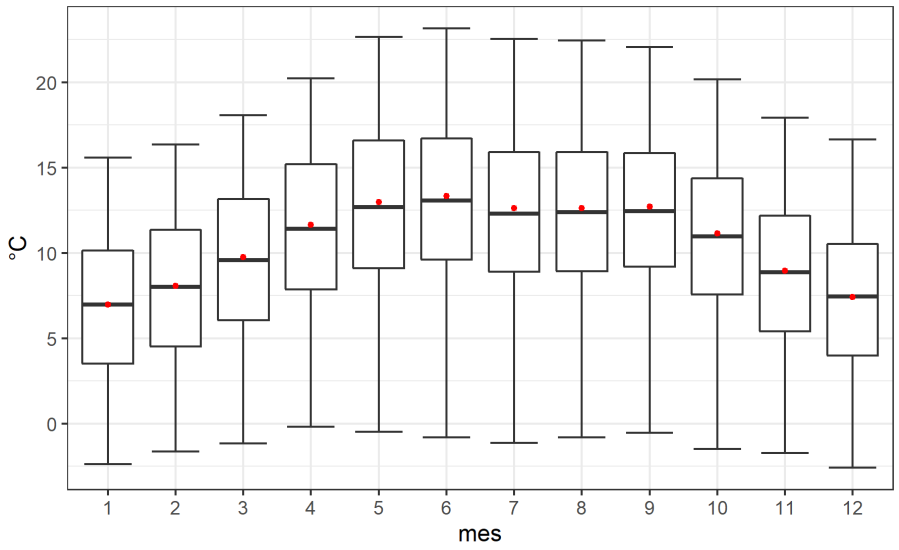


FIGURA 42. DISTRIBUCIÓN TEMPERATURA MENSUAL MÍNIMA PARA EL ESTADO

Fuente: Elaboración propia con datos de Daymet; los puntos rojos indican el promedio.

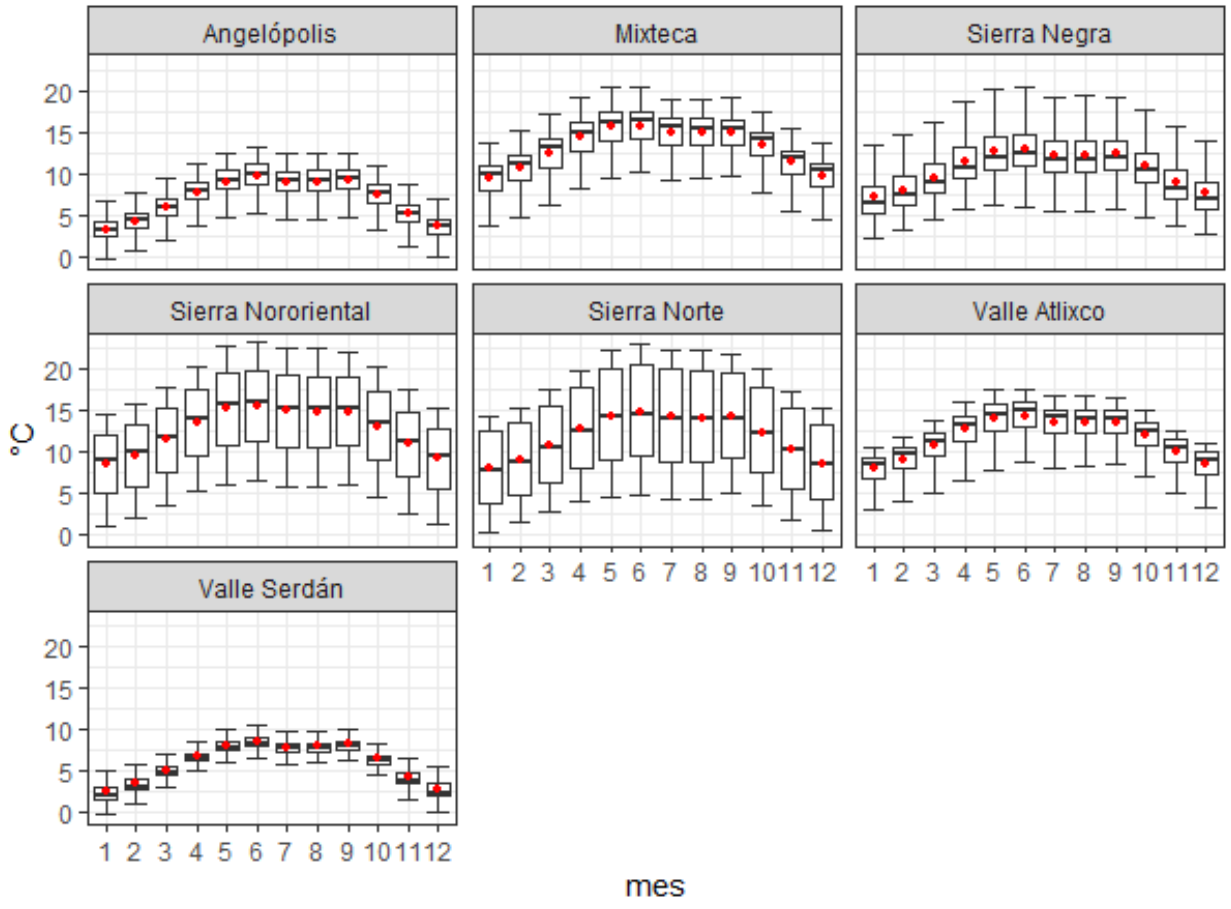


FIGURA 43. DISTRIBUCIÓN TEMPERATURA MENSUAL MÍNIMA PARA LAS REGIONES DEL ESTADO

Fuente: Elaboración propia con datos de Daymet; los puntos rojos indican el promedio.

PUEBLA Un gobierno presente

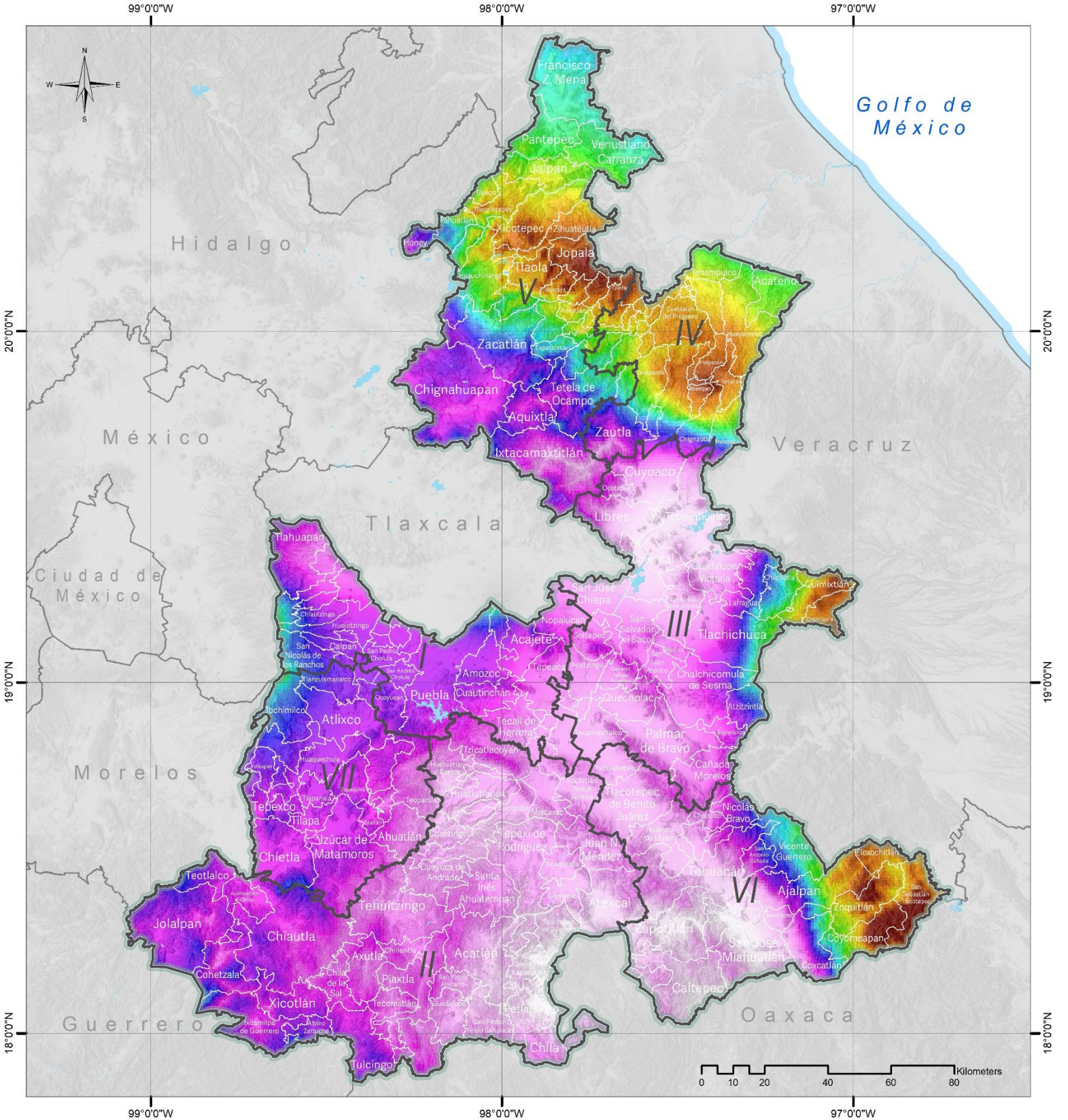
Secretaría de Medio Ambiente, Desarrollo Sustentable y Ordenamiento Territorial

MEDIO AMBIENTE

INECC Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático

COMISIÓN AMBIENTAL DE LA MEGALÓPOLIS

PROGRAMA DE GESTIÓN DE CALIDAD DEL AIRE Y DE ACCIÓN ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO 2021-2030



Simbología

- Límite municipal
- Cuerpos de agua
- Límite del Estado de Puebla
- Límite estatal

Precipitación

mm

- Max : 2,848.97
- Min : 494.445

Regiones Puebla

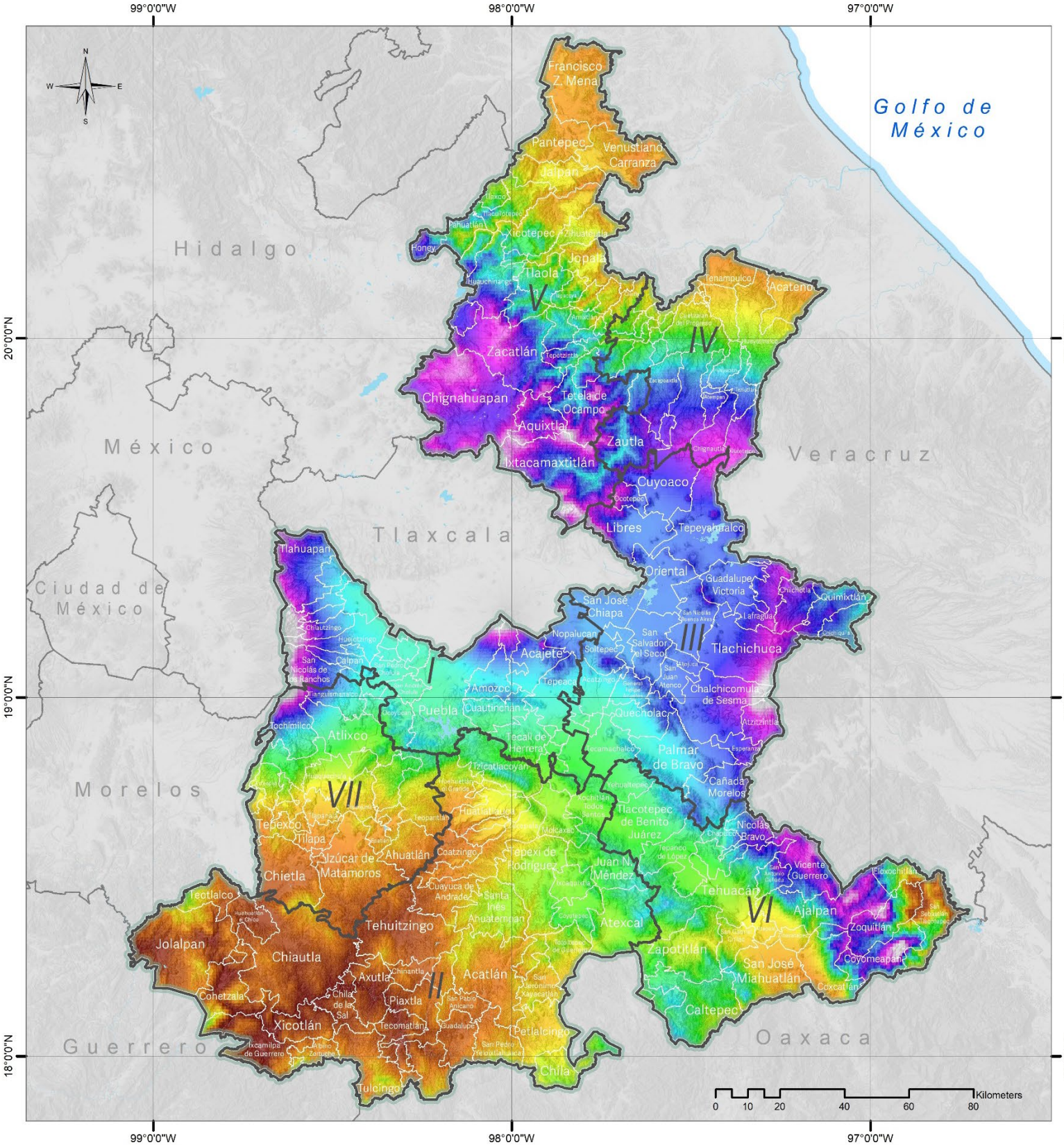
- I, Angelópolis
- II, Mixteca
- III, Serdán y Valles Centrales
- IV, Sierra Nororiental
- V, Sierra Norte
- VI, Tehuacán y Sierra Negra
- VII, Valle Atlixco y Matamoros



M159. Precipitación

Fuente: Elaboración Propia
Mapa Base: Marco Geoestadistico diciembre 2021, Estado de Puebla, INEGI.

Coordinate System: MEXICO ITRF 2008 LCC
Projection: Lambert Conformal Conic 2SP
Datum: ITRF 2008



Simbología

- Límite municipal
- Cuerpos de agua
- Límite del Estado de Puebla
- Límite estatal

Temperatura Máxima

°C

Máx : 33.7888

Mín : 10.6732

Regiones Puebla

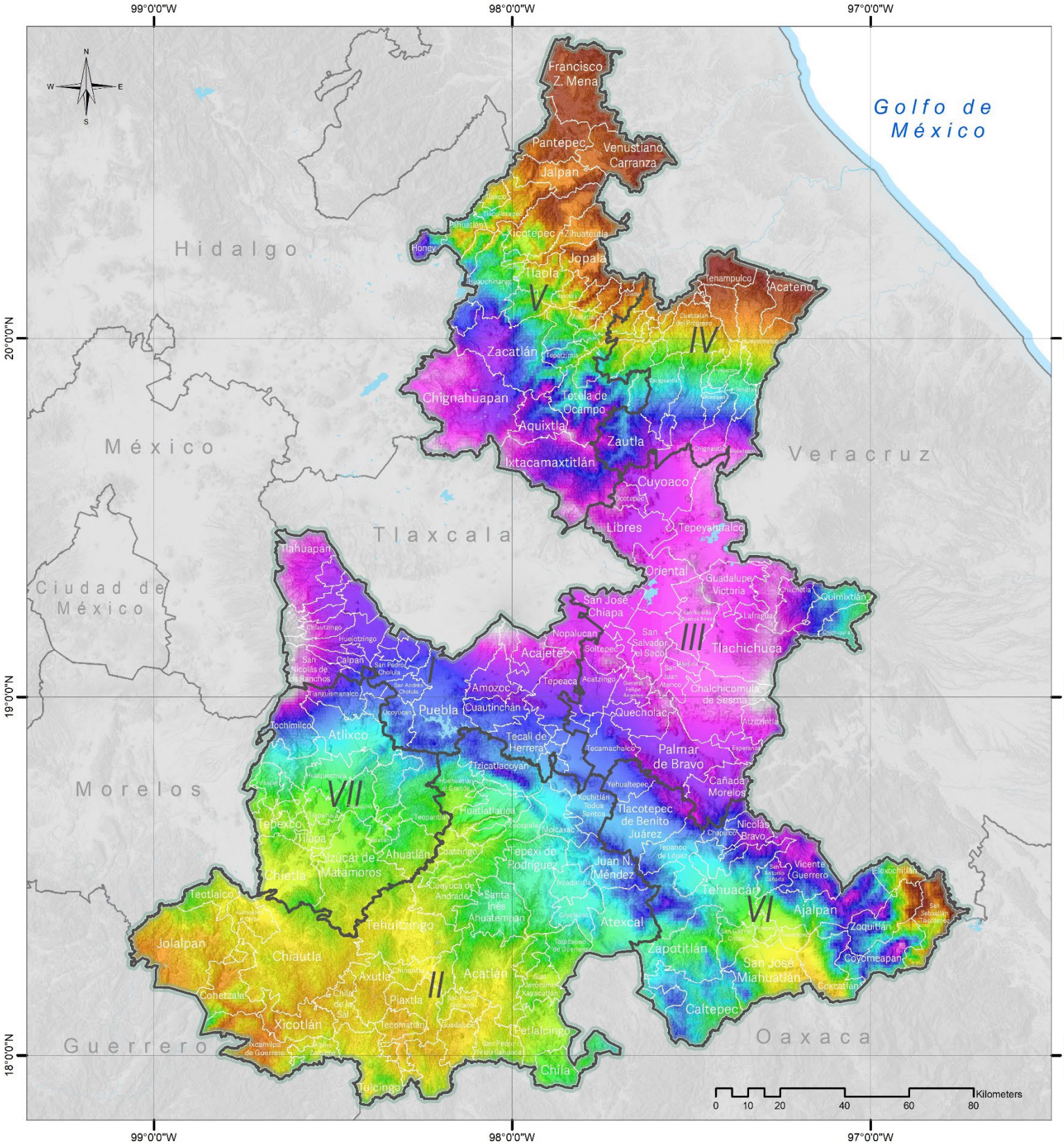
- I, Angelópolis
- II, Mixteca
- III, Serdán y Valles Centrales
- IV, Sierra Nororiental
- V, Sierra Norte
- VI, Tehuacán y Sierra Negra
- VII, Valle Atlixco y Matamoros



M160. Temperatura Máxima

Fuente: Elaboración Propia
Mapa Base: Marco Geoestadistico diciembre 2021, Estado de Puebla, INEGI.

Coordinate System: MEXICO ITRF 2008 LCC
Projection: Lambert Conformal Conic 2SP
Datum: ITRF 2008



Simbología

- Límite municipal
- Cuerpos de agua
- Límite del Estado de Puebla
- Límite estatal

Temperatura Mínima

°C

Max : 19.4963

Mín : -1.2413

Regiones Puebla

- I, Angelópolis
- II, Mixteca
- III, Serdán y Valles Centrales
- IV, Sierra Nororiental
- V, Sierra Norte
- VI, Tehuacán y Sierra Negra
- VII, Valle Atlixco y Matamoros



M161. Temperatura Mínima

Fuente: Elaboración Propia
Mapa Base: Marco Geoestadistico diciembre 2021, Estado de Puebla, INEGI.

Coordinate System: MEXICO ITRF 2008 LCC
Projection: Lambert Conformal Conic 2SP
Datum: ITRF 2008

Con los valores diarios del conjunto de datos Daymet V4, se calcularon índices de precipitación y temperatura en cuadrícula (Tabla 22) a nivel regional mediante los paquetes de R climdex.pcic (Bronaugh, 2020) y climdex.pcic.ncdf (Bronaugh, 2014), usando como referencia el periodo 1980-2009.

TABLA 22. ÍNDICES DE CAMBIO CLIMÁTICO CALCULADOS.

VARIABLE	SIGLAS	ÍNDICE
Precipitación	PRCPTOT	Precipitación total anual en días húmedos.
	R95P	Contribución a la precipitación total de días extremadamente húmedos.
	CDD	Duración máxima del período seco.
	SDII	Índice de intensidad de precipitación simple.
Temperatura	TXX	Valor máximo de la temperatura máxima diaria.
	TNN	Valor mínimo de la temperatura mínima diaria.
	SU	Número de días de verano.
	FD	Número de días de heladas.
	DTR	Rango de temperatura diario.

Fuente: Elaboración propias con información de Daymet.

Para identificar las tendencias en los índices de cambio climático se utilizó la prueba no paramétrica de Mann-Kendall (Mann, 1945; Kendall, 1975) y el estimador de pendiente de Theil-Sen (Theil, 1950; Sen, 1968). La prueba de Mann-Kendall es un método estadístico que se utiliza para identificar tendencias en una serie de datos a lo largo del tiempo. Un valor positivo en el estadístico de la prueba indica una tendencia al aumento mientras que un valor negativo significa que la tendencia es hacia la disminución. Por su parte, la pendiente de Theil-Sen es una medida de la magnitud de la tendencia, que Indica cuánto cambian los datos, en promedio, por unidad de tiempo.

Dado que los índices en cuadrícula, así como sus tendencias, presentan tantos valores como celdas de 1 km^2 intersecta cada región, los resultados se presentan mediante figuras en las que se indica: a) el promedio de los índices para el periodo temporal 1980-2020, b) el valor del estadístico de Mann-Kendall, que indica el sentido de la tendencia, c) la pendiente y d) las zonas en las que las tendencias identificadas son estadísticamente significativas.

En las Figuras 46 a 56 se presentan los resultados de las tendencias de los índices de cambio climático identificadas para el Estado. Las figuras ayudan al lector interpretar los resultados en el territorio estatal. El a) **Promedio**: es la media del índice respectivo para el periodo 1980-2020, b) el **valor Z**: corresponde al valor de la prueba de Mann-Kendall, y representa la dirección de la tendencia (**valores positivos** muestran que el índice respectivo ha aumentado durante el periodo 1980-2020; y, los **valores negativos** la disminución; mientras mayor es el valor absoluto, mayor es la tendencia). c) **Pendiente**: es la pendiente de Sen, la cual indica cuánto cambia el valor del índice respectivo en promedio. d) **p.valor<0.05**: simboliza las zonas con un valor p menor a 0.05, y los lugares donde la tendencia del índice de cambio climático

es estadísticamente significativa, o sea, poco probable que la tendencia observada se deba al azar. Los valores de los elementos se declaran en la rampa de color respectiva, excepto para el p.valor que se indica en color verde. Las gráficas se deben interpretar de la siguiente manera.

Elemento	**Descripción**	**Interpretación**
Valor Promedio del Índice.	Es el promedio del índice respectivo calculado a lo largo del periodo 1980-2020.	Representa la condición climática media en un área durante el período estudiado.
Valor Z de la Prueba de Mann-Kendall.	Una medida estadística que se utiliza para detectar tendencias en series temporales de datos.	Un valor Z alto (positivo o negativo) indica una tendencia fuerte en los datos. Un valor Z positivo sugiere una tendencia ascendente (por ejemplo, aumento de la precipitación total), mientras que un valor negativo indica una tendencia descendente.
Pendiente de Sen.	Estimación de la tasa de cambio del índice climático, calculada a través del método de Theil-Sen. El valor indica el aumento o disminución por año.	Muestra la magnitud de cambio en el índice climático a lo largo del tiempo. Por ejemplo, una pendiente positiva en el valor máximo de la temperatura máxima diaria sugiere un calentamiento a lo largo del período estudiado.
Zonas con **p.valor < 0.05**.	Áreas donde el resultado de la prueba de Mann-Kendall tiene un p.valor menor a 0.05, lo que sugiere que la tendencia detectada es estadísticamente significativa.	Áreas con cambios climáticos significativos. Un p-valor bajo indica alta confianza en que la tendencia observada no es resultado de variaciones aleatorias, sino de cambios reales en el clima.

ÍNDICES DE PRECIPITACIÓN

a. Precipitación total anual en días húmedos (PRCPTOT)

Este índice brinda información en general sobre la cantidad de precipitación en un área, un mayor valor del índice sugiere condiciones más húmedas. Su incremento puede estar asociado con un mayor crecimiento de la vegetación, menor riesgo de incendios forestales, mayor productividad de cultivos, y mayor recarga de los acuíferos y disponibilidad de agua, pero también mayor probabilidad de inundaciones y contaminación de agua subterránea. Su disminución, por el contrario, pude tener efectos en sentido inverso. En general, ~41% de la superficie del estado presenta un aumento en los valores de PRCPTOT durante los 41 años del periodo, mientras que aproximadamente el 59% presenta disminución; sin embargo, únicamente en el 30% de la superficie identificada con disminución la tendencia es estadísticamente significativa. La Sierra Nororiental es la región que ha experimentado una tendencia a la disminución estadísticamente significativa en la mayor parte de su territorio (~91%), mientras que en aproximadamente el 86% del territorio de la región Valle Serdán se identificó tendencia al aumento, aunque no estadísticamente significativa.

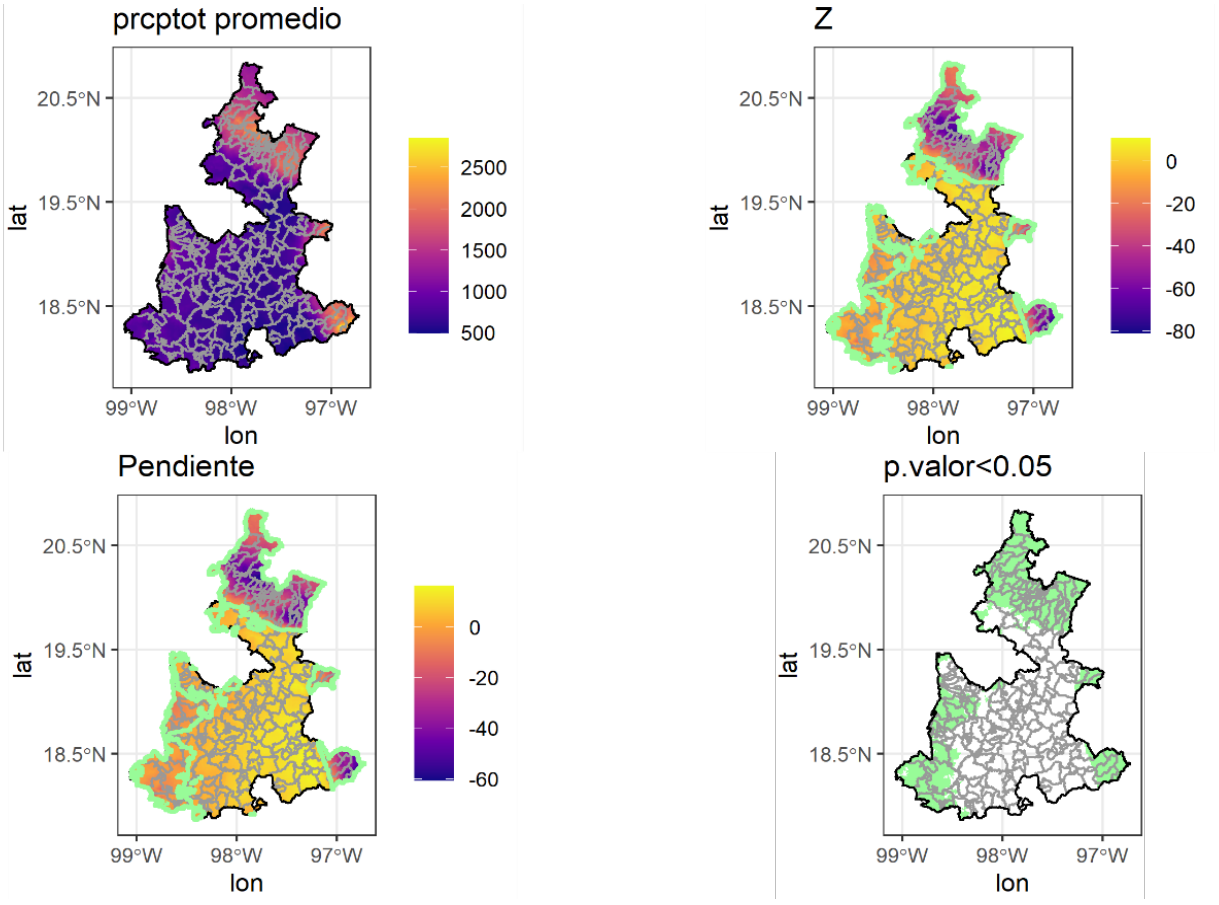


FIGURA 44. PRECIPITACIÓN TOTAL ANUAL EN DÍAS HÚMEDOS (PRCPTOT) PARA EL ESTADO

Fuente: Elaboración propias con información de Daymet.

b. Contribución a la precipitación total de días extremadamente húmedos (R95P)

Este índice representa el porcentaje de la precipitación total anual que proviene de días con precipitación muy intensa (por encima del percentil 95). Su aumento es indicativo de más eventos de precipitación extremos, que pueden aumentar el riesgo de inundaciones, deslaves, pérdida de cultivos e impactos negativos en la infraestructura y biodiversidad, así como contaminación de agua subterránea. Aproximadamente, el 73% de la superficie estatal presenta evidencia de la disminución de este índice, de la cual, en el 46% la tendencia es estadísticamente significativa. El 24% de la superficie del estado presenta valores de tendencia positivos, aunque no es estadísticamente significativa. La Sierra Nororiental es la región que ha experimentado una tendencia a la disminución estadísticamente significativa en la mayor parte de su territorio (~92%), y Valle Serdán, por el contrario, presenta valores positivos en el 84% de su superficie.

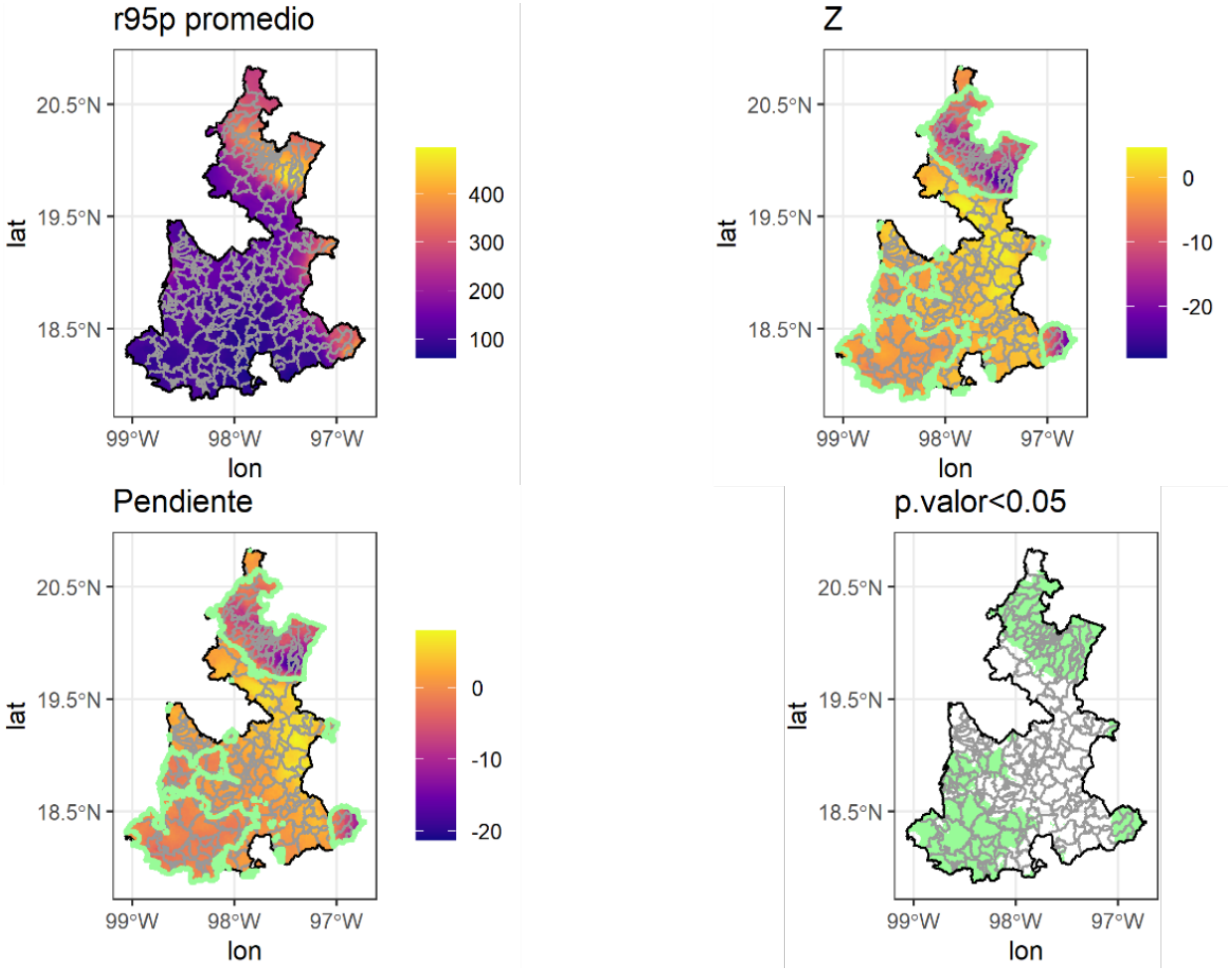


FIGURA 45. CONTRIBUCIÓN A LA PRECIPITACIÓN TOTAL DE DÍAS EXTREMADAMENTE HÚMEDOS (R95P) PARA EL ESTADO

Fuente: Elaboración propias con información de Daymet.

c. Duración máxima del período seco (CDD)

Definido como el número máximo de días consecutivos con precipitación menor a 1 mm, su aumento puede tener efectos negativos en el sector agrícola, aumento del riesgo de incendios forestales e impactos en la diversidad biológica, así como disminución de la disponibilidad de agua y recarga de los acuíferos. El 23% de la superficie del estado presenta un aumento, no estadísticamente significativo, en los valores del CDD, mientras que en el 76% (42% con tendencia estadísticamente significativa) los valores de este índice presentan evidencia de una tendencia a la disminución. La región Mixteca ha experimentado una tendencia a la disminución estadísticamente significativa en la mayor parte de su territorio (~87%), mientras que en la Sierra Nororiental los valores de CDD presentan un aumento en el 87% de su superficie (no estadísticamente significativo).

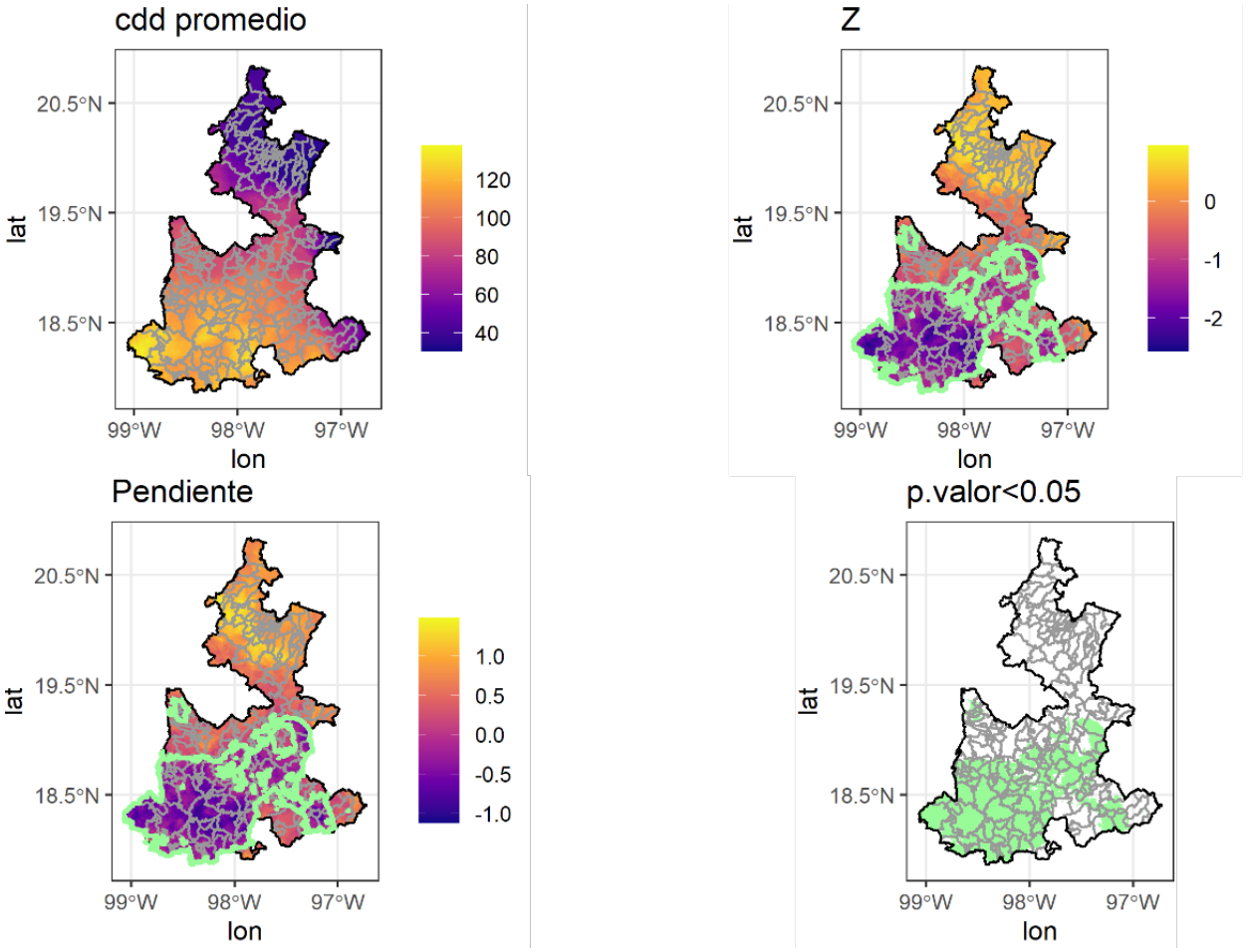


FIGURA 46. DURACIÓN MÁXIMA DEL PERÍODO SECO (CDD) PARA EL ESTADO

Fuente: Elaboración propias con información de Daymet.

d. Índice de intensidad de precipitación simple (SDII)

El SDII se define como la cantidad de precipitación promedio en días húmedos (días con precipitación superior a 1 mm). Un aumento en el SDII indica una mayor precipitación en los días húmedos; los efectos asociados a la tendencia, ya sea positiva o negativa, dependen de la magnitud de los valores del índice. El 76% del estado presenta evidencia de una tendencia a la disminución del SDII (52% estadísticamente significativa), mientras que en el 27% los valores aumentan. Aproximadamente el 90% de la superficie del Valle de Atlixco presenta una tendencia a la disminución; Valle Serdán, por el contrario, presenta valores que sugieren una tendencia al aumento, aunque no estadísticamente significativa, en aproximadamente el 89% de su superficie.

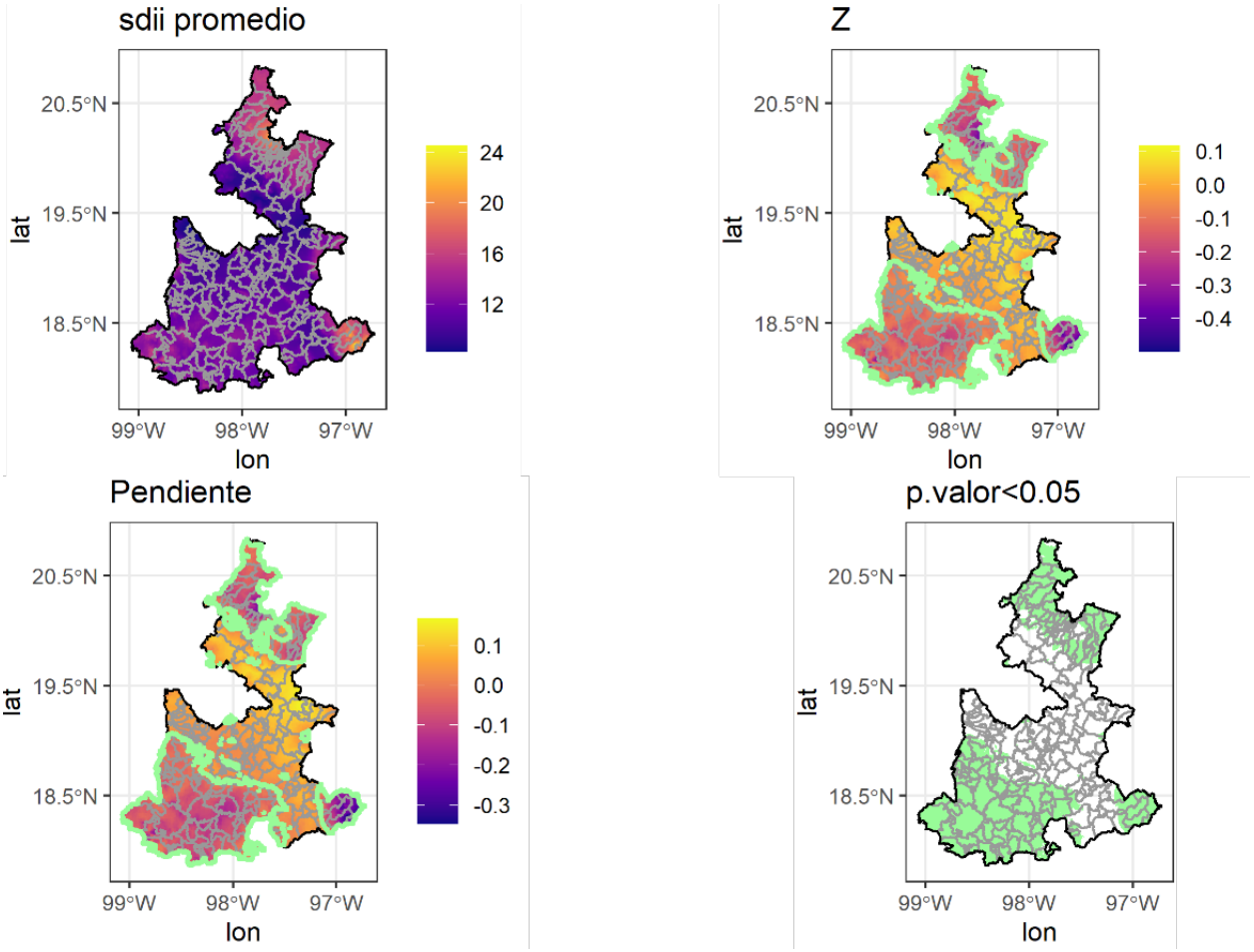


FIGURA 47. ÍNDICE DE INTENSIDAD DE PRECIPITACIÓN SIMPLE (SDII) PARA EL ESTADO

Fuente: Elaboración propias con información de Daymet.

ÍNDICES DE TEMPERATURA

a. Temperatura máxima media anual (TMAX)

Los cambios en este índice pueden reflejar diferentes impactos en distintos sectores. Un aumento en TMAX puede estar asociado a olas de calor mas intensas y frecuentes, las cuales pueden tener efectos negativos en la salud humana y distribución de las especies, así como aumentar el riesgo de incendios forestales y eventos de sequía exacerbados, o cambios en la fenología de las especies.

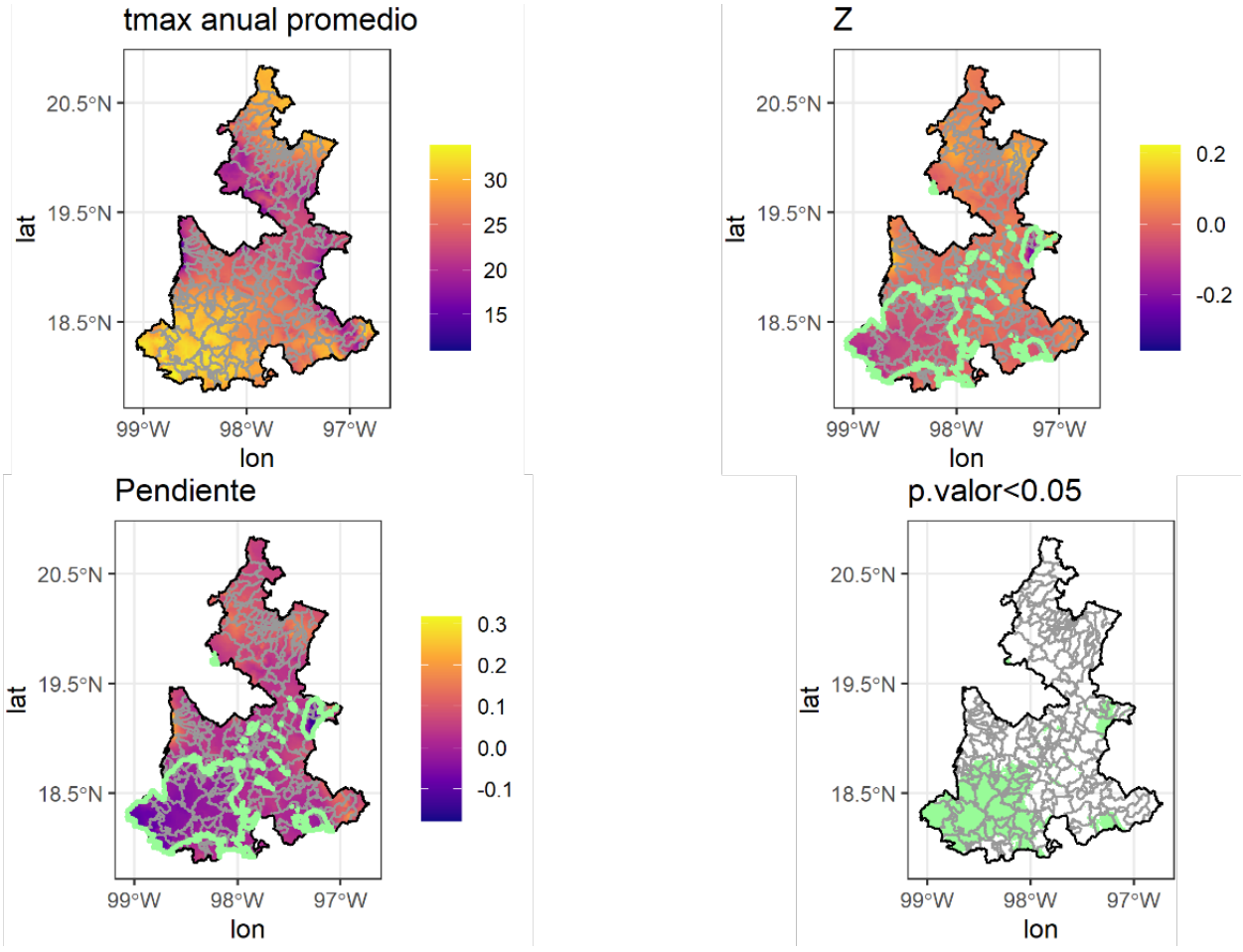


FIGURA 48. TEMPERATURA MÁXIMA MEDIA ANUAL (TMAX) PARA EL ESTADO

Fuente: Elaboración propias con información de Daymet.

b. Temperatura mínima media anual (TMIN)

Al igual que para TMAX, cambios en el valor de TMIN pueden reflejar diferentes impactos de acuerdo con el sentido y la magnitud de estos; como cambios fenológicos en las especies o alteraciones en los ciclos y productividad de los cultivos, hasta el aumento de la concentración de gases de efecto invernadero mediante mecanismos de retroalimentación positiva.

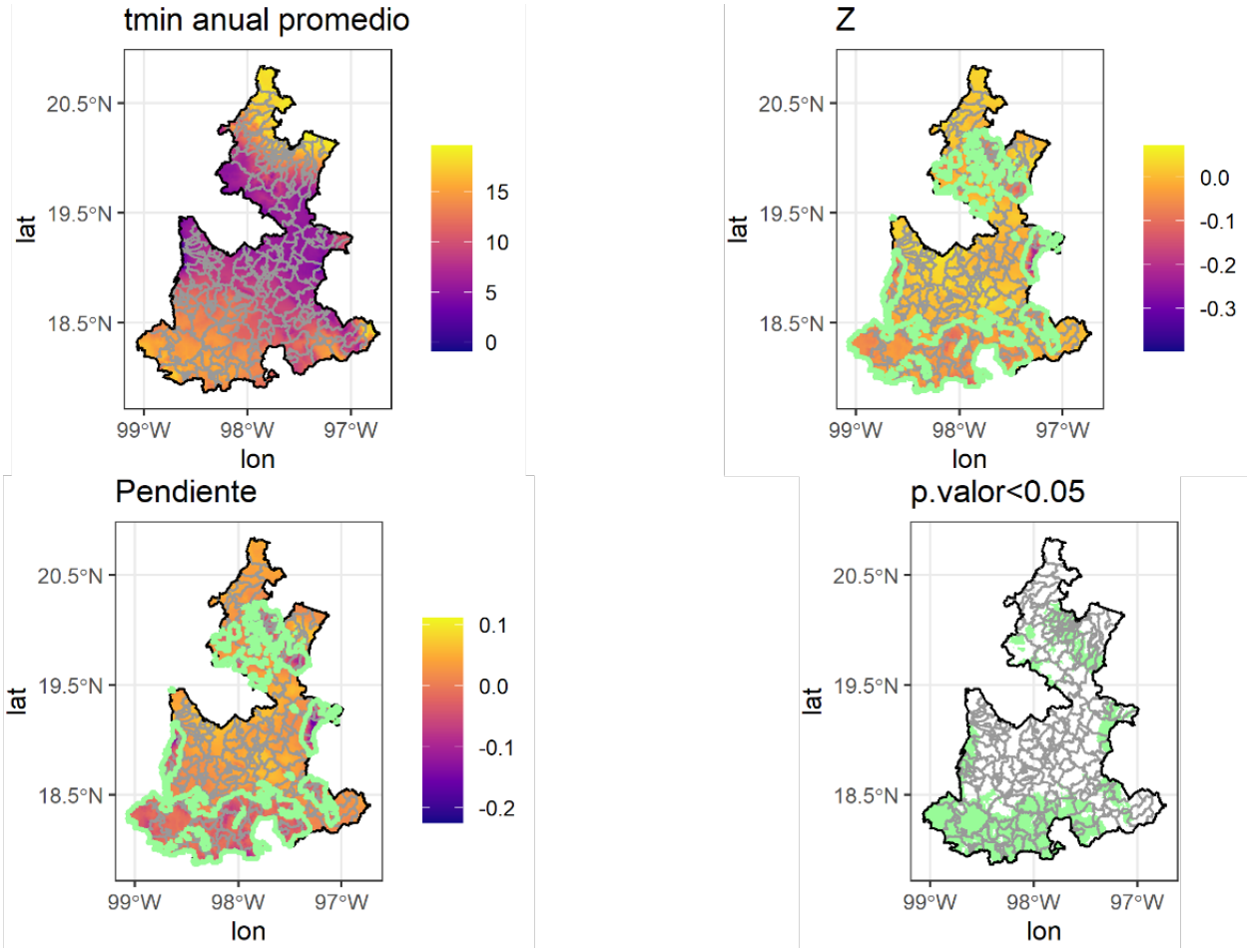


FIGURA 49. TEMPERATURA MÍNIMA MEDIA ANUAL (TMIN) PARA EL ESTADO

Fuente: Elaboración propias con información de Daymet.

c. Valor máximo de la temperatura máxima diaria (TXX)

Este índice representa la temperatura máxima diaria más alta en un año. Un aumento en TXX indica temperaturas más altas, lo que puede tener impactos negativos en la agricultura, la silvicultura, la disponibilidad de agua y la salud humana. En el 40% de la superficie del estado los valores de este índice tienden a aumentar entre 1980 y 2020, aunque no de forma estadísticamente significativa.

En cambio, en el 27% de la superficie estatal, este índice presenta una tendencia a la disminución estadísticamente significativa. La Mixteca es la región con mayor porcentaje de superficie con tendencia a la disminución estadísticamente significativa (57%), mientras que el 80% de la superficie de la región Angelópolis presenta tendencia al aumento del TXX (no estadísticamente significativo).

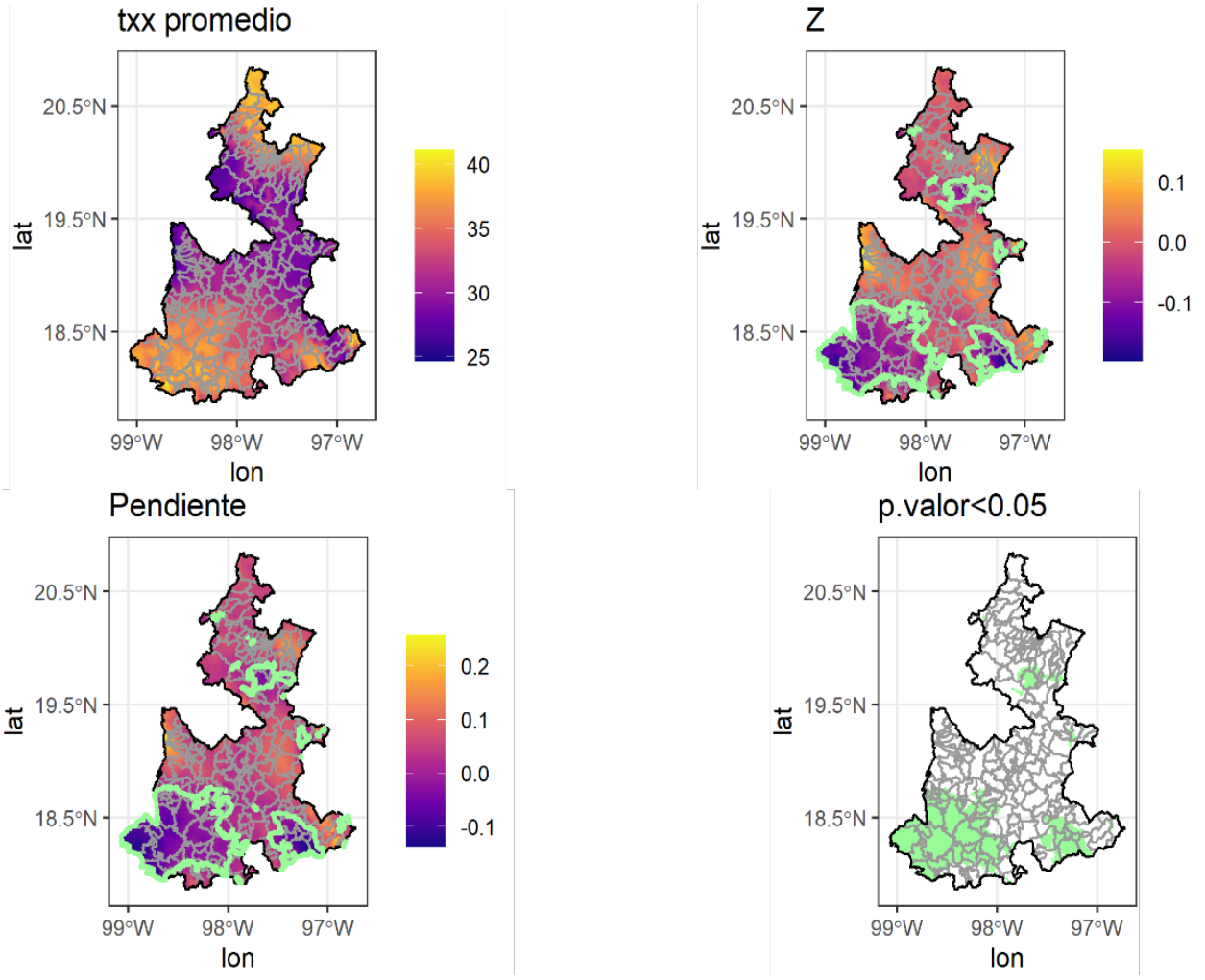


FIGURA 50. VALOR MÁXIMO DE LA TEMPERATURA MÁXIMA DIARIA (TXX) PARA EL ESTADO

Fuente: Elaboración propias con información de Daymet.

d. Valor mínimo de la temperatura mínima diaria (TNN)

TNN indica el valor de la temperatura mínima diaria más baja en un año; un aumento en TNN indica temperaturas mínimas más cálidas. El 50% de la superficie del estado presenta una tendencia estadísticamente significativa a la disminución en este índice, mientras que el aumento, detectado en únicamente ~6%, no es significativo. La región Mixteca presenta una tendencia estadísticamente significativa a la disminución durante el periodo analizado en aproximadamente el 80% de su superficie; el 27% de la superficie de la región Angelópolis presenta valores que sugieren una tendencia al aumento en este índice, sin embargo, esta no es estadísticamente significativa.

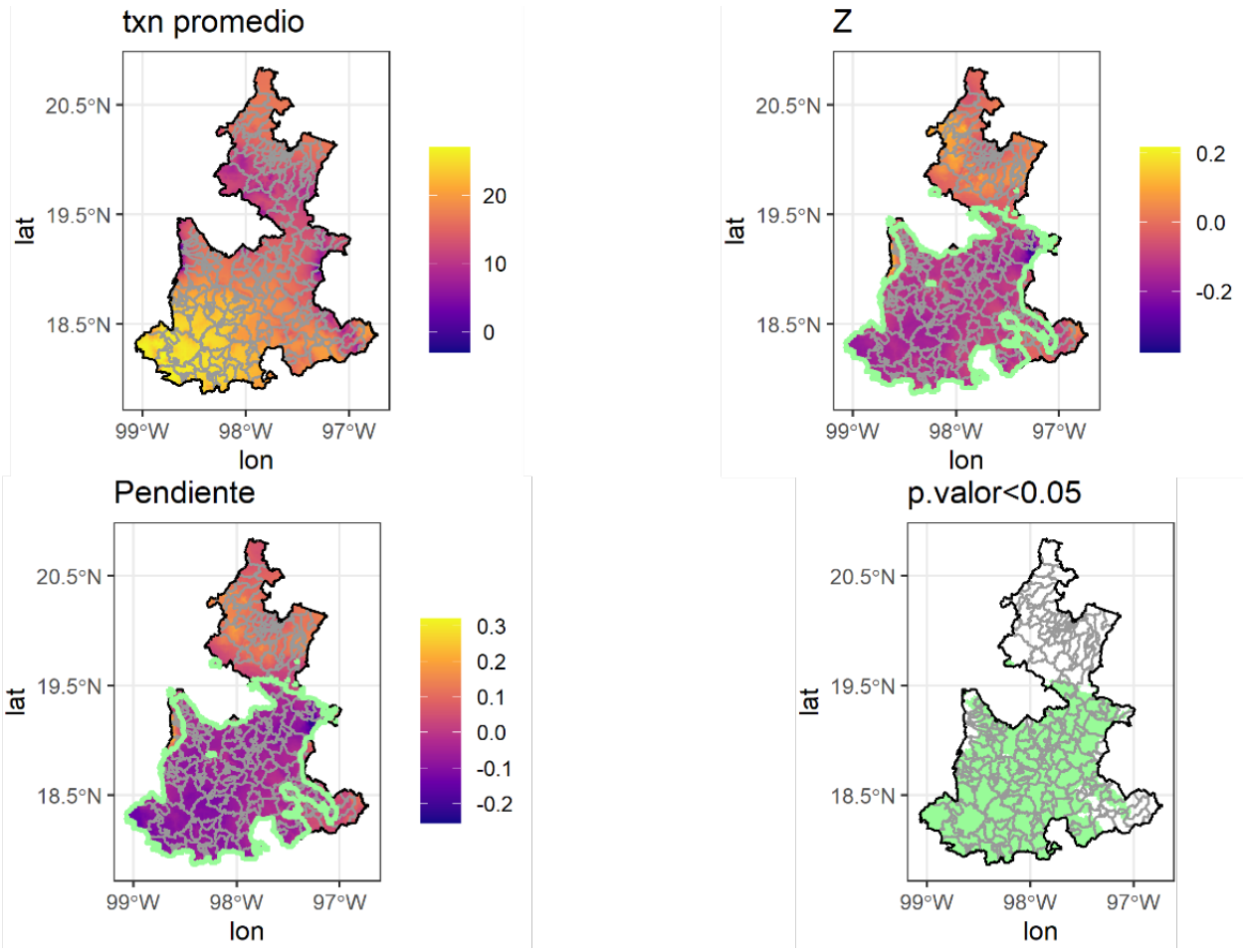


FIGURA 51. VALOR MÍNIMO DE LA TEMPERATURA MÍNIMA DIARIA (TNN) PARA EL ESTADO

Fuente: Elaboración propias con información de Daymet.

e. Número de días de verano (SU)

Este índice se define como el número de días en un año con temperaturas mínimas por encima del percentil 25 de la estación más cálida. Dependiendo de la magnitud de los valores de cambio, un aumento en SU puede tener efectos negativos en la disponibilidad de agua, aumentar el consumo de energía, e impactos en la salud entre otros. En aproximadamente el 26% de la superficie del estado se presenta una tendencia estadísticamente significativa a la disminución de este índice; la tendencia al incremento, prevalente en ~56% del estado no es estadísticamente significativa. La región del Valle de Atlixco presenta una tendencia significativa a la disminución del SU en aproximadamente el 71% de su área, mientras que, en la Sierra Norte, aunque los valores sugieren una tendencia al aumento en el 90% de la región, esta no es significativa.

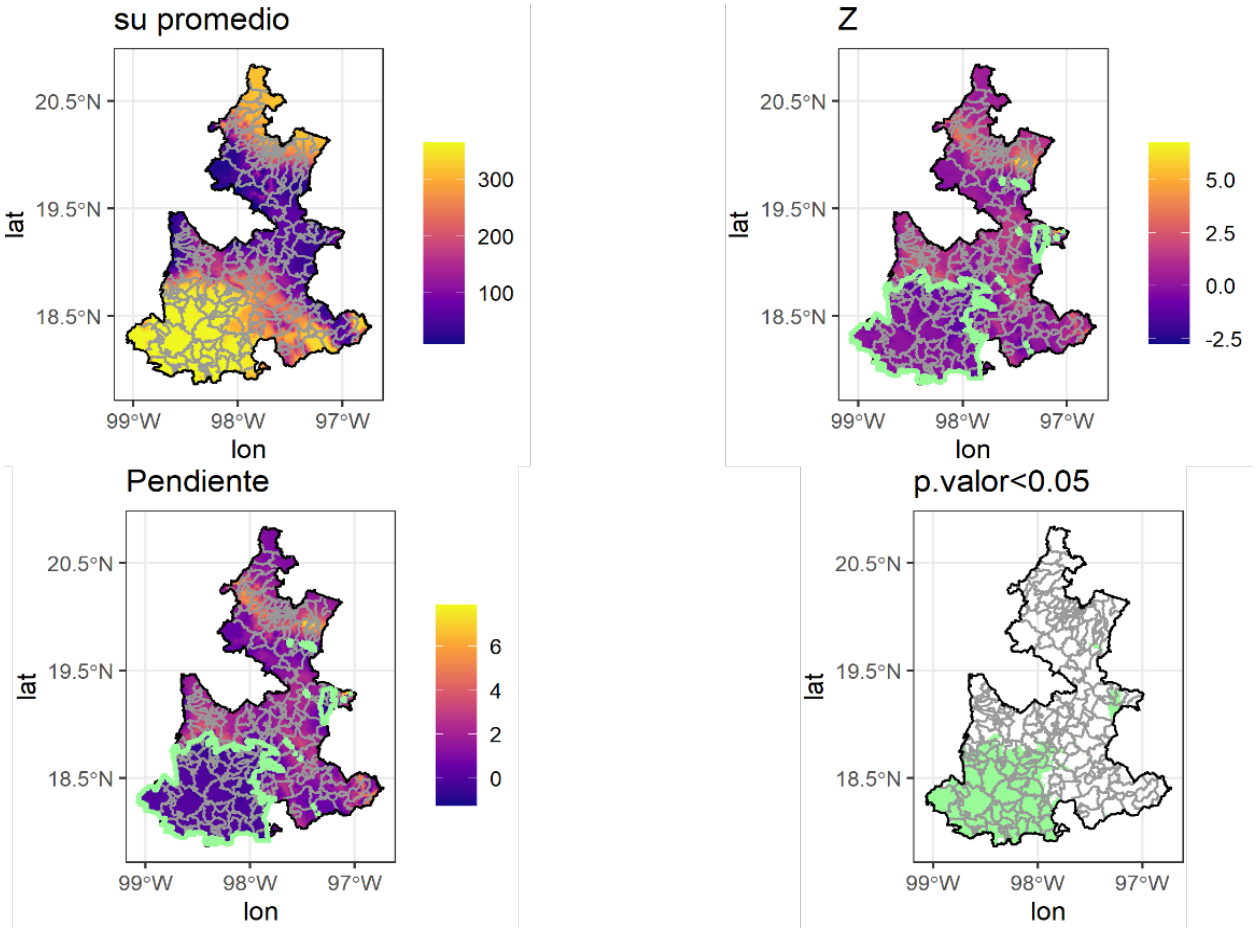


FIGURA 52. NÚMERO DE DÍAS DE VERANO (SU) PARA EL ESTADO

Fuente: Elaboración propias con información de Daymet.

f. Número de días de heladas (FD)

FD representa el número de días en un año con temperaturas mínimas por debajo de 0°C, cuyo aumento puede tener efectos negativos importantes en el sector agrícola. Durante el periodo 1980-2020, este índice presentó una tendencia a la disminución en aproximadamente el 28% del área estatal (23% significativa y 5% no significativa estadísticamente). En ~5% del área la tendencia sugiere un aumento de FD, aunque no significativa. La región cuyo mayor porcentaje de superficie presenta una tendencia significativa a la disminución en el número de días de heladas es Angelópolis (77%). Por el contrario, en Valle Serdán, un 12% de la superficie los valores han ido en aumento; sin embargo, al no ser estadísticamente significativa, no se puede concluir que haya una tendencia en tal sentido.

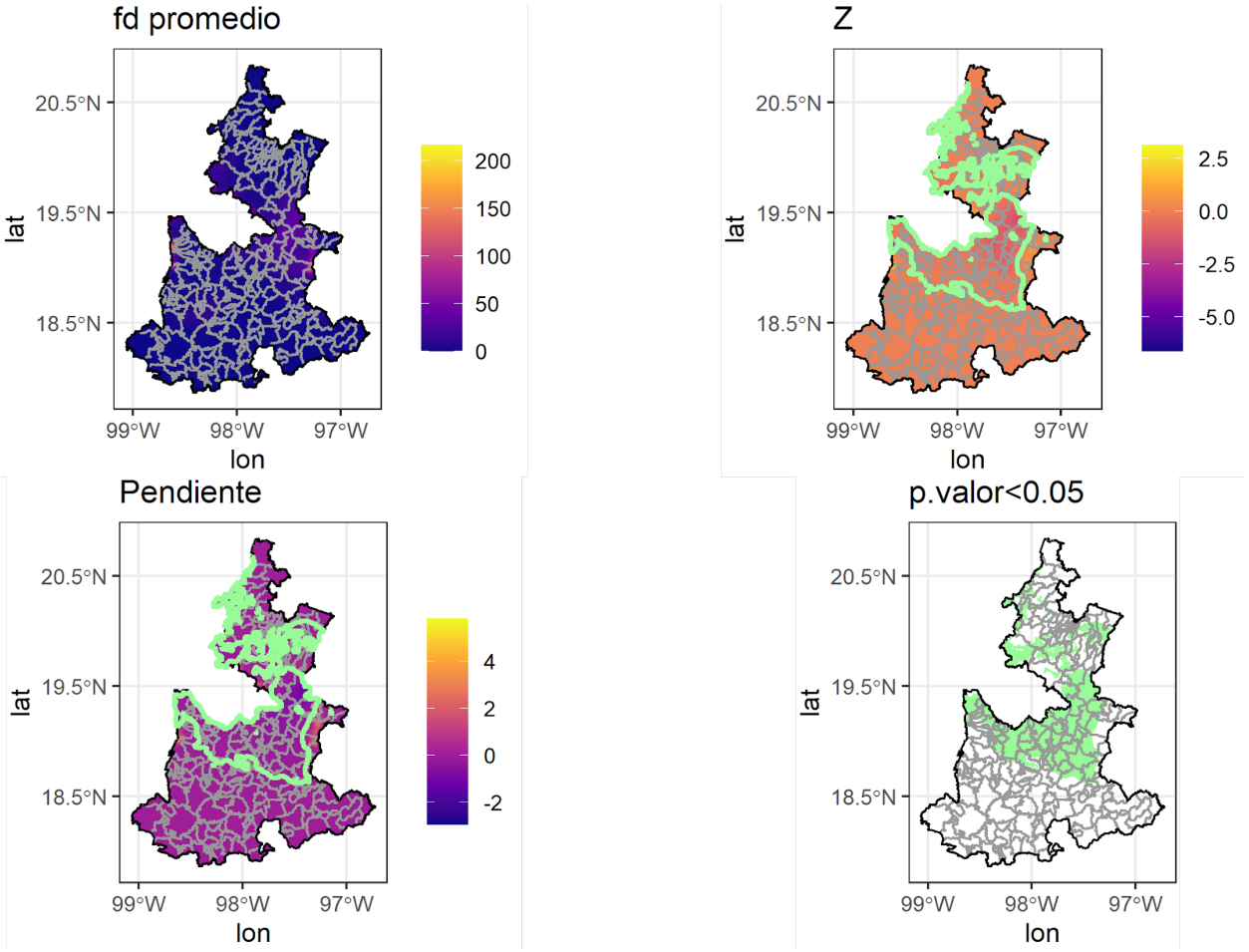


FIGURA 53. NÚMERO DE DÍAS DE HELADAS (FD) PARA EL ESTADO

Fuente: Elaboración propias con información de Daymet.

g. Oscilación térmica diaria (DTR)

El índice DTR da cuenta de la diferencia entre la temperatura máxima y mínima diaria, el cual es una variable relevante asociada con el nicho ecológico de las especies y su distribución espacial. Dependiendo de la magnitud de la tendencia de este índice, pueden ocurrir cambios en la distribución y fenología de las especies animales y vegetales, ocasionando diferentes efectos en los ecosistemas. 57% del área del estado presenta una tendencia a la disminución de este índice, 41% estadísticamente significativa, y en el 43% se ha presentado una tendencia opuesta no significativa. En Angelópolis, el 73% de la superficie ha presentado una tendencia a la disminución de la DTR, mientras que en la Sierra Nororiental la tendencia durante el periodo analizado es inversa y no significativa.

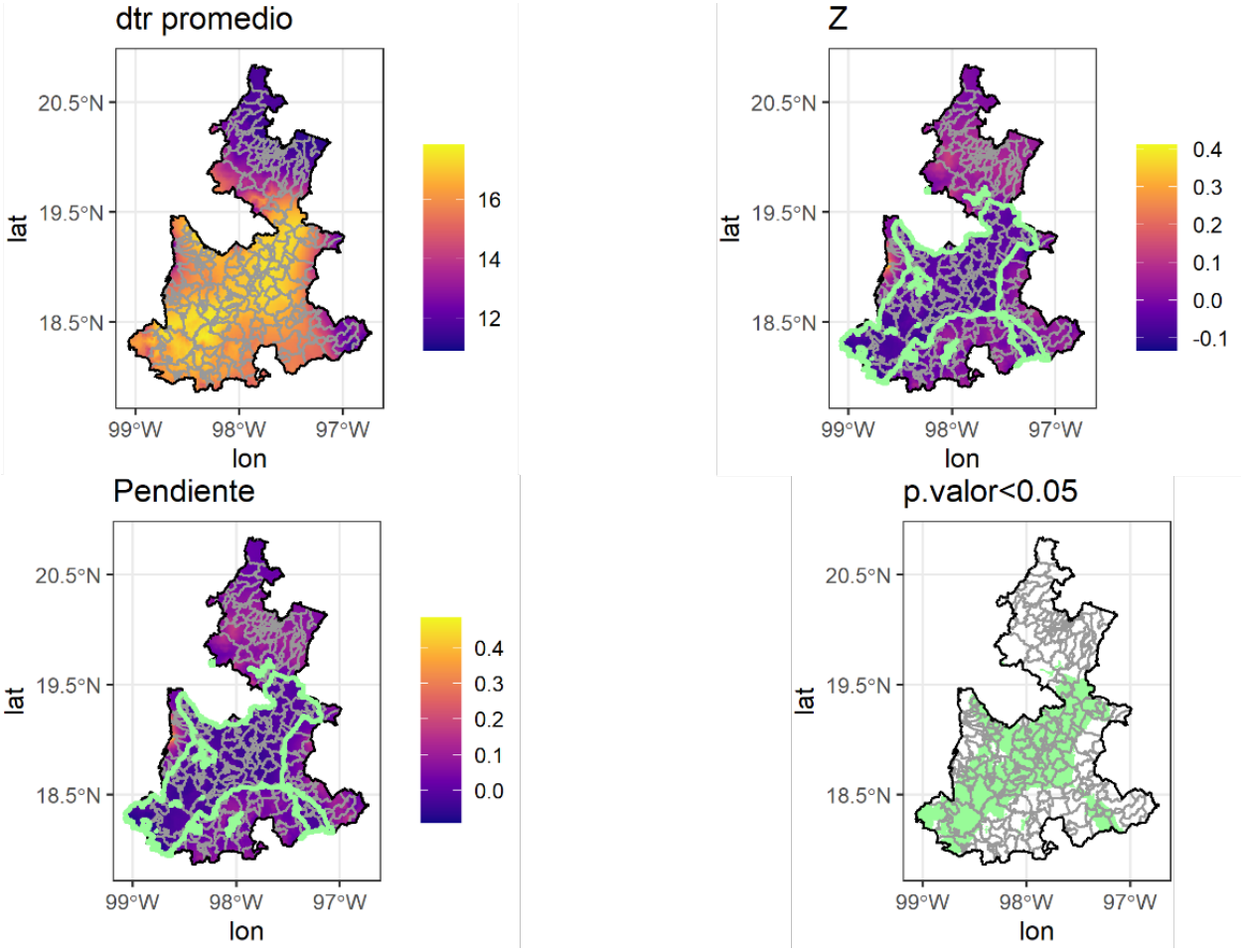


FIGURA 54. OSCILACIÓN TÉRMICA DIARIA (DTR) PARA EL ESTADO

Fuente: Elaboración propias con información de Daymet.

Las Figuras 55 a 63 muestran la distribución de los valores de los índices para las siete regiones del Estado. Éstas permiten comparar el comportamiento correspondiente durante el periodo 1980-2020.

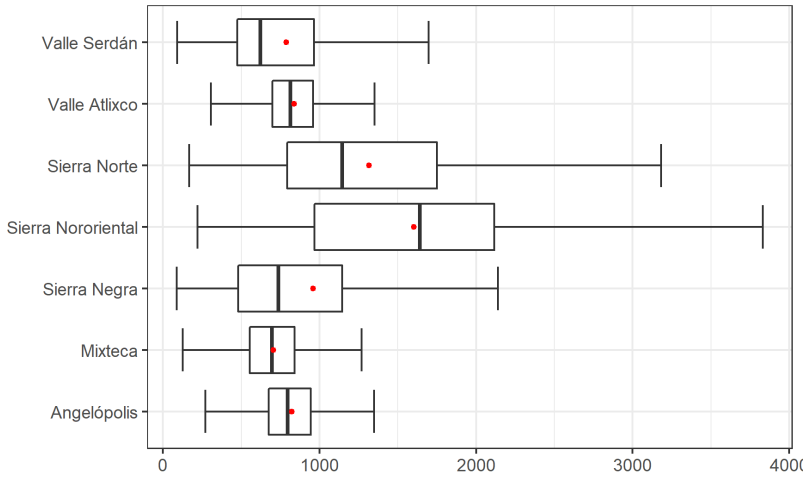


FIGURA 55. DISTRIBUCIÓN DEL ÍNDICE PRCTOT POR REGIÓN PARA EL PERIODO 1980-2020

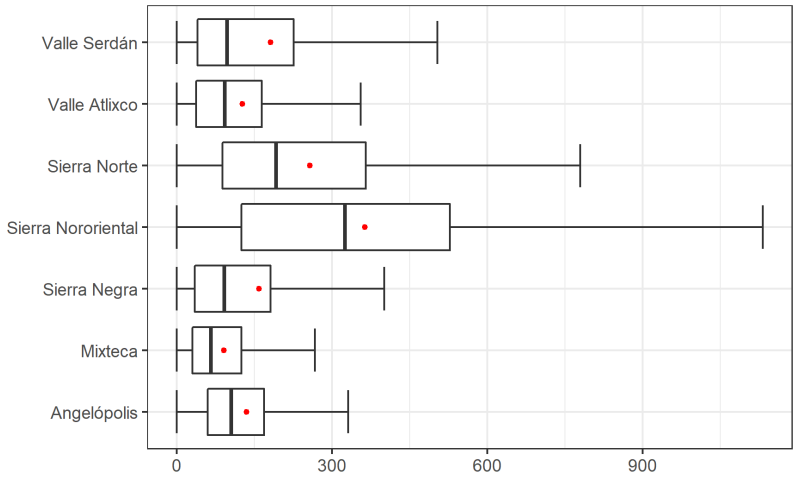


FIGURA 56. DISTRIBUCIÓN DEL ÍNDICE PR95 POR REGIÓN PARA EL PERIODO 1980-2020

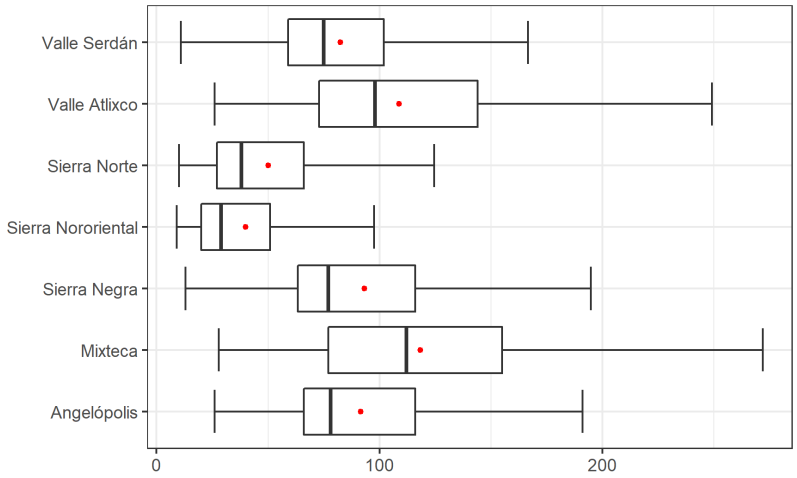


FIGURA 57. DISTRIBUCIÓN DEL ÍNDICE CDD POR REGIÓN PARA EL PERIODO 1980-2020

Nota: Los puntos rojos indican el valor promedio.

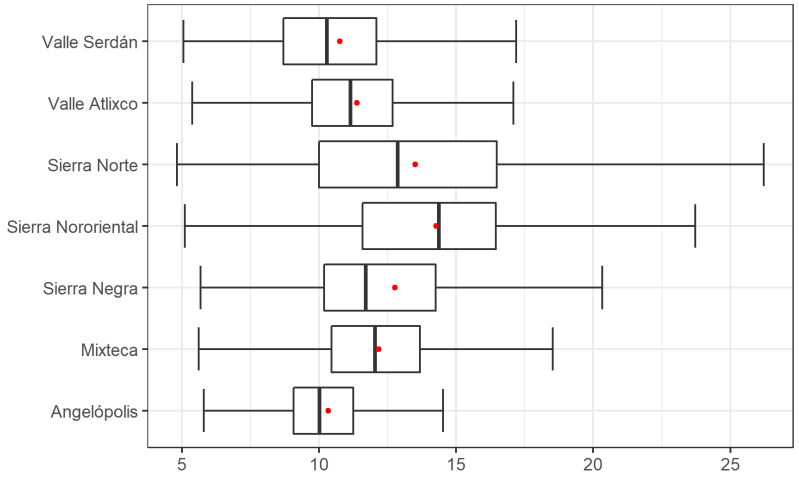


FIGURA 58. DISTRIBUCIÓN DEL ÍNDICE SDII POR REGIÓN PARA EL PERIODO 1980-2020

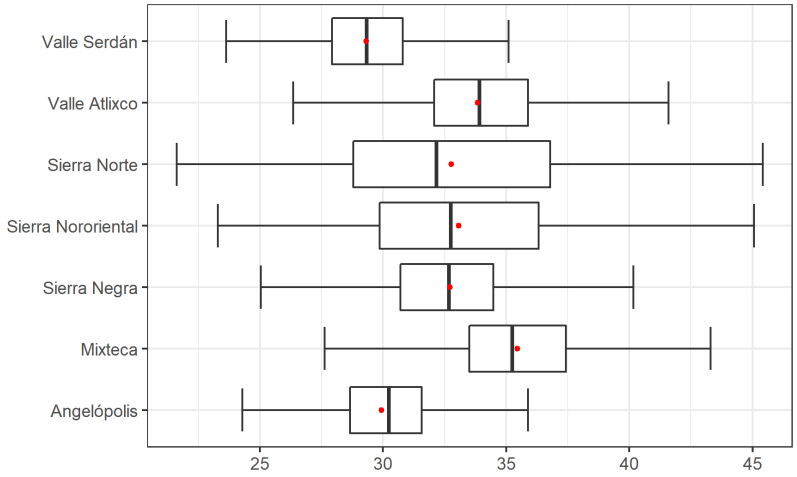


FIGURA 59. DISTRIBUCIÓN DEL ÍNDICE TXX POR REGIÓN PARA EL PERIODO 1980-2020

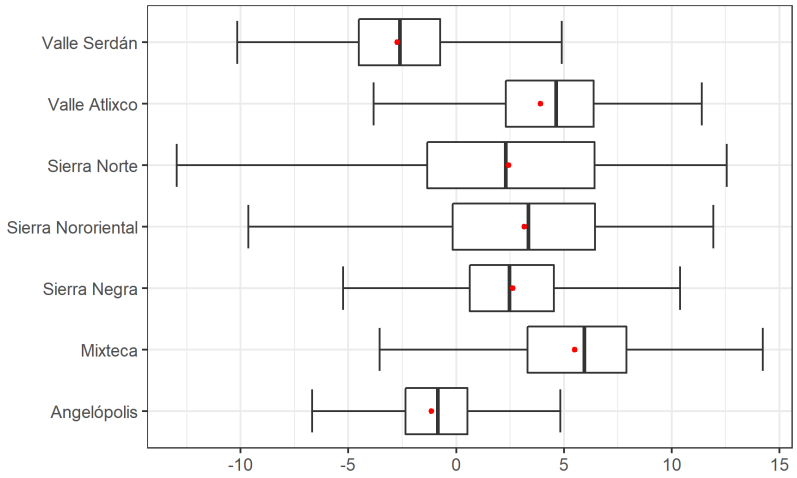


FIGURA 60. DISTRIBUCIÓN DEL ÍNDICE TNN POR REGIÓN PARA EL PERIODO 1980-2020

Nota: Los puntos rojos indican el valor promedio.

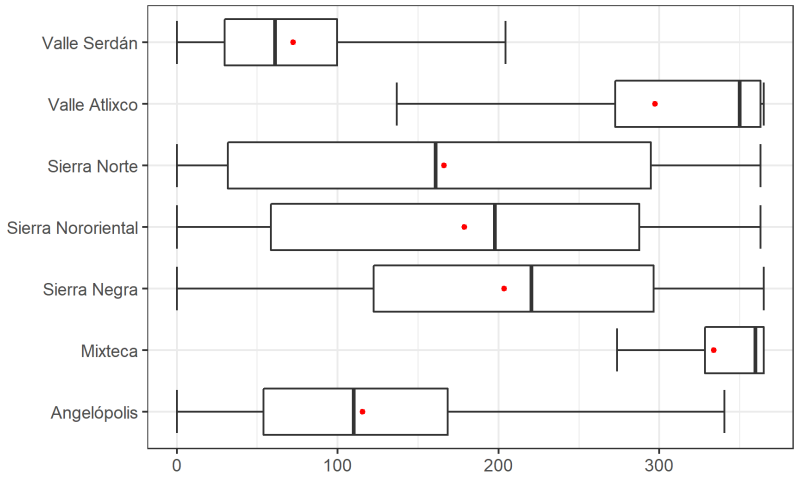


FIGURA 61. DISTRIBUCIÓN DEL ÍNDICE SU POR REGIÓN PARA EL PERIODO 1980-2020

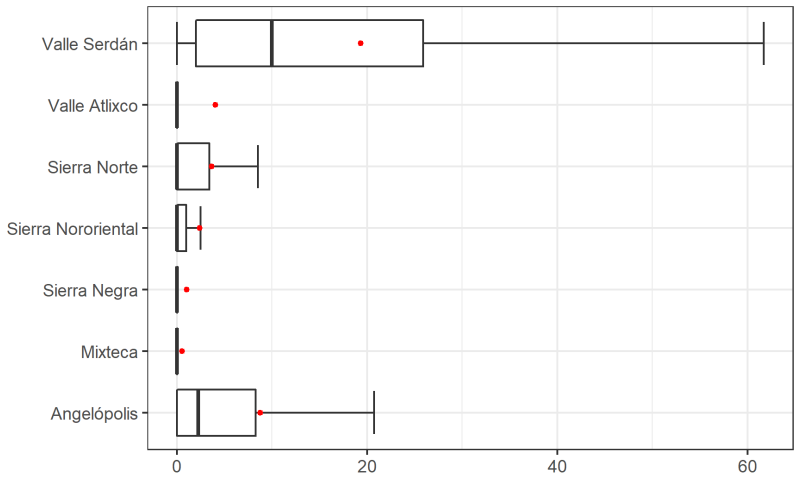


FIGURA 62. DISTRIBUCIÓN DEL ÍNDICE FD POR REGIÓN PARA EL PERIODO 1980-2020

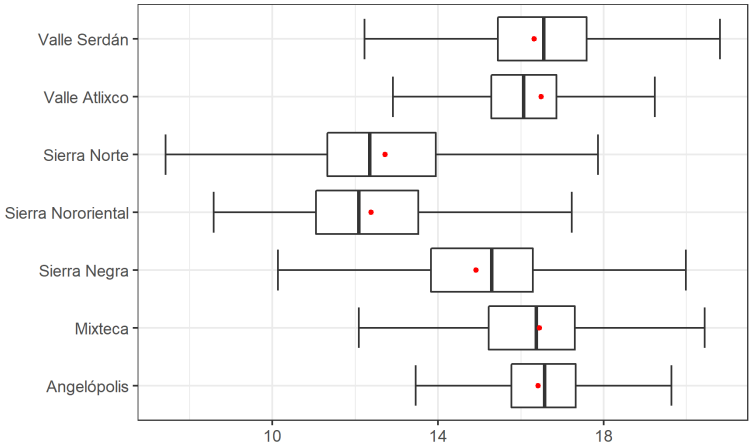


FIGURA 63. DISTRIBUCIÓN DEL ÍNDICE DTR POR REGIÓN PARA EL PERIODO 1980-2020

Nota: Los puntos rojos indican el valor promedio.
Fuente: Elaboración propias con información de Daymet.

Como se aprecia en las Figura 64, la heterogeneidad y distribución espacial de las tendencias impide caracterizar al Estado y sus regiones con un solo valor. Para resumir de forma general el comportamiento de los índices, se calculó la proporción de la superficie del Estado y de las regiones de acuerdo con el sentido y significancia estadística de las tendencias identificadas (Figura 64).

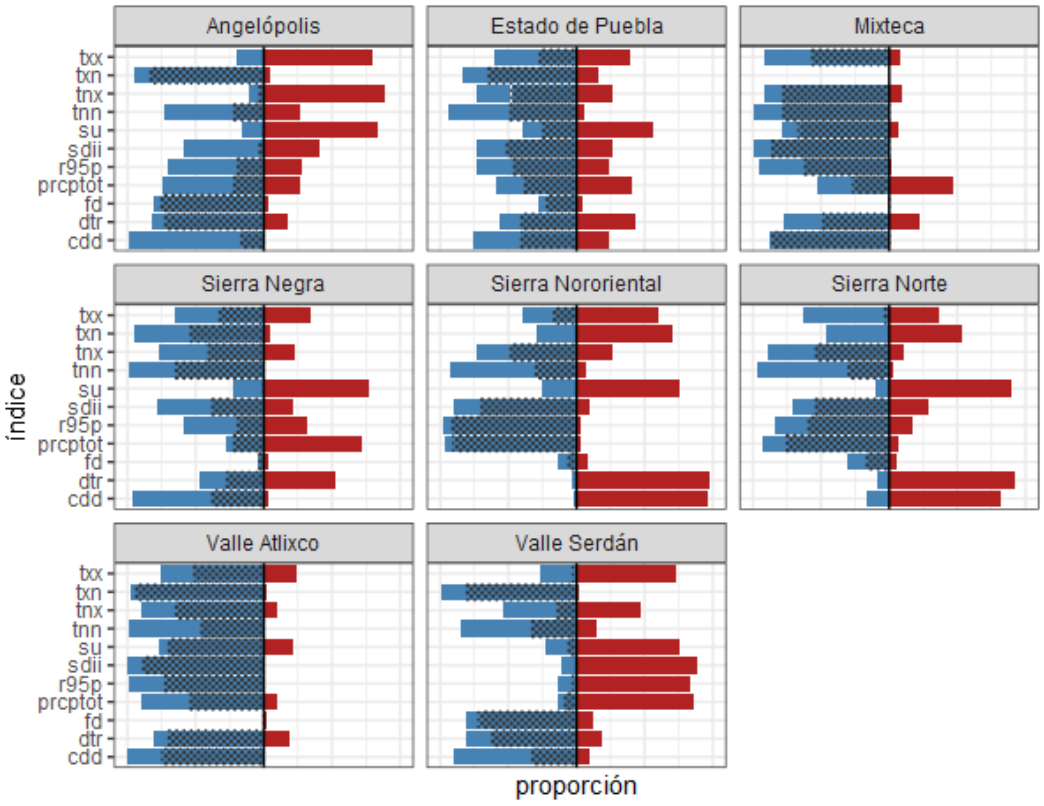


FIGURA 64. PROPORCIÓN DE LAS TENDENCIAS DE LOS ÍNDICES EN EL ESTADO Y LAS REGIONES DURANTE EL PERIODO 1980-2020

Nota: Azul: tendencia a la disminución; rojo: tendencia al aumento; la zona punteada significa que la tendencia es estadísticamente significativa.
Fuente: Elaboración propias con información de Daymet.

3.9. GENERACIÓN DE ESCENARIOS CLIMÁTICOS

Los escenarios de cambio climático son una representación plausible y a menudo simplificada del clima futuro, basados en un conjunto internamente coherente de relaciones climatológicas, los cuales se construyen para ser utilizados para conocer las consecuencias potenciales del cambio climático antropogénico, y a menudo sirven de insumo para las simulaciones de los impactos (Fernández *et al.*, 2015).

La gran cantidad de modelos climáticos disponibles impone la necesidad de hacer una selección de un número manejable para realizar estudios de vulnerabilidad y adaptación. Para la construcción de proyecciones de cambio climático se consideran diferentes elementos, como los Modelos de Circulación General (MGC) y las Trayectorias Socioeconómicas Compartidas (SSP).

Los Modelos de Circulación General (MGC) son modelos matemáticos que simulan el sistema climático de la Tierra. Estos modelos representan los procesos físicos en la atmósfera, el océano, la criosfera y la superficie terrestre, y constituyen una herramienta para simular la respuesta del sistema climático global al aumento de las concentraciones de gases de efecto invernadero.

Las SSP, o "Shared Socioeconomic Pathways" (Trayectorias Socioeconómicas Compartidas), son escenarios que describen posibles trayectorias futuras de desarrollo socioeconómico en ausencia de políticas de cambio climático a nivel global (Kriegler *et al.*, 2012). Estos escenarios se utilizan en los modelos de cambio climático para proyectar posibles resultados de las emisiones de gases de efecto invernadero y otros factores que afectan el clima. Cada SSP se basa en una narrativa específica que describe una posible evolución de la sociedad, que van desde un mundo centrado en el crecimiento sostenible y la igualdad (SSP1) a uno rápido de crecimiento económico y uso de energía sin restricciones (SSP5) (Riahi *et al.,* 2017).

Se seleccionaron 72 proyecciones de cambio climático generadas en el marco del proyecto de intercomparación de modelos de clima acoplados fase 6 (CMIP6) publicado en 2021 e incorporados en el Sexto Informe de Evaluación del IPCC (AR6) (IPCC, 2021), dadas por la combinación de 6 MGC: a) CNRM-CM6-1, b) HadGEM3-GC31-LL, c) INM-CM4-8, d) MIROC-ES2L, e) MPI-ESM1-2-HR, y f) MRI-ESM2-0; 3 SSP: a) SSP 2-4.5, b) SSP 3-70 y c) SSP 5-8.5; y cuatro horizontes temporales (HT): a) 2021-2040, b) 2041-2060, c) 2061-2080, y d) 2081-2100 (Tabla 23). Estas fueron obtenidas del conjunto de datos climáticos WorldClim[19], las cuales tienen una resolución espacial de ~1 km, que es adecuada para para caracterizar la exposición del Estado al cambio climático.

[19] https://www.worldclim.org/

TABLA 23. ELEMENTOS QUE CONFORMAN LAS PROYECCIONES DE CAMBIO CLIMÁTICO CONSIDERADAS.

MODELO DE CIRCULACIÓN GENERAL (MGC)	TRAYECTORIA SOCIOECONÓMICA COMPARTIDA (SSP)	HORIZONTE TEMPORAL (HT)	VARIABLES
• CNRM-CM6-1 • HadGEM3-GC31-LL • INM-CM4-8 • MIROC-ES2L • MPI-ESM1-2-HR • MRI-ESM2-0	• ssp245 • ssp370 • ssp585	• 2021-2040 • 2041-2060 • 2061-2080 • 2081-2100	• Temperatura máxima (tmax) • Temperatura mínima (tmin) • Precipitación (prec)

Fuente: Elaboración propia con información de IPCC.

Para caracterizar la exposición del Estado al cambio climático se calculó el cambio (anomalías Δ) en los valores promedio de las variables de a) temperatura máxima (tmax), b) temperatura mínima (tmin) y c) precipitación (prec), de las 72 proyecciones de cambio climático, en relación con el periodo de referencia (1970-2000) de WorldClim, el cual tiene la misma resolución espacial y extensión geográfica que las proyecciones.

Éstos se agregaron espacialmente promediando los valores para el territorio estatal y para cada una de las regiones, cuyos resultados se resumen en las secciones, gráficas y tablas siguientes. En la Tabla 24 se presentan los valores de cambio extremos, i.e. mínimos y máximos, de las variables de acuerdo con sus respectivas proyecciones de cambio climático; en la Figura 65 se presentan gráficamente los rangos de los valores de cambio extremos agrupados por horizonte temporal.

TABLA 24. VALORES DE CAMBIO EXTREMOS DE LAS VARIABLES CLIMÁTICAS PROYECTADOS PARA EL ESTADO; PREC [MM], TMAX [°C], TMIN [°C].

Variable	MGC	SSP	Min/Max	Valor
2021-2040				
prec	INM-CM4-8	ssp370	Min	-70.3
	CNRM-CM6-1	ssp585	Max	19.7
tmax	MPI-ESM1-2-HR	ssp370	Min	1.1
	HadGEM3-GC31-LL	ssp585	Max	1.8
tmin	INM-CM4-8	ssp245	Min	1.1
	HadGEM3-GC31-LL	ssp585	Max	2.3
2041-2060				
prec	MIROC-ES2L	ssp370	Min	-92.7
	HadGEM3-GC31-LL	ssp245	Max	48.9
tmax	INM-CM4-8	ssp245	Min	1.5
	HadGEM3-GC31-LL	ssp585	Max	2.9
tmin	MPI-ESM1-2-HR	ssp245	Min	1.7
	HadGEM3-GC31-LL	ssp585	Max	3.6
2061-2080				
prec	MPI-ESM1-2-HR	ssp585	Min	-164.0
	CNRM-CM6-1	ssp245	Max	30.1
tmax	INM-CM4-8	ssp245	Min	1.8

Variable	MGC	SSP	Min/Max	Valor
	HadGEM3-GC31-LL	ssp585	Max	4.3
tmin	INM-CM4-8	ssp245	Min	2.1
	HadGEM3-GC31-LL	ssp585	Max	5.3
2081-2100				
prec	MPI-ESM1-2-HR	ssp585	Min	-221.1
	CNRM-CM6-1	ssp245	Max	16.1
tmax	INM-CM4-8	ssp245	Min	2.0
	HadGEM3-GC31-LL	ssp585	Max	6.1
tmin	INM-CM4-8	ssp245	Min	2.5
	HadGEM3-GC31-LL	ssp585	Max	7.3

Fuente: Elaboración propia con información del IPCC.

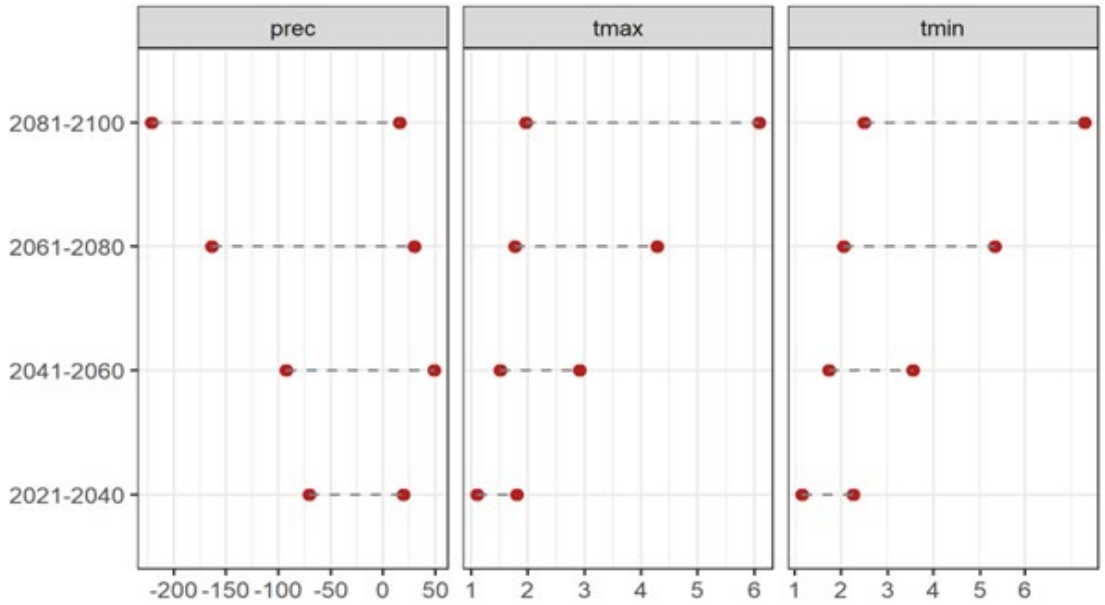


FIGURA 65. RANGOS DE VALORES DE CAMBIO DE LAS VARIABLES CLIMÁTICAS PROYECTADOS PARA EL ESTADO POR HORIZONTE TEMPORAL; PREC [MM], TMAX [°C], TMIN [°C].

Fuente: Elaboración propia con información del IPCC.

Precipitación

Dos MGC prevén un aumento en la precipitación anual acumulada en el Estado para algunos horizontes temporales (Figura 66), cuyo valor máximo alcanza los 48.9 mm durante el periodo 2041-2060 de acuerdo con el MGC HadGEM3-GC31-LL SSP 2-4.5; el resto de las proyecciones indican una disminución que puede ir desde los 70.3 mm en el horizonte temporal cercano (2021-2040) hasta 221 mm para el horizonte lejano. En la figura 67 se muestran los promedios de cambio en mm para la superficie Estatal.

Considerando los valores mensuales, a diferencia de la temperatura, la dirección del cambio en la precipitación tampoco es consistente en todas las proyecciones, presentándose una importante incertidumbre. Algunas proyecciones prevén un aumento de la precipitación mientras que otras una disminución. El modelo HadGEM3-GC31-LL es el que presenta los mayores

aumentos, principalmente en el mes de junio y durante el otoño. En general, la mayor disminución se prevé durante los meses de verano.

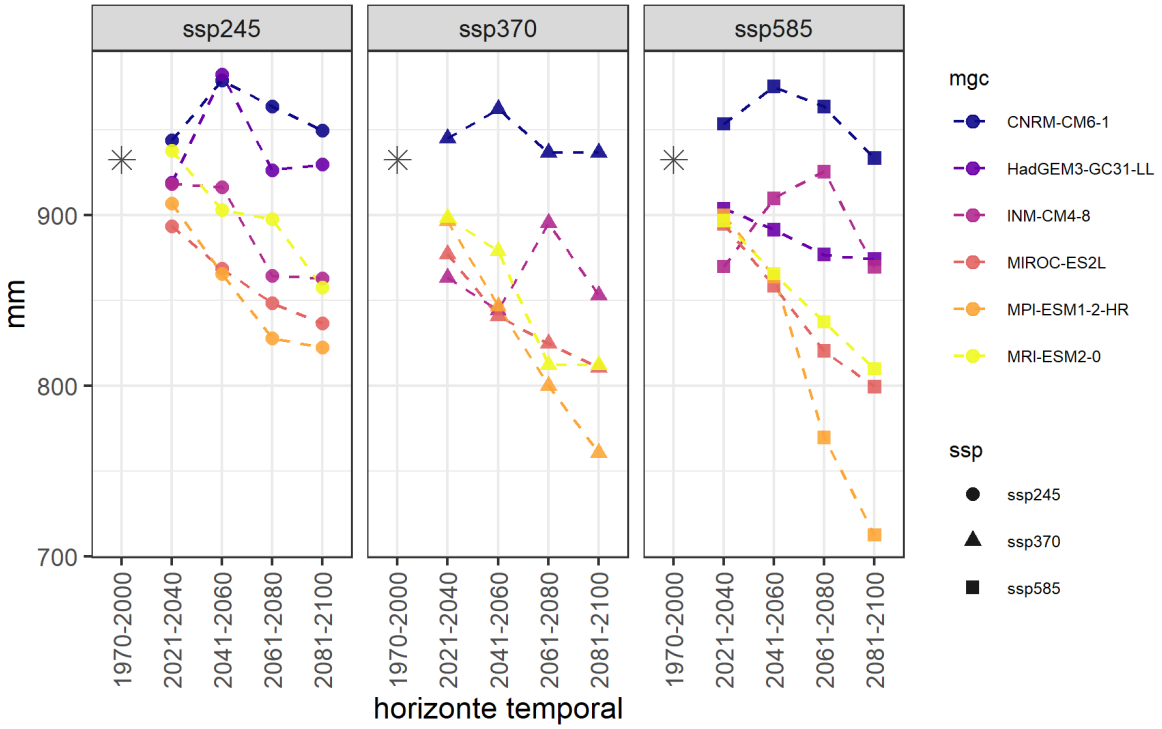


FIGURA 66. PROMEDIO DE PRECIPITACIÓN ANUAL ACUMULADA EN EL ESTADO PARA EL PERIODO DE REFERENCIA Y PROYECTADA DE ACUERDO CON LAS PROYECCIONES DE CAMBIO CLIMÁTICO.

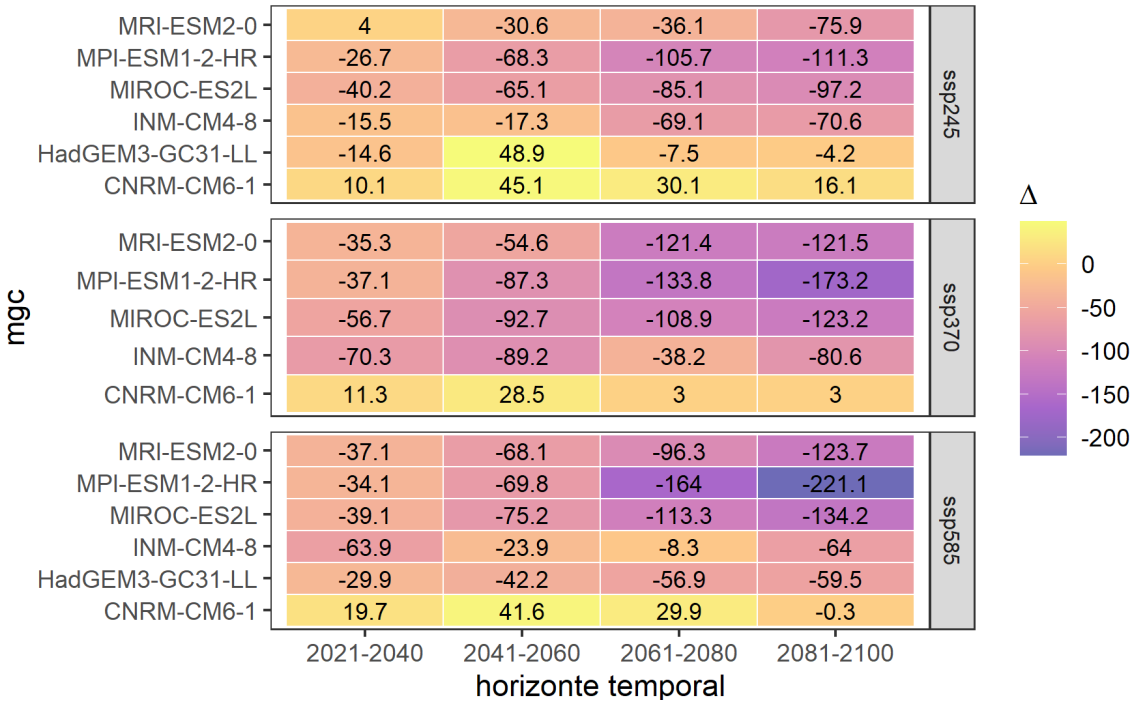


FIGURA 67. CAMBIO PROMEDIO DE LA PRECIPITACIÓN ANUAL [MM] PROYECTADO PARA EL ESTADO DE ACUERDO CON LAS PROYECCIONES DE CAMBIO CLIMÁTICO.

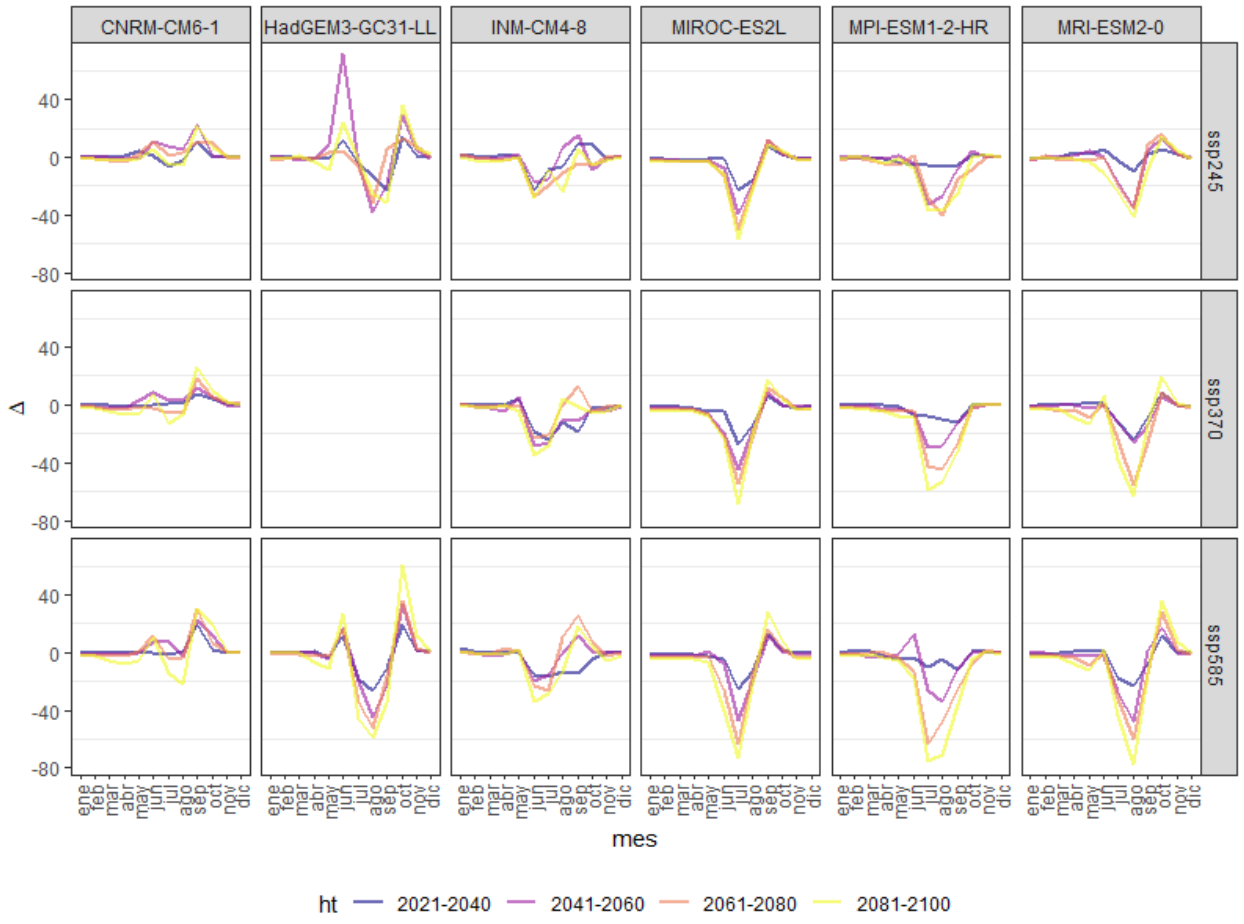


FIGURA 68. CAMBIO PROMEDIO DE LA PRECIPITACIÓN MENSUAL [Δ MM] PROYECTADO PARA EL ESTADO DE ACUERDO CON LAS PROYECCIONES DE CAMBIO CLIMÁTICO.

Nota: La proyección correspondiente al modelo HADGEM3-GC31-LL_SSP_3-7.0 no está disponible.

Fuente: Elaboración propias con información del IPCC.

Temperatura máxima

Todas las proyecciones consideradas prevén un aumento de la temperatura máxima del Estado (Figura 69). Los valores de cambio promedio calculados pueden ir desde 1.1 a 1.8 °C en el periodo 2021-2040, de 1.5 a 2.9 en el 2041-2060, de 1.8 a 4.3°C para el 2061-2080 y hasta entre 2 y 6.1 °C en el horizonte lejano (2081-2100) (Figura 70).

Considerando los valores mensuales, también se proyecta que la temperatura máxima aumente en todas las proyecciones; los mayores aumentos se observan en el escenario de altas emisiones (SSP 5-8.5) donde es más pronunciado durante los meses de verano, y de forma ascendente mientras más lejano es el horizonte temporal.

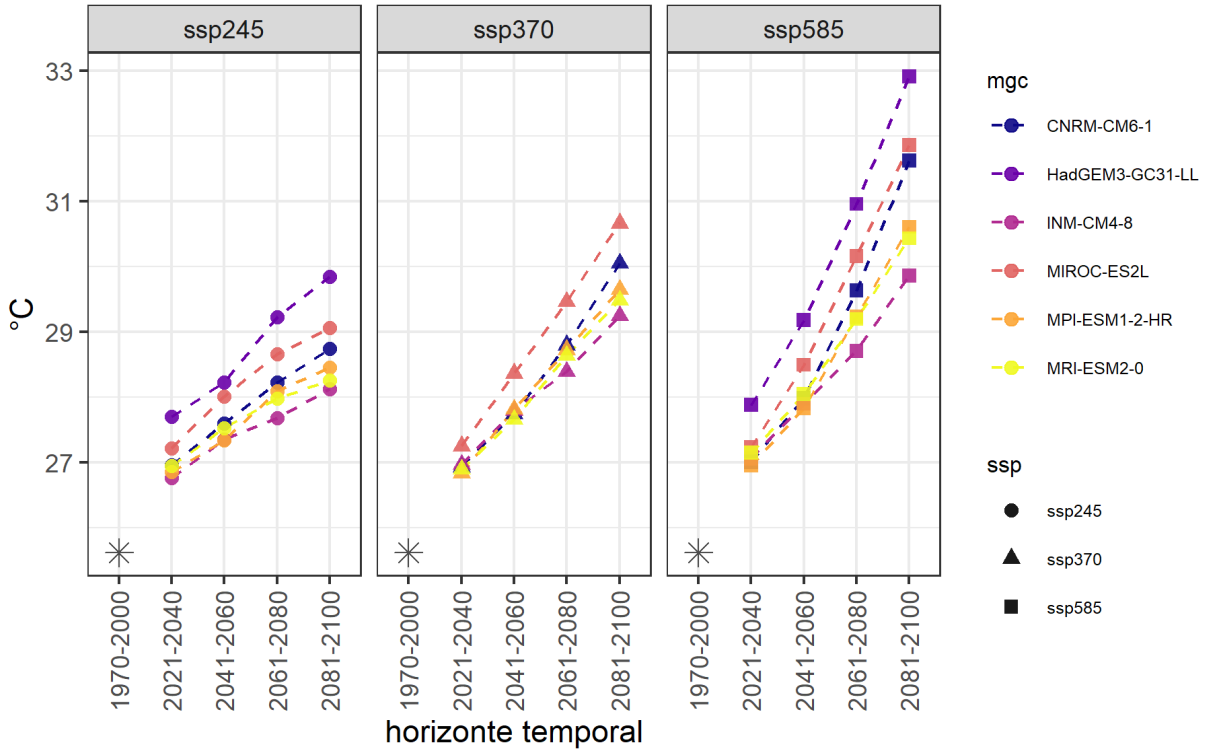


FIGURA 69. PROMEDIO DE LA TEMPERATURA MÁXIMA ANUAL EN EL ESTADO PARA EL PERIODO DE REFERENCIA Y PROYECTADA DE ACUERDO CON LAS PROYECCIONES DE CAMBIO CLIMÁTICO.

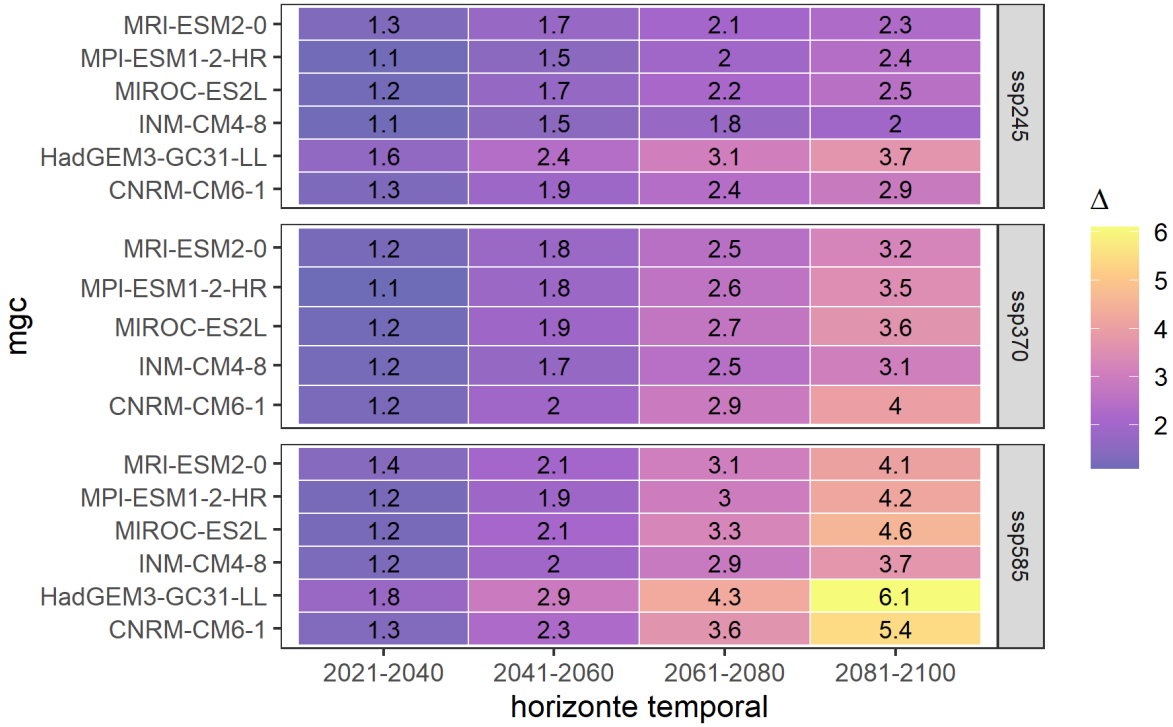


FIGURA 70. CAMBIO PROMEDIO DE LA TEMPERATURA MÁXIMA ANUAL [°C] PROYECTADO PARA EL ESTADO DE ACUERDO CON LAS PROYECCIONES DE CAMBIO CLIMÁTICO.



FIGURA 71. CAMBIO PROMEDIO DE LA TEMPERATURA MÁXIMA MENSUAL [Δ MM] PROYECTADO PARA EL ESTADO DE ACUERDO CON LAS PROYECCIONES DE CAMBIO CLIMÁTICO.

Nota: La proyección correspondiente al modelo HADGEM3-GC31-LL_SSP_3-7.0 no está disponible.

Fuente: Elaboración propias con información del IPCC.

Temperatura mínima

Todas las proyecciones consideradas prevén un aumento de la temperatura mínima del Estado (Figura 72). Los valores de cambio promedio calculados pueden ir desde 1.1 a 2.3°C en el periodo 2021-2040, de 1.7 a 3.6 para el periodo 2041-2060, de 2.1 a 5.3°C para el periodo 2061-2080, y hasta entre 2.5 a 7.3°C en el futuro lejano (Figura 73).

Considerando los valores mensuales, al igual que para la temperatura máxima, también se proyecta que la temperatura mínima aumente en todas las proyecciones; los mayores aumentos se observan en el escenario de altas emisiones (SSP 5-8.5) y de forma ascendente mientras más lejano es el horizonte temporal. De forma general, los mayores aumentos se presentan durante la primavera, y algunos modelos de circulación como el HadGEM3-GC31-LL proyectan aumentos importantes durante los meses de otoño e invierno, o en el verano (INM-CM4-8).

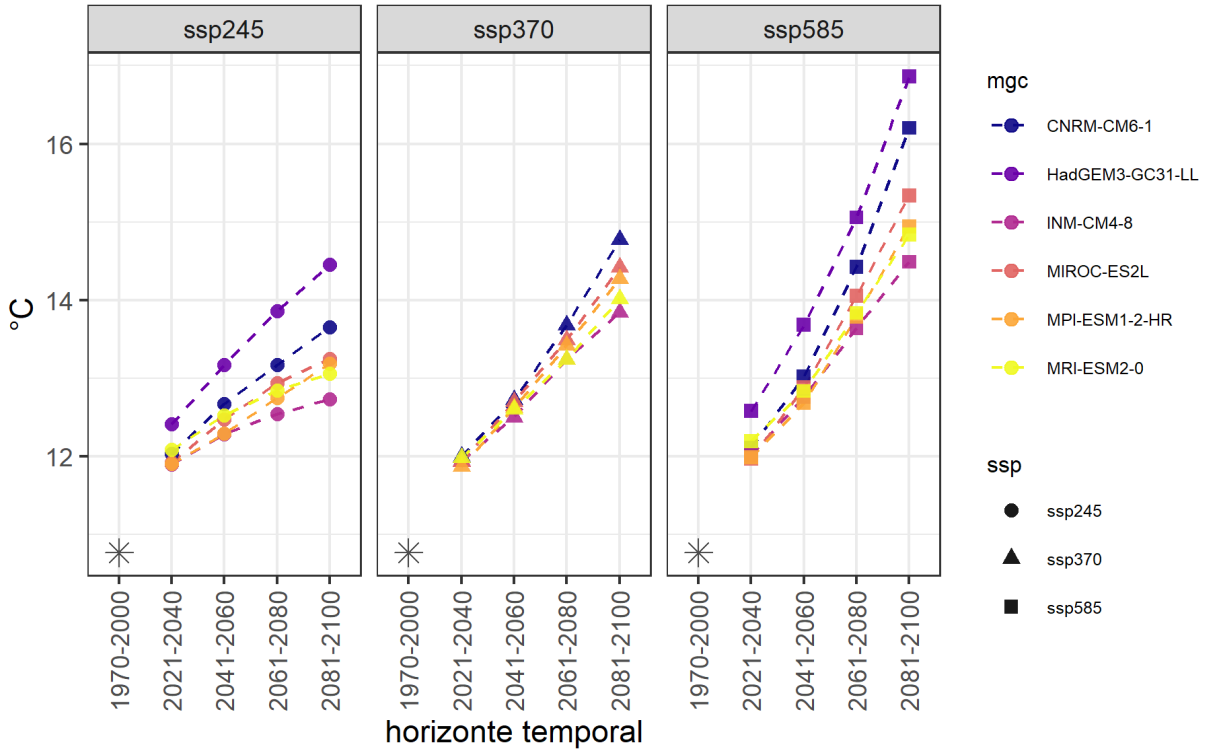


FIGURA 72. PROMEDIO DE LA TEMPERATURA MÍNIMA ANUAL EN EL ESTADO PARA EL PERIODO DE REFERENCIA Y PROYECTADA DE ACUERDO CON LAS PROYECCIONES DE CAMBIO CLIMÁTICO.

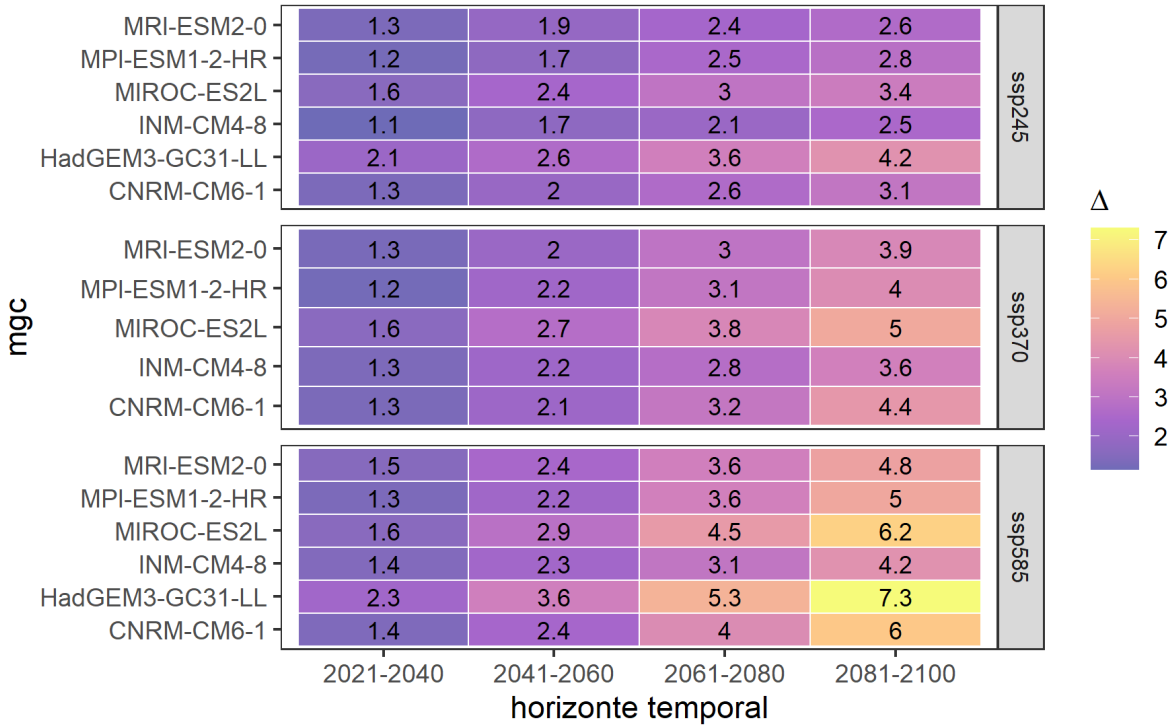


FIGURA 73. CAMBIO PROMEDIO DE LA TEMPERATURA MÍNIMA ANUAL [°C] PROYECTADO PARA EL ESTADO DE ACUERDO CON LAS PROYECCIONES DE CAMBIO CLIMÁTICO.



FIGURA 74. CAMBIO PROMEDIO DE LA TEMPERATURA MÍNIMA MENSUAL [Δ MM] PROYECTADO PARA EL ESTADO DE ACUERDO CON LAS PROYECCIONES DE CAMBIO CLIMÁTICO.

Nota: La proyección correspondiente al modelo HADGEM3-GC31-LL_SSP_3-7.0 no está disponible.

Fuente: Elaboración propias con información del IPCC.

Selección de proyecciones para la evaluación de la vulnerabilidad

De las 72 proyecciones de cambio climático consideradas, se realizó una subselección para realizar los cálculos de la vulnerabilidad de los diferentes elementos clave del territorio (ECT) identificados. Se seleccionaron dos SSP: a) el SSP 5-8.5 y b) el SSP 2-4.5. Esta selección comprende un escenario de altas emisiones y uno de estabilización media, respectivamente, cuyas narrativas se presentan en la Tabla 25. Estos escenarios cubren el rango de posibles trayectorias (Lutz *et al.*, 2016) y son de los más utilizados por la comunidad climática (Joyce y Coulson, 2020; San José *et al.*, 2016).

TABLA 25. NARRATIVAS DE LAS SSP DE LAS PROYECCIONES SELECCIONADAS PARA LA EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD.

TRAYECTORIA SOCIOECONÓMICA COMPARTIDA (SSP)	NARRATIVA
SSP 2	A menudo referido como el escenario de "camino intermedio", supone que las tendencias sociales, económicas y tecnológicas continuarán siguiendo sus patrones históricos. El desarrollo y el crecimiento de los ingresos son desiguales, con algunos países progresando bien mientras que otros se quedan atrás. Los sistemas ambientales experimentan degradación, pero hay algunas mejoras, y la intensidad del uso de recursos y energía disminuye. El crecimiento de la población mundial es moderado y se estabiliza en la segunda mitad del siglo.
SSP 5	También conocido como el escenario de "Desarrollo impulsado por los combustibles fósiles", supone un mundo que deposita una creciente confianza en los mercados competitivos, la innovación y las sociedades participativas para producir un rápido progreso tecnológico y desarrollo del capital humano. Este camino hacia el desarrollo sostenible se combina con la explotación de abundantes recursos de combustibles fósiles y la adopción de estilos de vida intensivos en recursos y energía en todo el mundo. Todos estos factores conducen a un rápido crecimiento de la economía mundial, mientras que la población mundial alcanza su pico y disminuye en el siglo XXI.

Los horizontes temporales (HT) que se usarán en este estudio son: a) el horizonte temporal cercano de 2021-2040 y b) el horizonte lejano 2061-2080. Para la toma de decisiones es necesario responder a problemáticas inmediatas o bien planificar el futuro a corto plazo, que pueden ser algunos años. Una gestión a corto plazo es relevante, sobre todo en aquellos países en desarrollo, como México, por lo que es necesario generar capacidades adaptativas ante impactos en el contexto de cambio climático. Sin embargo, hay situaciones que necesitan una visión a largo plazo, por ejemplo, proyectos de infraestructura, como embalses de riego, y defensas contra inundaciones, entre otras (Nissan *et al.*, 2019).

Los modelos globales de circulación general (MGC) que se utilizarán serán: a) el HADGEM3-GC31-LL y b) el MPI-ESM1-2-HR, ya que tienen una buena capacidad para simular las respuestas del sistema climático a los cambios en los forzamientos radiactivos, y capturar una gama de respuestas climáticas en diferentes regiones y condiciones, entre ellas México (Altamirano del Carmen *et al.*, 2021) (Figura 75).

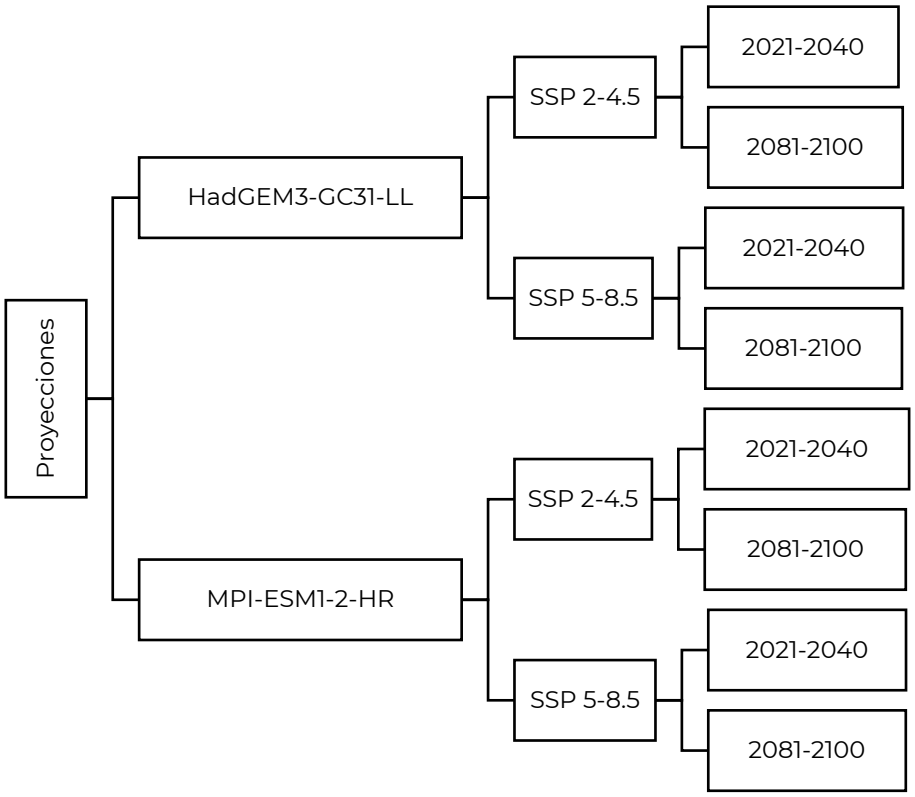


FIGURA 75. PROYECCIONES DE CAMBIO CLIMÁTICO SELECCIONADAS PARA EVALUAR LA VULNERABILIDAD.

Fuente: Elaboración propias con información del IPCC.

3.9.1. ESCENARIOS POR SECTOR: HÍDRICO, FORESTAL, AGRÍCOLA, BIODIVERSIDAD, SALUD Y SOCIOECONÓMICO.

Si bien los cambios proyectados en el clima de la tierra se darán a magnitudes y velocidades diferentes, según la escala espacial a la que se analicen, se han identificado los efectos actuales y a futuro que tendrá el cambio climático en diferentes sectores, con cierto nivel de confianza. A partir de los escenarios del AR6 considerados, se identificaron algunos efectos que los cambios en la temperatura y precipitación tendrán en diferentes sectores a nivel estatal.

Aproximadamente la mitad de la población mundial sufre de escasez de agua durante al menos un mes al año debido al clima y otros factores, ocasionando un impacto desproporcionado a sectores vulnerables de la población. Se espera que los riesgos asociados a las sequías e inundaciones, así como los daños que ocasionan estos fenómenos, se incrementan a medida que la temperatura global aumente. Los impactos del cambio climático relacionados con el agua afectarán a diferentes sectores económicos, ocasionado la disminución del producto interno bruto mundial (IPCC, 2022).

La mayoría de las proyecciones de cambio climático consideradas indican una disminución de la precipitación anual acumulada y un aumento de la temperatura. Este fenómeno representa una amenaza para la recarga de los acuíferos del estado en el futuro, y para los cuales, se calculó la vulnerabilidad ante el cambio climático.

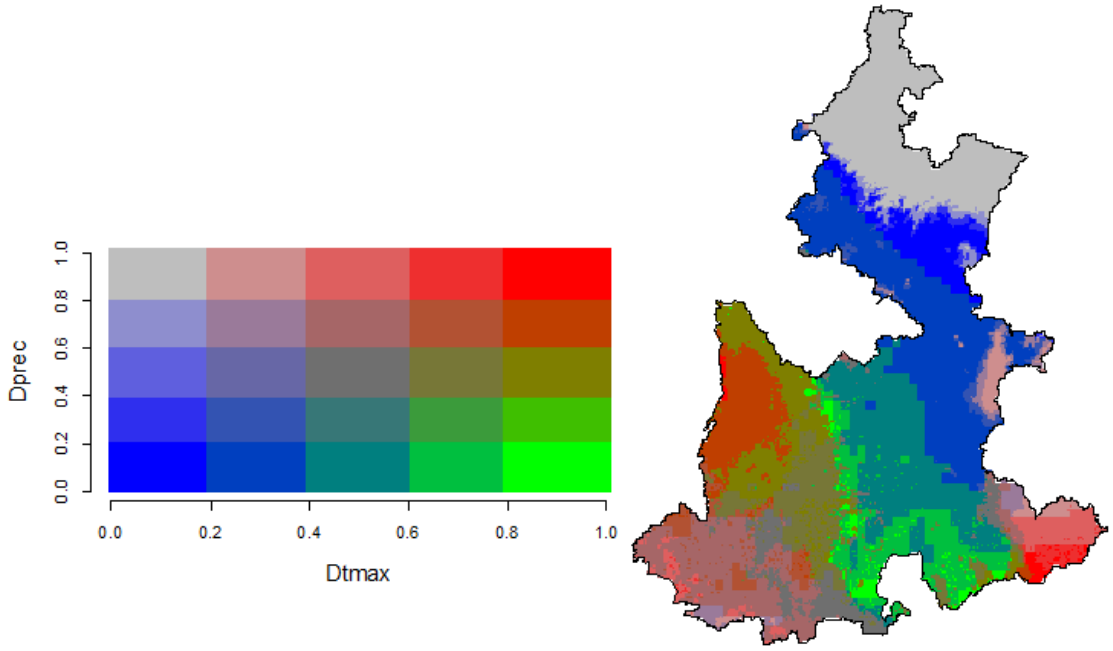


FIGURA 76. MAPA DE CAMBIO PROYECTADO EN LA TEMPERATURA MÁXIMA (DTMAX) Y PRECIPITACIÓN (DPREC) CON RELACIÓN AL PERIODO DE REFERENCIA, DE ACUERDO CON LA PROYECCIÓN HADGEM3-GC31-LL_SSP585_2041-2060.

Nota: la rampa de color indica los valores de cambio en la misma escala para cada variable. Las celdas en color rojo (esquina superior derecha) indican los mayores valores de cambio para ambas variables; las celdas en color azul (esquina inferior izquierda) indican los menores valores de cambio para ambas variables.

Fuente: Elaboración propias con base en HADGEM3-GC31-LL_SSP585_2041-2060.

El aumento a nivel global de la temperatura y la ocurrencia de eventos climáticos extremos como las sequías, olas de calor, así como los incendios, afectan a los bosques tropicales aumentando la mortalidad y reduciendo el crecimiento de los árboles, comprometiendo así su capacidad de regeneración. El cambio climático también ha alterado la estructura y la composición de especies de comunidades vegetales. Se prevé que el aumento de la temperatura, los fenómenos climáticos extremos, las sequías y los incendios afectarán la proporción y frecuencia de la disponibilidad de recursos forestales (IPCC, 2022).

De acuerdo con ocho proyecciones de cambio climático, aproximadamente el 24% de los 13,847 km^2 de comunidades vegetales identificadas como representativas del sector forestal del Estado, perderán idoneidad climática en

el futuro; esto es, que las variables climáticas que se presume determinan el nicho ecológico de las especies presentarán valores no análogos a los actuales, modificando potencialmente la distribución de los tipos de vegetación.

TABLA 26. PORCENTAJE DE LA SUPERFICIE DE LAS COMUNIDADES VEGETALES REPRESENTATIVAS DEL SECTOR CON PÉRDIDA DE IDONEIDAD CLIMÁTICA PROYECTADA.

CLAVE	TIPO DE VEGETACIÓN	% PÉRDIDA DE IDONEIDAD CLIMÁTICA
BA	Bosque de abies	91.1
BM	Bosque mesófilo de montaña	41.9
BPQP	Bosque de pino, encino, pino-encino y encino-pino	33.9
MC	Matorral crasicaule	36.3
MDR	Matorral desértico rosetófilo	60.5
SBC	Selva baja caducifolia	0.8

Fuente: Elaboración propia con base en la proyección HADGEM3-GC31-LL_SSP585_2041-2060.

Los impactos del cambio climático han afectado negativamente al sector agrícola, comprometiendo la capacidad de satisfacer las demandas alimenticias de la población. Durante los últimos 50 años, el calentamiento global ha frenado el crecimiento de la productividad de los cultivos en diferentes latitudes, y la frecuencia de pérdidas repentinas ha aumentado desde mediados del siglo XX. Se proyecta que áreas globales de cultivos pierdan su idoneidad climática de acuerdo con diferentes escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero que, junto con otros factores, pondrán a entre 8 y 80 millones de personas en riesgo de hambruna a mediados de este siglo (IPCC, 2022).

Se han presentado alteraciones en los ecosistemas del planeta. La pérdida de especies, el aumento de las enfermedades y los eventos de mortandad masiva de plantas y animales han conducido a un evento de extinción impulsada por el clima. En el futuro, se espera que continúen las alteraciones en la fenología, en los eventos estacionales, así como cambios en las distribuciones geográficas de plantas y animales. Los ecosistemas únicos y amenazados estarán en alto riesgo en el corto plazo, a niveles de calentamiento globales de 1.2°C, el cual se incrementará con cada décima de grado de calentamiento (IPCC, 2022).

El cambio proyectado en los valores de un conjunto de variables que presumiblemente representan a los factores abióticos del nicho ecológico de las especies, llamadas variables bioclimáticas, permite identificar cómo cambiará potencialmente la distribución geográfica de las especies en el futuro debido al cambio climático. De acuerdo con ocho proyecciones de cambio climático, aproximadamente 4815 km^2 de la superficie del estado de Puebla perderán idoneidad climática para entre 86 y 162 especies pertenecientes a diferentes grupos biológicos (Figura 77).

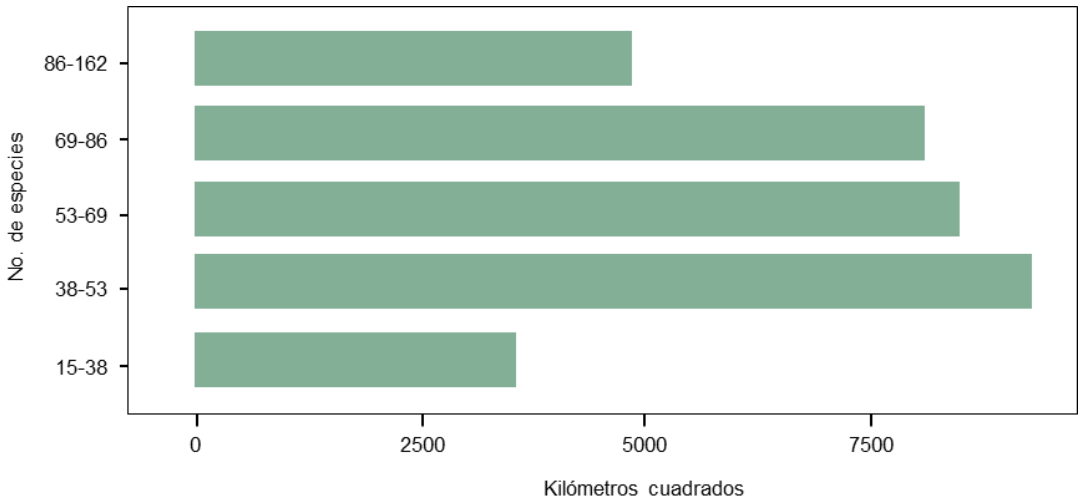


FIGURA 77. PÉRDIDA DE IDONEIDAD CLIMÁTICA PARA ESPECIES EN EL ESTADO DE PUEBLA.

Fuente: Elaboración propia con base en la proyección HADGEM3-GC31-LL_SSP585_2041-2060.

La salud física y mental de las personas ha sido afectada negativamente por los efectos del cambio climático. Las ondas de calor se han intensificado, agravando la contaminación del aire en las ciudades, han aumentado la mortalidad relacionada con el calor y contribuido a la expansión de vectores de enfermedades. Se prevé un aumento significativo en los problemas de salud y muertes prematuras a corto y mediano plazo a nivel global, con un exceso de mortalidad de 250000 muertes al año atribuibles a causas relacionadas con el clima, como el calor, la desnutrición, malaria y diarrea (IPCC, 2022).

Los cambios proyectados en la temperatura y precipitación del Estado tendrán efectos en la incidencia de enfermedades zoonóticas. Se prevé que la distribución geográfica de algunas especies de triatominos, chinches vectores de la tripanosomiasis americana, también conocida como enfermedad de Chagas, se modifique en el territorio estatal de acuerdo con ocho proyecciones de cambio climático.

TABLA 27. PORCENTAJES MÁXIMOS Y MÍNIMOS DE AUMENTO DE LA SUPERFICIE ESTATAL CON IDONEIDAD CLIMÁTICA DE VECTORES DE LA TRIPANOSOMIASIS AMERICANA EN EL ESTADO, DE ACUERDO CON OCHO PROYECCIONES DE CAMBIO CLIMÁTICO.

ESPECIE	% AUMENTO DE IDONEIDAD CLIMÁTICA	
	MÁXIMO	MÍNIMO
Dipetalogaster máxima	40.3	12.7
Rhodnius prolixus	433.2	88.2
Triatoma barberi,	36.4	6.6
Triatoma gerstaeckeri	42.4	0.8
Triatoma mexicana	151.1	15.5
Triatoma nítida	801.7	73.3
Triatoma protracta	0	0
Triatoma rubida	58188.8	111.1

Fuente: Elaboración propia con base en la proyección HADGEM3-GC31-LL_SSP585_2041-2060

3.9.2. ACTUALIZACIÓN DEL ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD, RIESGO Y RESILIENCIA.

La vulnerabilidad al cambio climático es un concepto complejo que involucra diferentes factores. En la Ley General de Cambio Climático se define como el "nivel a que un sistema es susceptible, o no es capaz de soportar los efectos adversos del Cambio Climático, incluida la variabilidad climática y los fenómenos extremos."

La evaluación de la vulnerabilidad es un proceso esencial para comprender y abordar los riesgos asociados con el cambio climático, garantizar la adaptación y aumentar la resiliencia de las comunidades y ecosistemas. Existen diferentes marcos conceptuales y aproximaciones para evaluar la vulnerabilidad de diferentes sectores ante este fenómeno, cada una de los cuales enfatiza diferentes aspectos. Ya sea bajo una perspectiva biofísica, socioeconómica, o bajo un enfoque integrado, cada una sustentada en diferentes metodologías particulares para su análisis (Bruno Soares et al., 2012), las evaluaciones en general consideran tres atributos de los sistemas analizados: la exposición, como componente externo, representada por el cambio en el clima, la sensibilidad, y la capacidad adaptativa del sistema, como componentes internos de este (Thornton et al., 2014; Gumel, 2022).

Para el desarrollo del presente Programa se usó la aproximación que la define como una función del carácter, la magnitud, la tasa de cambio y variación climática a los que está expuesto un sistema, la sensibilidad y la capacidad de adaptación que presenta el sistema (Parry et al., 2007). De acuerdo con el marco teórico establecido por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) (IPCC, 2007), la vulnerabilidad se calculó considerando tres componentes: a) exposición, b) sensibilidad y c) capacidad adaptativa mediante la fórmula:

Vulnerabilidad = (Exposición + Sensibilidad) - Capacidad adaptativa

La exposición se define como la magnitud, carácter y velocidad de las variaciones climáticas que afectan un sistema; la sensibilidad es el grado en que el sistema es afectado por la variabilidad climática y el cambio climático debido a las características que lo definen, y la capacidad adaptativa como aquellos recursos, capital humano e instrumentos que representan una mayor posibilidad de adaptación (INECC 2019). Esta aproximación ha sido usada en diferentes instrumentos en la materia, como el Atlas Nacional de Vulnerabilidad al Cambio Climático (ANVCC[20]) y la Estrategia Estatal de Cambio Climático 2021-2030 de Puebla[21].

[20] https://atlasvulnerabilidad.inecc.gob.mx/
[21] https://smadsot.puebla.gob.mx/images/Publicacion_de_la_Estrategia_Estatal_de_Cambio_Climatico_2021-2030_T2_04042022.pdf

Una característica importante de las evaluaciones de vulnerabilidad realizadas para el presente Programa es la representación espacialmente explícita. El conocer la distribución espacial de los criterios y resultados de los análisis, así como su representación en mapas, resulta de suma importancia ya que permite identificar regiones ("hotspots") donde el sistema, o alguno de sus elementos, son particularmente vulnerables, apoya a la formulación de políticas públicas, y permite priorizar y eficientizar los esfuerzos de adaptación (Preston et al., 2011).

Mediante esta aproximación, se identificó la vulnerabilidad de diferentes Elementos Clave del Territorio (ECT) representativos de los sectores hídrico, forestal, agrícola, biodiversidad. Los ECT son elementos bióticos y abióticos considerados relevantes por su presencia y representatividad en el territorio, por la relevancia de los servicios ecosistémicos que proveen a la sociedad, las amenazas actuales a las que están expuestos y su estado de conservación, así como por los impactos que potencialmente tendrá el cambio climático sobre ellos. Mediante diferentes fuentes y métodos, se identificaron ECT representativos para los sectores mencionados, así como delimitaciones de interés, representadas por cuerpos de agua, áreas naturales protegidas, subcuencas hidrográficas y humedales de importancia internacional. A partir de los ETC, se identificaron Objetos de Conservación Socio-Ambientales (OCSA) de forma participativa, en los talleres realizados en las macrorregiones del estado en el marco del proceso de socialización del PROAIRE-PEACC.

Los OCSA son definidos por CONANP-PNUD (2021) como "elementos focales de conservación, con una contribución muy relevante en el mantenimiento de los ecosistemas o en la generación de servicios ecosistémicos críticos, de los cuales se benefician las comunidades humanas de la región. Adicionalmente, los OCSA, son elementos que son vulnerables al cambio climático y/o de los cuales se deriva la vulnerabilidad de las comunidades humanas. Pueden ser ecosistemas que contribuyen a amortiguar los impactos asociados al cambio climático, por ejemplo: manglares como infraestructura verde de protección a los eventos meteorológicos extremos".

A diferencia de los instrumentos en materia de cambio climático existentes para el Estado, el presente Programa representa una actualización al usar los escenarios de cambio climático generados en el marco del proyecto de intercomparación de modelos de clima acoplados fase 6 (CMIP6) incorporados en el Sexto Informe de Evaluación del IPCC (AR6).

La gran cantidad de escenarios disponibles impone la necesidad de hacer una selección de un numero manejable para realizar estudios de vulnerabilidad y adaptación. Para identificar la exposición del estado al cambio climático, se seleccionaron 72 proyecciones dadas por la combinación de 6 Modelos de Circulación General (MCG): a) CNRM-CM6-1, b) HadGEM3-GC31-LL, c) INM-CM4-8, d) MIROC-ES2L, e) MPI-ESM1-2-HR, y f) MRI-ESM2-0; 3 SSP: a) SSP 2-4.5, b) SSP

3-7.0 y c) SSP 5-8.5; y cuatro horizontes temporales (HT): a) 2021-2040, b) 2041-2060, c) 2061-2080, y d) 2081-2100. Estas fueron obtenidas del conjunto de datos climáticos WorldClim[22], las cuales son distribuidas en formato raster y tienen una resolución espacial de ~1 km, que es adecuada para para la escala del estado. De estas 72 proyecciones se realizó una subselección de ocho para calcular la vulnerabilidad de los ECT identificados (Figura 76), las cuales cubren el rango de posibles trayectorias (Lutz et al., 2016) y son de los más utilizados por la comunidad climática (Joyce y Coulson, 2020; San José et al., 2016).

La ley General de Cambio Climático (SEMARNAT, 2012) define a la resiliencia como la "Capacidad de los sistemas naturales o sociales para recuperarse o soportar los efectos derivados del cambio climático." En un sentido más amplio, es un enfoque que presenta una forma para guiar y organizar el pensamiento, generada a partir de la observación, utilizando modelos como herramienta de comprensión, la incorporación de actores y grupos de interés en la gestión adaptativa, así como el aprendizaje de los procesos ecosistémicos y la incorporación de las ciencias sociales para entender la dinámica de los sistemas socio-ecológicos (Folke, 2006).

Tomando como base los resultados de las evaluaciones de la vulnerabilidad ante al cambio climático de los diferentes sectores del Estado, se generaron una serie de medidas de adaptación. Estas medidas, que se pueden consultar, tanto en el capítulo 6 de este escrito como en el documento "ESTRATEGIAS, MEDIDAS Y LÍNEAS DE ACCIÓN". basadas tanto en ecosistemas, como en infraestructura y comunidades, tienen el objetivo de disminuir la vulnerabilidad y aumentar la resiliencia de los diferentes sectores, incrementando la capacidad adaptativa y/o disminuyendo la sensibilidad de los ECT y OCSA evaluados, por medio de las acciones propuestas.

Para mayor información de este capítulo, consultar los documentos electrónicos "DIAGNÓSTICO Y TENDENCIA DE LA CALIDAD DEL AIRE" y "ANÁLISIS HISTÓRICO DEL CLIMA y DIAGNÓSTICO CLIMÁTICO" en el sitio WEB https://calidaddelaire.puebla.gob.mx/views/principal.php.

[22] https://www.worldclim.org/

4

Análisis de factores y fuentes que afectan la calidad del aire y exacerban el cambio climático

4. ANÁLISIS DE FACTORES Y FUENTES QUE AFECTAN LA CALIDAD DEL AIRE Y EXACERBAN EL CAMBIO CLIMÁTICO.

4.1. CAMBIOS DE LOS PRINCIPALES FACTORES QUE AFECTAN LA CALIDAD DEL AIRE

La calidad del aire en el estado de Puebla está influenciada por la dinámica atmosférica de las localidades y Zonas Metropolitanas (ZM) para dispersar o concentrar la carga de emisiones contaminantes definida por los factores de presión, como: el crecimiento poblacional, la cantidad de vehículos, el número de unidades económicas, el consumo energético, entre otras. Figura 78.

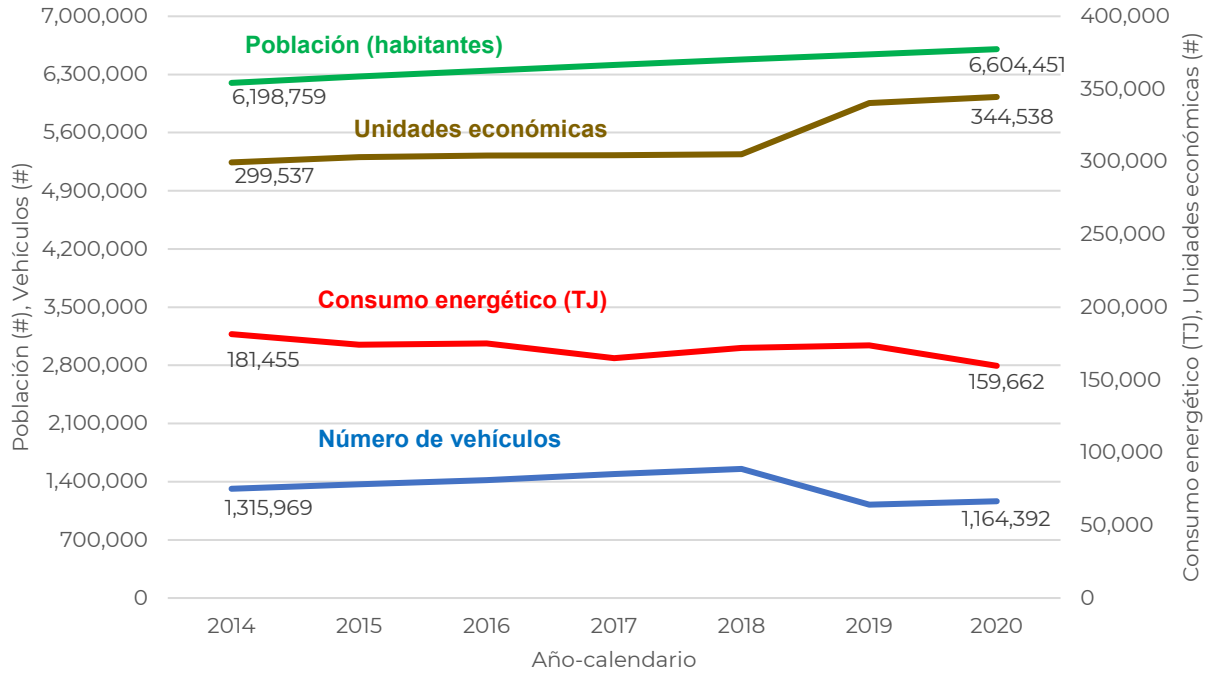


FIGURA 78. TENDENCIA DE LOS PRINCIPALES FACTORES DE PRESIÓN QUE AFECTAN LA CALIDAD DEL AIRE, 2014-2020

Fuente: Elaborada con datos de: CONAPO consultado 07/2022 en http://www.conapo.gob.mx/work/models/CONAPO/Mapa_Ind_Dem18/index.html
DENUE consultado 07/2022 en https://www.inegi.org.mx/app/descarga/?ti=6
SENER consultado 07/2022 en https://sie.energia.gob.mx/bdiController.do?action=temas
INEGI consultado 07/2022 en https://www.inegi.org.mx/programas/vehiculosmotor/#Datos_abiertos

En la Figura 78 podemos observar que, aunque del año 2014 al 2020 la población y el número de unidades económicas mantuvieron una tendencia de crecimiento, tanto el consumo energético como el número de vehículos automotores, registraron una tendencia decreciente. En este periodo la población creció 6.5% y el número de unidades económicas aumentó un 15%; por otro lado, el consumo energético disminuyó un 12% y el número de vehículos un 11.5%.

Es importante mencionar que la evolución del consumo energético es diferente para cada combustible; por ejemplo, mientras la tendencia 2014-2020 del consumo de gas LP, gasolina y diésel disminuyó, la del gas natural aumentó, ver Figura 79.

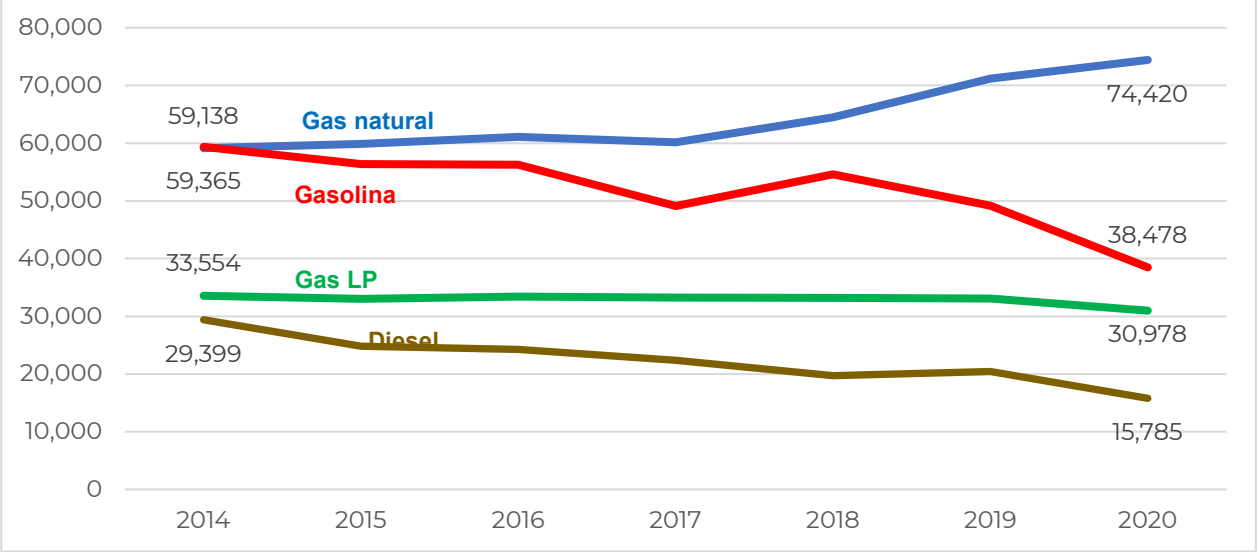


FIGURA 79. TENDENCIA 2014-2020 DEL CONSUMO ENERGÉTICO EN EL ESTADO DE PUEBLA POR TIPO DE COMBUSTIBLE

Fuente: Elaborada con datos de:
SENER consultado 07/2022 en https://sie.energia.gob.mx/bdiController.do?action=temas

4.2. FACTORES DE PRESIÓN QUE AFECTAN LA CALIDAD DEL AIRE

La calidad del aire que se respira en cualquier localidad del estado de Puebla, la define principalmente el balance dinámico entre las emisiones contaminantes generadas por los diferentes factores de presión (crecimiento poblacional, vehicular y de consumo energético) y la dinámica atmosférica de la localidad para eliminar o reducir la carga de emisiones. Dado que también pueden sumarse factores adversos de la localidad como su altitud, su relieve orográfico y la radiación solar que recibe.

Dentro de los principales factores de presión donde se puede incidir para mejorar la calidad del aire que se respira cotidianamente en las localidades y zonas metropolitanas del estado de Puebla, entre otros, está el consumo energético relacionado con la generación de emisiones debido a la quema de gasolina, diésel, gas natural, gas LP y leña. Y de estos combustibles, se estima que en el año 2016 se consumieron 194 PJ, el cual se redujo en el año 2020 a 181.3 PJ, lo cual podría indicarnos que tal vez las emisiones contaminantes generadas por el consumo energético en el año 2016 se redujeron en el año 2020.

Al relacionar cada combustible consumido en el año 2020 con su sector más demandante, se tiene que la industrial con el gas natural es el mayor consumidor con 74.4 PJ (41%), le sigue en orden de mayor consumidor al sector residencial con el gas LP y la Leña con una demanda de 52.6 PJ (29%) y por último el sector vehicular con la gasolina y el diésel con un consumo de 54.3 PJ (30%). Ver Figura 80. Las fuentes emisoras registradas en el estado de Puebla en el año 2020 asciende a: 344,538 unidades económicas (fuentes fijas), de las cuales 53,452 son empresas manufactureras; 1,164,362 vehículos automotores (fuentes móviles) y 1,713,865 viviendas habitadas (fuentes de área).

Una unidad económica es un establecimiento (desde una pequeña tienda o local hasta una gran fábrica) asentado en un lugar de manera permanente y delimitado por construcciones e instalaciones fijas, donde se realiza la producción, comercialización de bienes y/o servicios.

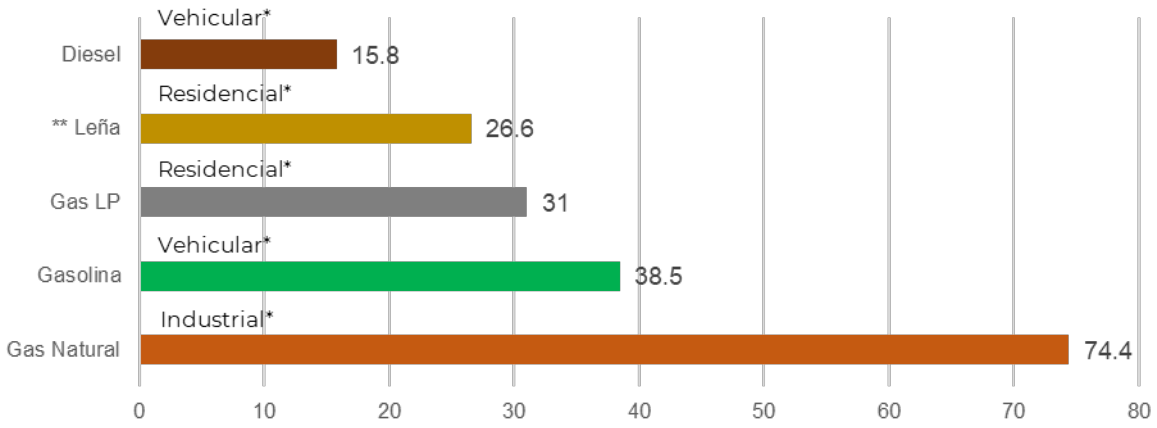


FIGURA 80. CONSUMO ENERGÉTICO POR TIPO DE COMBUSTIBLE, 2020

* Sector más demandante del combustible
** Estimado con base al consumo nacional de leña y con el número de viviendas a nivel nacional y estatal que utilizan leña.
Fuente: Elaborada con datos de SENER consultado 07/2022 (https://sie.energia.gob.mx/bdiController.do?action=temas) e INEGI 2021/ENIGH 2020.

4.2.1. Unidades económicas

A diferencia del parque vehicular y su consumo energético donde la tendencia en el periodo 2014-2020 es decreciente, el número de unidades económicas y el consumo energético de gas natural aumentaron en un 15% y 26% respectivamente (Figura 81). Lo cual está directamente relacionado con un aumento en la generación de emisiones de este sector.

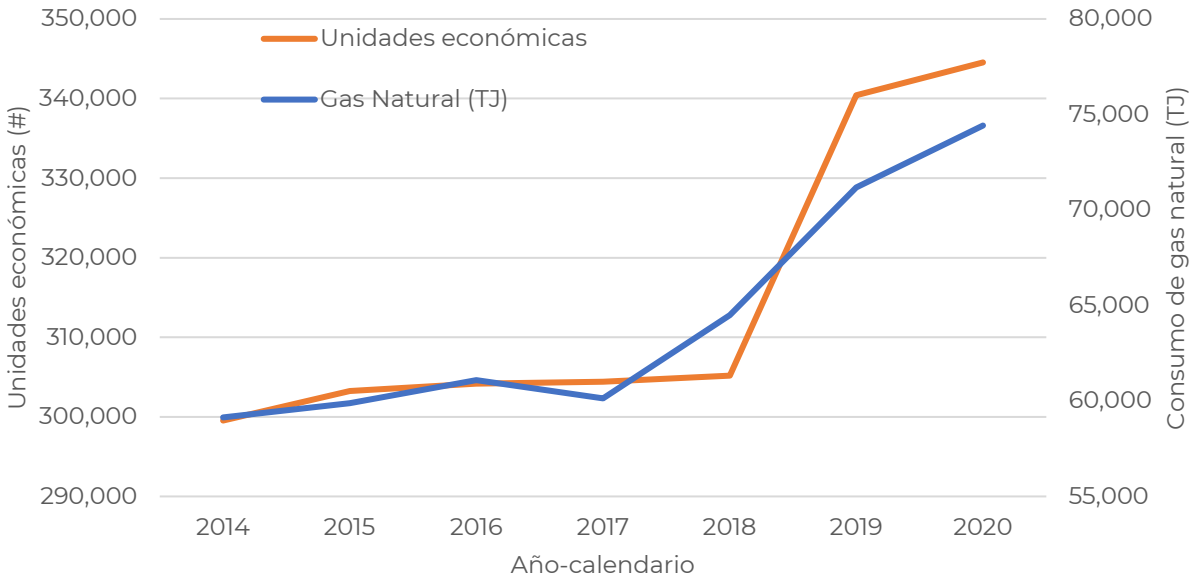


Figura 81. Tendencia del número de unidades económicas y del consumo de gas natural, 2014-2020

Fuente: Elaboración propia con base en:

DENUE consultado 07/2022 en https://www.inegi.org.mx/app/descarga/?ti=6
SENER consultado 07/2022 en https://sie.energia.gob.mx/bdiController.do?action=temas

En el estado de Puebla en el año 2020, estaban registradas 344,538 unidades económicas, de estas 288,539 son comercios y servicios; 326 están relacionadas con la agricultura, cría y explotación de animales, aprovechamiento forestal, pesca y caza; 548 están relacionadas con la minería; 526 con la generación, transmisión, distribución y comercialización de energía eléctrica, suministro de agua y de gas natural por ductos al consumidor final; 1,147 con la construcción y 53,452 son empresas manufactureras (DENUE, 2021).

Comercios y servicios

Debido al aumento de las unidades económicas, hay una participación de estos sectores cada vez mayor en la economía poblana y se han concentrado principalmente en las zonas urbanas del estado. Las cantidades de actividades

económicas dedicadas al comercio y los servicios publicadas por el INEGI en el Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE), muestran un aumento de más del 13% del año 2014 al 2020 pasando de 255,656 a 288,539 unidades. Tabla 28.

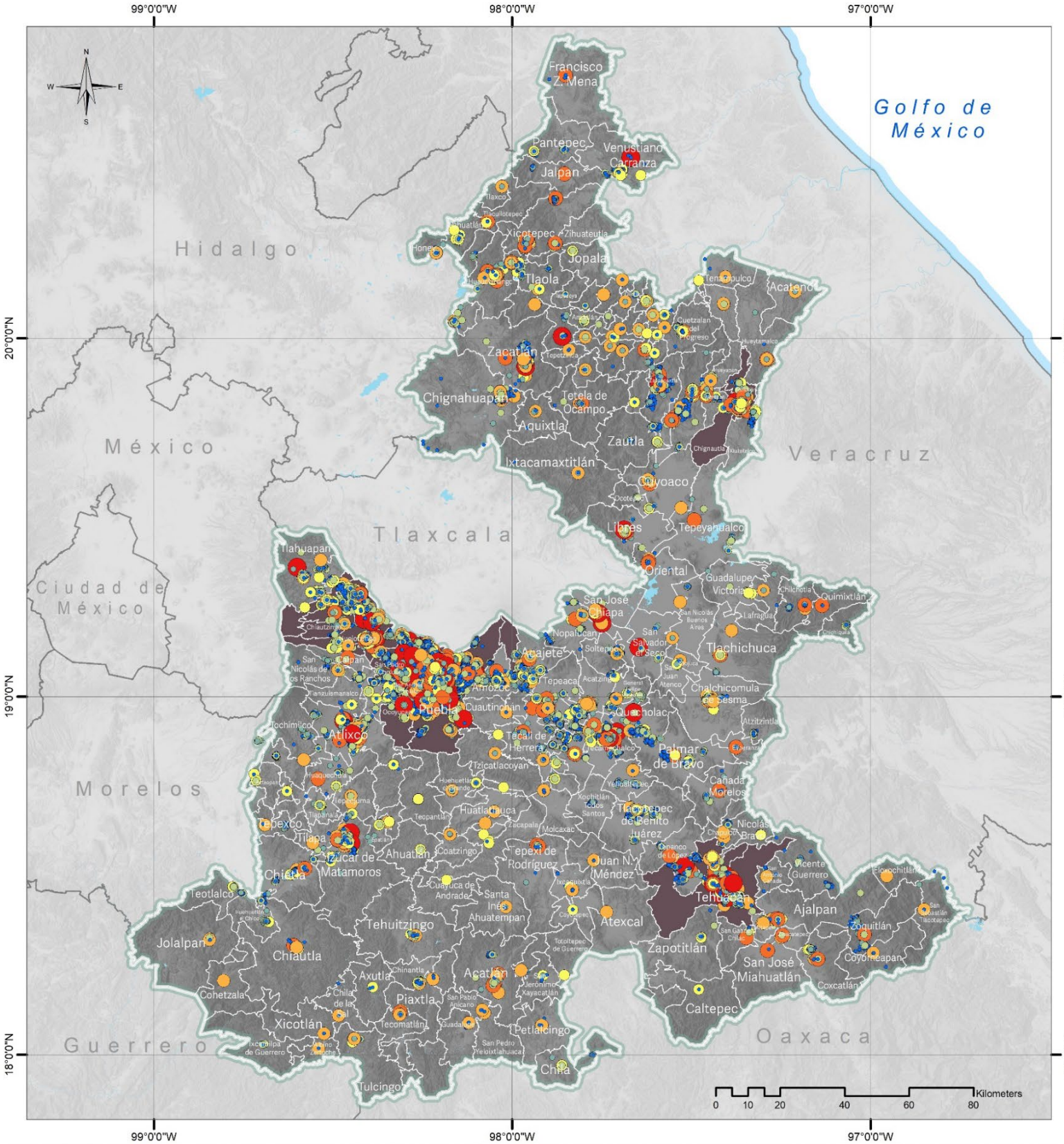
TABLA 28. UNIDADES ECONÓMICAS DE LOS AÑOS 2014 Y 2020

CÓDIGO SCIAN	NOMBRE DE LA ACTIVIDAD O UNIDAD ECONÓMICA	NO. DE UNIDADES ECONÓMICAS	
		2014	2020
11	Agricultura, cría y explotación de animales, aprovechamiento forestal, pesca y caza	303	326
21	Minería	614	548
22	Generación, transmisión, distribución y comercialización de energía eléctrica, suministro de agua y de gas natural por ductos al consumidor final	495	526
23	Construcción	1,117	1,147
31-33	Industrias manufactureras	45,047	53,452
43,46, 48, 49, 51-56,61, 62,71 872, 81, 93	**Comercios y servicios**	**255,656**	**288,539**
	Total	**303,232**	**344,538**

Fuente: Elaborada con datos del DENUE 2015 y 2021 consultado 07/2022 en https://www.inegi.org.mx/app/descarga/?ti=6

De las unidades económicas registradas por el DENUE en el año 2020, cerca del 84% (288,539) pueden ser consideradas como actividades comerciales y de servicio, las cuales se ubican de manera dispersa en las Zonas Metropolitanas y localidades urbanas de la entidad (Mapa 042).

De las actividades que se realizan en estos sectores, las que más impactan en la calidad del aire son, la venta de gasolina en las estaciones de servicio, el repintado de autos usados, el lavado en seco de la ropa en lavanderías y tintorerías, el uso de combustibles para el calentamiento de agua y/o cocción de alimentos en hoteles y otros servicios como restaurantes, taquerías, etc. La gran mayoría de estos servicios de manera individual no generan emisiones significativas, y solo de manera conjunta es como su aporte de contaminantes contribuyen a la mala calidad del aire que se respira en los principales asentamientos urbanos.



Simbología

- Zonas metropolitanas
- Límite municipal
- Cuerpos de agua
- Límite del Estado de Puebla
- Límite estatal
- Municipios del Estado de Puebla

Comercios y servicios

- 0 a 5 personas
- 6 a 10 personas
- 11 a 30 personas
- 31 a 50 personas
- 51 a 100 personas
- 101 a 250 personas
- 251 y más personas



M042. Unidades Económicas dedicadas al Comercio y los Servicios

Fuente: Elaboración Propia con datos del DENUE 2021 consultado 07/2022 en https://www.inegi.org.mx/app/descarga/?ti=6
Mapa Base: Marco Geoestadistico diciembre 2021, Estado de Puebla, INEGI.

Coordinate System: MEXICO ITRF 2008 LCC
Projection: Lambert Conformal Conic 2SP
Datum: ITRF 2008

4.2.2. Industrias manufactureras

De acuerdo con el Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE) publicado por el INEGI en el año 2021 en el estado de Puebla, se tienen registrados 53,452 establecimientos industriales del sector manufacturero; y de estos la mayor parte son micro o pequeñas empresas, dado que un poco más del 90% son establecimientos que cuentan con hasta 5 empleados, casi el 5% tiene entre 6 y 10 empleados, el 2.7% ocupan de 11 a 30 empleados y el 0.8% de 31 a 50 empleados; en orden de importancia por el número de empleados (51 a 100) tenemos las empresas medianas con el 0.4%; y solo el 0.6% de las industrias manufactureras que requieren de más de 100 empleados son consideradas grandes empresas y las que podrían considerarse con un mayor potencial de generación de emisiones contaminantes (Tabla 29).

Tabla 29. Tamaño de la industria manufacturera

TAMAÑO DE LOS ESTABLECIMIENTOS	RANGO DEL PERSONAL OCUPADO	CANTIDAD DE INDUSTRIAS DEL SECTOR MANUFACTURERO	
		NÚMERO	%
Micro	0 a 5 personas	48,586	90.9%
	6 a 10 personas	2,479	4.6%
Pequeña	11 a 30 personas	1,444	2.7%
	31 a 50 personas	411	0.8%
Mediana	51 a 100 personas	194	0.4%
Grande	101 a 250 personas	186	0.3%
	251 y más personas	152	0.3%
Total		**53,452**	**100.0%**

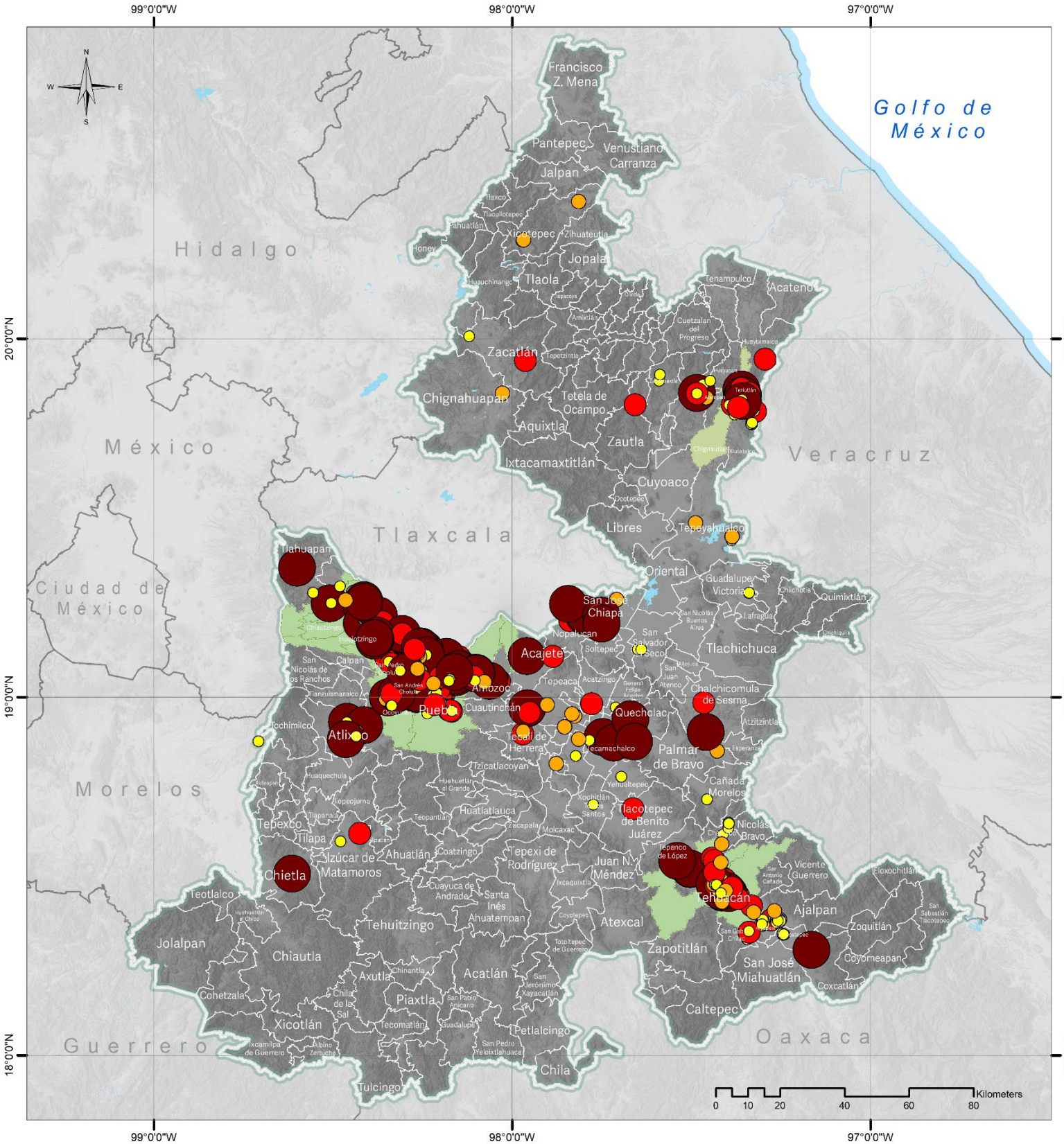
Fuente: Elaborada con datos del DENUE 2021 consultado 07/2022 en https://www.inegi.org.mx/app/descarga/?ti=6.

Referente a la ubicación geográfica de las industrias manufactureras Poblanas, el 51% se localizan en 16 municipios, de los cuales 5 pertenecen a la Zona Metropolitana de Puebla-Tlaxcala-Amozoc (ZM Puebla-Tlaxcala-Amozoc), uno a la Zona Metropolitana de Tehuacán (ZM Tehuacán) y uno a la Zona metropolitana de Teziutlán (ZM Teziutlán). Tabla 30 y Mapa 037.

Tabla 30. Municipios con el mayor número de industrias manufactureras

ZONA METROPOLITANA	MUNICIPIO	ESTABLECIMIENTOS MANUFACTUREROS		
		NÚMERO	PORCENTAJE	% ACUMULADO
ZM Puebla-Tlaxcala	Puebla	7,539	14.1%	14.1%
ZM Tehuacán	Tehuacán	3,787	7.1%	21.2%
	Ajalpan	2,455	4.6%	25.8%
ZM Puebla-Tlaxcala	San Pedro Cholula	2,068	3.9%	29.7%
	Tlacotepec de Benito Juárez	1,587	3.0%	32.6%
ZM Puebla-Tlaxcala	San Martín Texmelucan	1,158	2.2%	34.8%
	Amozoc	1,107	2.1%	36.9%
ZM Teziutlán	Teziutlán	1,059	2.0%	38.8%
	Atlixco	935	1.7%	40.6%
	Altepexi	923	1.7%	42.3%
	San Salvador el Seco	886	1.7%	44.0%
	Tepeaca	852	1.6%	45.6%
ZM Puebla-Tlaxcala	Coronango	806	1.5%	47.1%
	Teopantlán	720	1.3%	48.4%
	Zautla	701	1.3%	49.7%
ZM Puebla-Tlaxcala	San Andrés Cholula	697	1.3%	51.0%

Fuente: Elaborada con datos del DENUE 2021 consultado 07/2022 en https://www.inegi.org.mx/app/descarga/?ti=6



Simbología

- Límite municipal
- Cuerpos de agua
- Límite del Estado de Puebla
- Límite estatal
- Municipios del Estado de Puebla
- Zonas metropolitanas

Industria Manufacturera
Personas que ocupa

- 31 a 50 personas
- 51 a 100 personas
- 101 a 250 personas
- 251 y más personas



M037. Industria manufacturera con más de 30 empleados

Fuente: Elaboración Propia.
Mapa Base: Marco Geoestadistico diciembre 2021, Estado de Puebla, INEGI.

Coordinate System: MEXICO ITRF 2008 LCC
Projection: Lambert Conformal Conic 2SP
Datum: ITRF 2008

4.2.3. LADRILLERAS

Con base a los resultados del INEM-2016, tenemos que, uno de los sectores relevantes en la generación de contaminantes y sobre todo de partículas PM_{10} y $PM_{2.5}$, es la fabricación de ladrillos. En el estado de Puebla al año 2020, se tenían registradas 1,984 ladrilleras, y de estas cerca del 96% se ubican en 5 municipios (54.1% en San Pedro Cholula, casi el 27% en Coronango, 8% en Juan C. Bonilla, 4.1% en Ajalpan y 2.6% en Chignahuapan). Tabla 31, DENUE 2021.

Es importante mencionar, que indicar un número confiable de ladrilleras es complicado, debido a que hay muchas que operan temporalmente y se mueven constantemente de ubicación, además de que el nivel de informalidad con el que operan dificulta su registro formal ante la autoridad local.

TABLA 31. LADRILLERAS REGISTRADAS POR MUNICIPIO

MUNICIPIO	LADRILLERAS	
	NÚMERO	PORCENTAJE
San Pedro Cholula	1,074	54.1%
Coronango	534	26.9%
Juan C. Bonilla	159	8.0%
Ajalpan	81	4.1%
Chignahuapan	51	2.6%
Otros municipios	85	4.3%
Total	**1,984**	**100.0%**

Fuente: Elaborada con datos del DENUE 2021 consultado 07/2022 en https://www.inegi.org.mx/app/descarga/?ti=6

Un elemento estratégico para mejorar la calidad del aire es reducir las emisiones generadas por la fabricación de ladrillos (Ladrilleras), debido a que son fuentes que en sus procesos queman combustibles como la leña, lo que genera grandes cantidades de material particulado PM_{10} y $PM_{2.5}$.

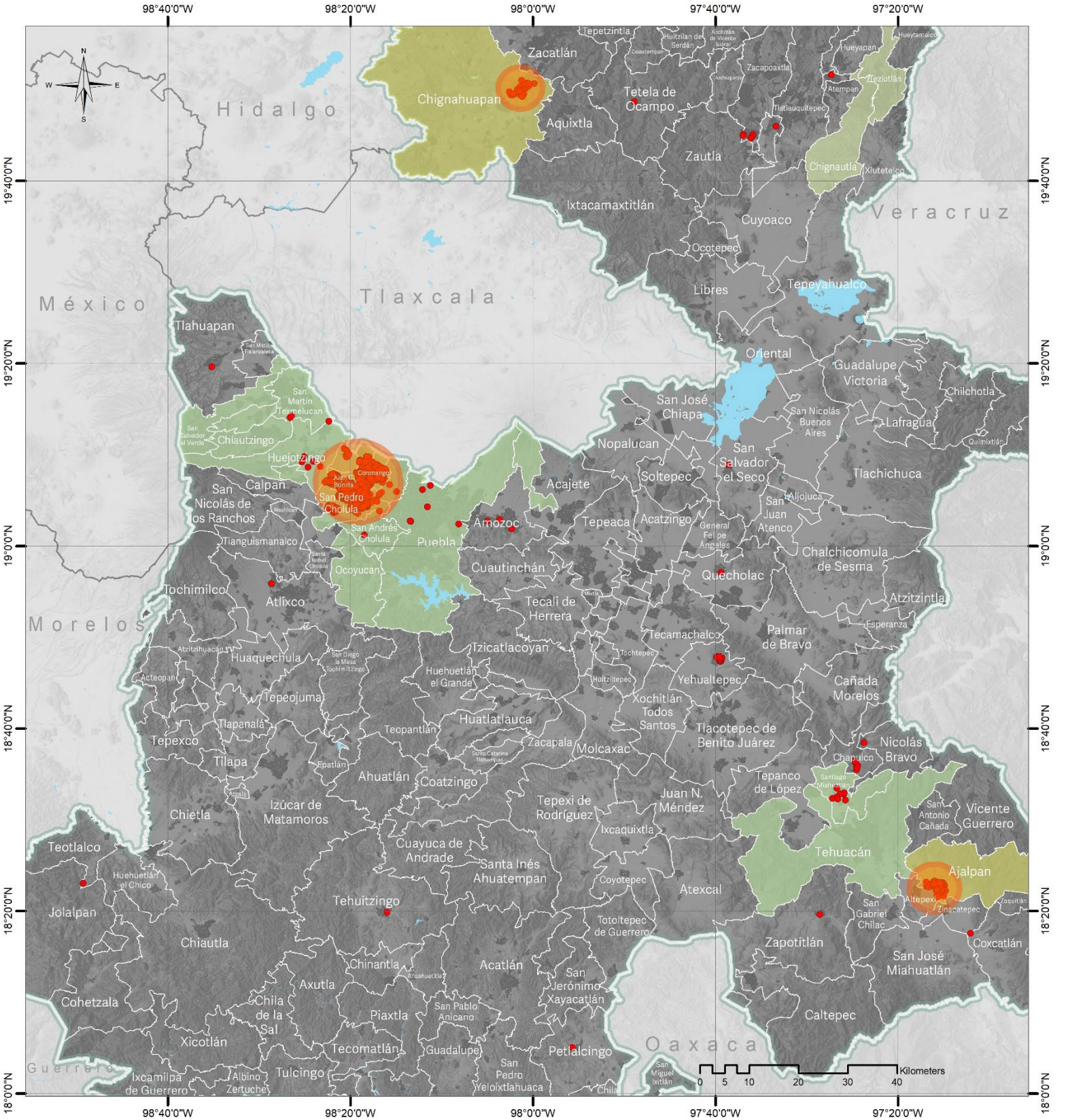
Por ejemplo, considerando que las ladrilleras ubicadas en el estado de Puebla en cada horneada tienen una producción media de 22,879 ladrillos que en peso equivalen a 52.6 toneladas, tenemos que por la quema de combustible (madera) para producir esta cantidad de ladrillos se pueden generar un poco más de 17 kilogramos de partículas PM_{10}, un poco más de 11 kilogramos de COV, entre otros contaminantes (Tabla 32).



Ladrillera de la Región Cholula.



Ladrillera de la Región Cholula.



Simbología

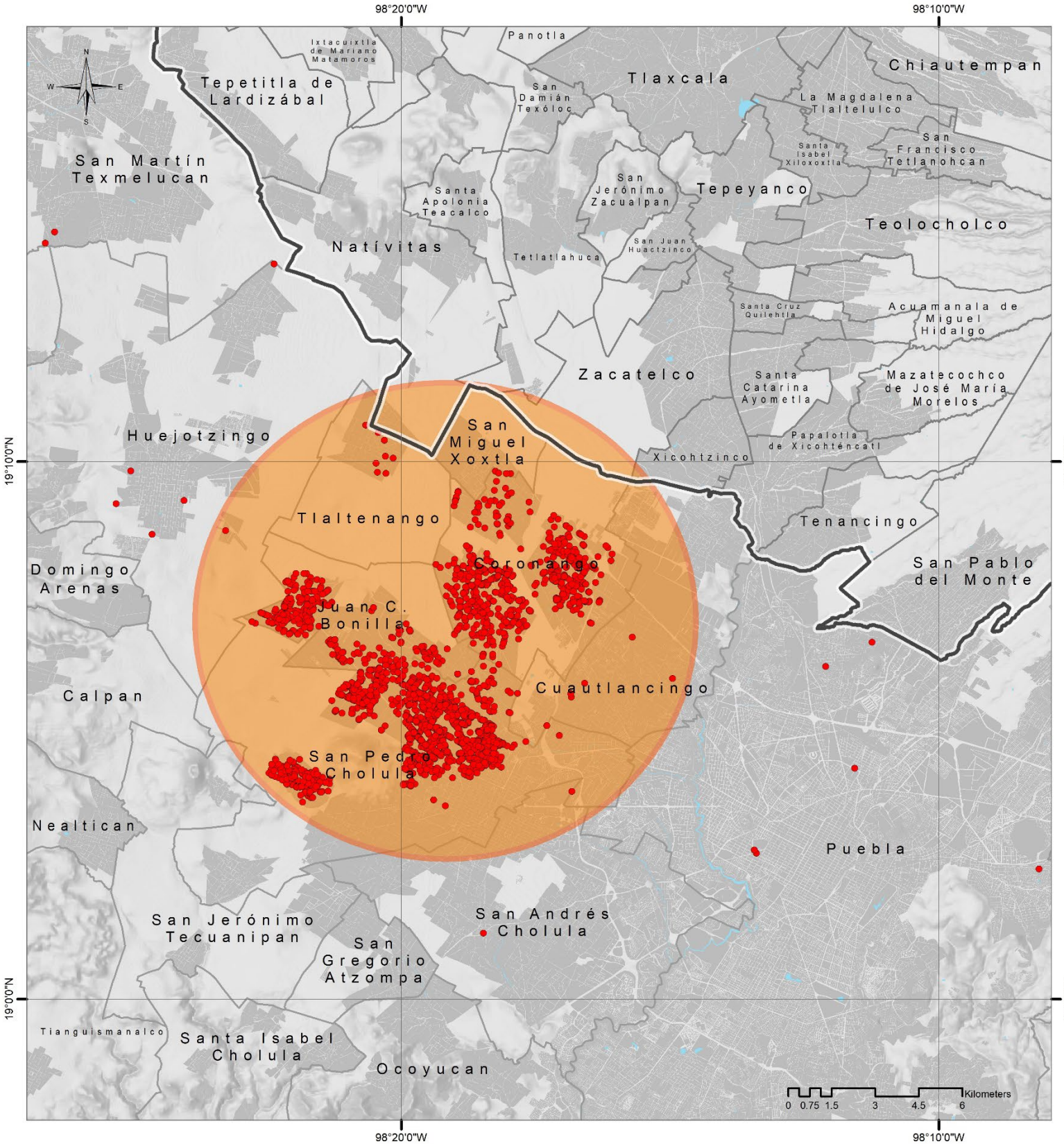
- Límite municipal
- Mancha urbana
- Cuerpos de agua
- Límite del Estado de Puebla
- Límite estatal
- Municipios del Estado de Puebla
- Ladrilleras
- Zona de ubicación masiva de ladrilleras
- Zonas metropolitanas
- Ajalpan y Chignahuapan



M038. Ubicación geográfica de ladrilleras

Fuente: Elaboración Propia con datos del DENUE 2021 consultado 07/2022 en https://www.inegi.org.mx/app/descarga/?ti=6.
Mapa Base: Marco Geoestadistico diciembre 2021, Estado de Puebla, INEGI.

Coordinate System: MEXICO ITRF 2008 LCC
Projection: Lambert Conformal Conic 2SP
Datum: ITRF 2008



Simbología

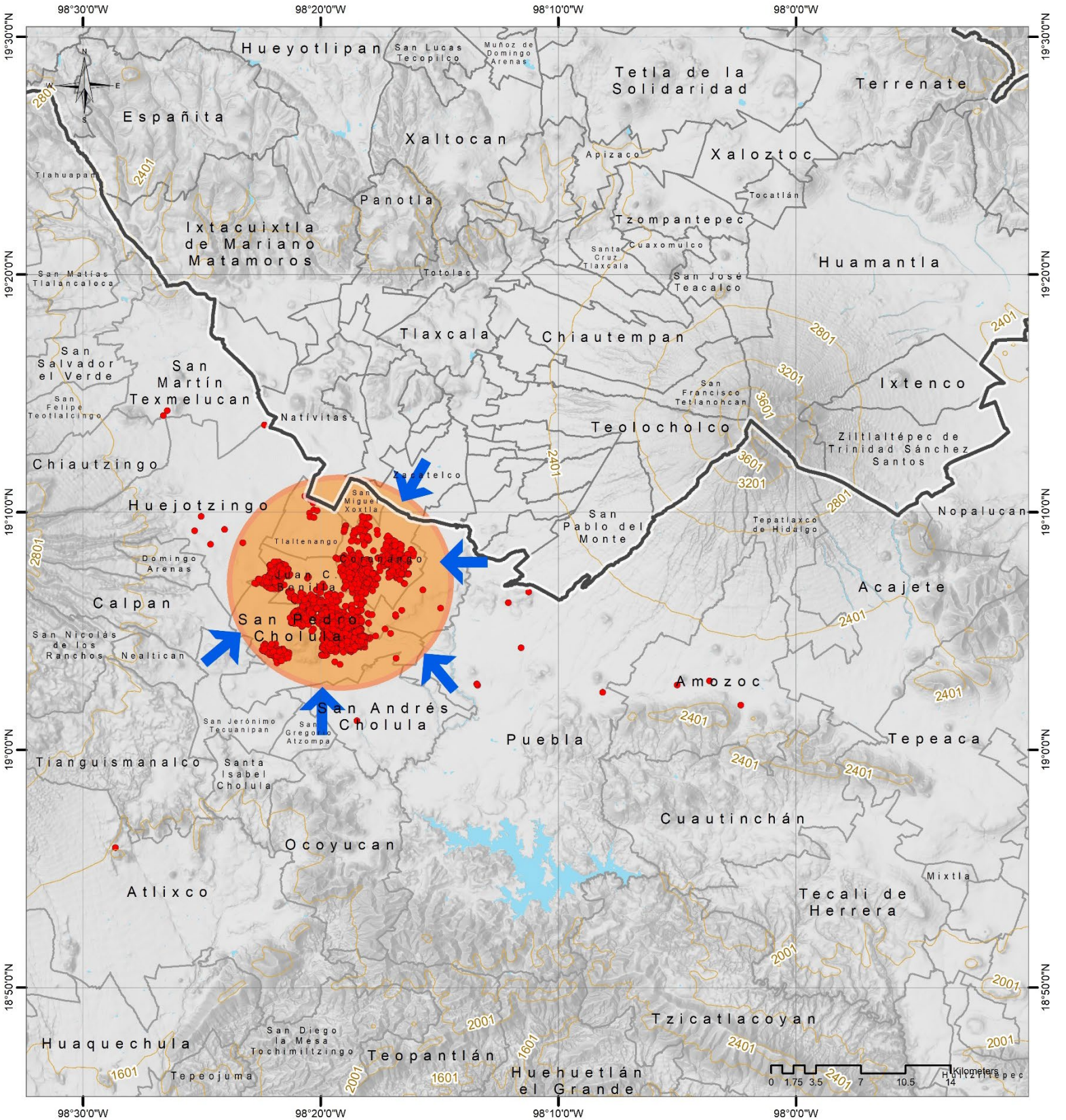
- Ladrilleras
- Zona de ubicación masiva de ladrilleras
- Límite municipal
- Cuerpos de agua
- Límite del Estado de Puebla
- Mancha urbana
- Límite estatal



M039. Ladrilleras, Zona Metropolitana Puebla-Tlaxcala

Fuente: Elaboración Propia con datos del DENUE 2021 consultado 07/2022 en https://www.inegi.org.mx/app/descarga/?ti=6.
Mapa Base: Marco Geoestadistico diciembre 2021, Estado de Puebla, INEGI.

Coordinate System: MEXICO ITRF 2008 LCC
Projection: Lambert Conformal Conic 2SP
Datum: ITRF 2008



Simbología

- Zona de ubicación masiva de ladrilleras
- Límite municipal
- Cuerpos de agua
- Límite del Estado de Puebla
- Límite estatal
- Ladrilleras
- Curvas de nivel a cada 400 msnm
- Dirección de vientos dominantes



M040. Ladrilleras y Vientos dominantes de la Zona

Fuente: Elaboración propia con datos del DENUE 2021 consultado 07/2022 en https://www.inegi.org.mx/app/descarga/?ti=6 y con datos de la NASA POWER consultado 08/2022 https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/

Coordinate System: MEXICO ITRF 2008 LCC
Projection: Lambert Conformal Conic 2SP
Datum: ITRF 2008

TABLA 32. EMISIONES PROMEDIO POR HORNEADA DE LADRILLOS EN EL ESTADO DE PUEBLA

Emisiones generadas por la quema de 52.6 toneladas de Ladrillo (kg)						
PM10	**PM2.5**	**SO_2**	**CO**	**NO_x**	**COV**	**CN**
17.29	15.26	1.58	432.02	13.16	11.05	4.74

Nota: La metodología utilizada para estimar las emisiones generadas en la fabricación de ladrillos, fue la utilizada por la SEMARNAT en el INEM2018, que consiste en la utilización de factores de emisión nacionales que están en función de la masa de ladrillos producidos, y solo se utiliza la relación de los factores de emisión de PM10 y PM2.5 publicados por la Agencia de Protección al Ambiente (EPA por sus siglas en inglés) para estimar el factor de emisión de PM10 con base al factor de emisión nacional de PM2.5.

Fuente: Elaborada con datos de: Zavala, 2018 y INECC, 2016.

Además, el impacto de sus emisiones contaminantes tiene mayor relevancia debido a que la mayor parte de estas ladrilleras, están ubicadas en zonas urbanas, y sobre todo las ubicadas en los municipios poblanos que forman parte de la Zona Metropolitana del Valle de Puebla (Coronango, San Pedro Cholula y Juan C. Bonilla) (Mapa 039).

Las ladrilleras son fuentes emisoras que generan contaminantes de forma ostensible e impactan significativamente en la calidad del aire que respiran los habitantes que viven cerca de estas fuentes. En el estado de Puebla, esta problemática es más crítica en los municipios de Coronango, Juan C. Bonilla y San Pedro Cholula que es donde se ubican casi el 90% de las ladrilleras **registradas en el DENUE**. Por su ubicación y por la dirección de los vientos dominantes de la zona (Noreste), es más probable que las emisiones contaminantes de las ladrilleras se transporten fuera de las zonas de máxima concentración poblacional (Mapa 040).

4.2.4. VEHÍCULOS AUTOMOTORES

En el periodo de tiempo del año 2014 al año 2020, tenemos que el número de vehículos automotores registrados en el estado de Puebla disminuyó; y en este mismo periodo de tiempo, también disminuyó el consumo de combustible vehicular. El parque vehicular en el periodo de referencia bajó un 12% y el consumo de diésel y gasolinas un 39% (Figura 82).

Las tendencias presentadas en la Figura 82 y en específico el comportamiento a la baja de los dos últimos años (2019 y 2020), posiblemente esté influenciado, primero por la pérdida del poder adquisitivo al cual se le suma en el año 2020 las consecuencias de la pandemia de COVID-19 que desincentivo la movilidad con una disminución en el uso y la compra de automóviles, repercutiendo en una menor generación de contaminantes dentro del sector de fuentes móviles.

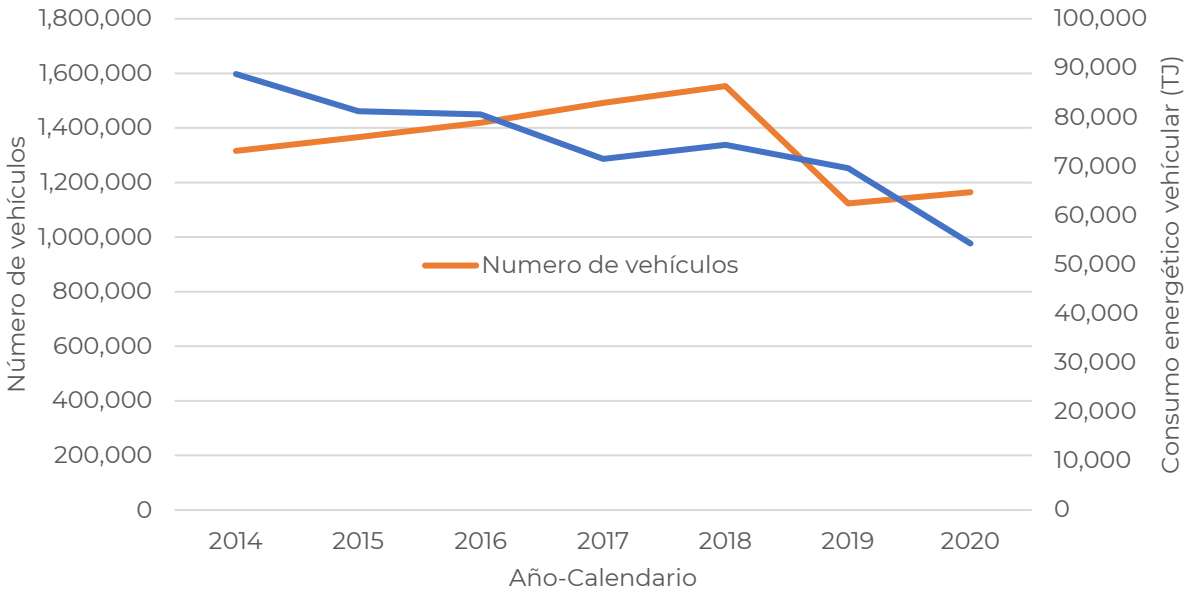


FIGURA 82. TENDENCIAS DEL NÚMERO DE VEHÍCULOS AUTOMOTORES Y EL CONSUMO ENERGÉTICO DE DIÉSEL Y GASOLINA, 2014-2020

Fuente: Elaborada con datos de:
SENER consultado 07/2022 en https://sie.energia.gob.mx/bdiController.do?action=temas
INEGI consultado 07/2022 en https://www.inegi.org.mx/programas/vehiculosmotor/#Datos_abiertos

Para una mayor comprensión del comportamiento del número de vehículos en el periodo de tiempo del año 2014 al año 2020, en la Tabla 33 se presenta para este periodo su tendencia por tipo de vehículo. A pesar de que la tendencia del número de vehículos disminuye, el número de motocicletas aumentó, y esto podría ser debido a: su mayor rendimiento en el consumo de gasolina comparado con el automóvil, que las personas aprovechan el tamaño y la flexibilidad para avanzar más rápido en el congestionamiento, entre otros.

Es importante mencionar que los datos presentados en la Tabla 33, son vehículos registrados y publicados por el INEGI, que por el momento es la única fuente de datos disponible con lo que se puede trazar una tendencia, donde resalta el decremento de vehículos registrados en el año 2019.

TABLA 33. TENDENCIA 2014-2020 DEL NÚMERO DE VEHÍCULOS REGISTRADOS EN EL ESTADO

TIPO DE VEHÍCULO	AÑO-CALENDARIO						
	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Automóviles	825,725	863,859	900,498	952,504	993,387	754,080	774,265
Camiones de pasajeros	11,103	11,007	10,813	11,036	11,238	9,486	9,386
Camiones y camionetas de carga	431,948	437,293	438,032	447,316	452,464	270,071	275,407
Motocicletas	47,193	54,660	70,261	81,361	96,429	89,814	105,334
Total	**1,315,969**	**1,366,819**	**1,419,604**	**1,492,217**	**1,553,518**	**1,123,451**	**1,164,392**

Fuente: Elaborada con datos de: INEGI consultado 07/2022 en
https://www.inegi.org.mx/programas/vehiculosmotor/#Datos_abiertos

En el año 2020, en el estado de Puebla se reportó un parque vehicular de 1,164,362 unidades, distribuido por tipo de vehículo según se muestra en la Tabla 34. El Número de unidades de automóviles registrado fue de 774,265, de camiones de pasajeros 9,386, de camiones y camionetas de carga 275,407 y motocicletas 105,334; de los cuales casi el 95% son Particulares, el 4% Públicos y el restante 1.1% son de uso oficial.

TABLA 34. PARQUE VEHICULAR REGISTRADO EN EL ESTADO DE PUEBLA, 2020

TIPO DE VEHÍCULOS	NÚMERO DE UNIDADES	PORCIENTO DE UNIDADES
Automóviles	774,265	66.5%
Camiones de pasajeros	9,386	0.8%
Camiones y camionetas para carga	275,407	23.7%
Motocicletas	105,334	9.0%
Total	**1,164,392**	**100.0%**
De los cuales		
Particular	1,104,859	94.9%
Público	46,689	4.0%
Oficial	12,844	1.1%
Total	**1,164,392**	**100.0%**

Fuente: Elaborada con datos de INEGI consultado 07/2022 en https://www.inegi.org.mx/programas/vehiculosmotor/#Datos_abiertos

Del parque vehicular estatal (1,164,392 unidades), se estima que en el municipio de Puebla se tienen domiciliados el 47.5% (553,738), le sigue en orden de importancia los municipios de: San Andrés Cholula con el 5% (59,123), Tehuacán 4.8% (56,243), Cuautlancingo 2.3% (50,001), San Pedro Cholula 3.5% (41,323), Atlixco 3% (35,269), San Martín Texmelucan con el 1.9% (22,382) y los restantes municipios en suma el 30% (346,313). Figura 83.

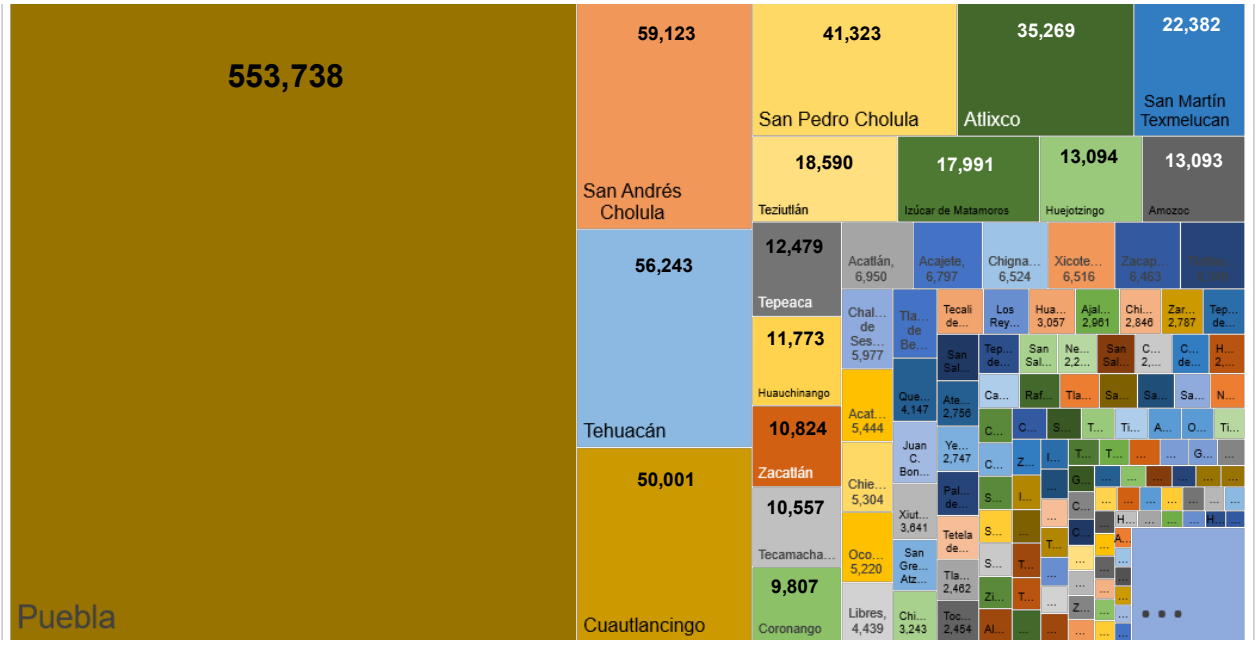


FIGURA 83. PARQUE VEHICULAR DESAGREGADO POR MUNICIPIO

Fuente: Elaborada con datos de INEGI consultado 07/2022 en https://www.inegi.org.mx/programas/vehiculosmotor/#Datos_abiertos

4.2.5. Sector doméstico

Es importante considerar medidas de reducción de emisiones a las actividades que se realizan de manera cotidiana en los hogares, como el uso de combustibles para el calentamiento de agua y la cocción de alimentos, el uso de solventes o productos que lo contienen, entre otros. Como se mencionó previamente, este tipo de fuentes, su contribución en emisiones GEI o de contaminantes criterio es mínima, pero si consideramos el total de viviendas, entonces si se tiene un aporte significativo que contribuye a contaminar el aire que se respira en la entidad.

Es generalizado que en las viviendas se usen solventes y una gran cantidad de productos que los contienen, por ejemplo, los utilizados en: el arreglo personal, la limpieza de superficies, muebles y utensilios del hogar, la aromatización de espacios, el cuidado y mantenimiento del automóvil y de la vivienda, para la eliminación de plagas (fumigación), entre otras actividades propias del hogar; y que en suma pueden generar emisiones significativas de compuestos orgánicos volátiles (COV). Esta problemática es aún más grave, debido a que no se conoce con certeza la diversidad de sustancias químicas que contienen la gran variedad de productos y que se utilizan de manera cotidiana y a veces en exceso dentro del hogar y en muchas ocasiones sin las medidas adecuadas para evitar su exposición indebida.

Del total de viviendas (1,714,877) ubicadas en el estado de Puebla, se estima que para cocinar el 70% (1,206,942) utilizan gas licuado de petróleo (gas LP), casi el 22% (374,888) utilizan leña o carbón, un poco más del 6% (108,155) gas natural y el restante 1.5% utilizan la electricidad para cocinar (Tabla 35).

Tabla 35. Combustible más utilizado para cocinar en el estado de Puebla

TOTAL, DE VIVIENDAS	NÚMERO DE VIVIENDAS POR TIPO DE COMBUSTIBLE UTILIZADO PARA COCINAR			
	LEÑA O CARBÓN	GAS DE TANQUE (GAS LP)	GAS NATURAL DE TUBERÍA	ELÉCTRICAS
1,714,877	374,884	1,206,942	108,155	24,896
100.0%	21.9%	70.4%	6.3%	1.5%

Fuente: Elaborada con datos de INEGI 2021.

Gas licuado de petróleo (gas LP)

Dentro del sector habitacional, de los combustibles más utilizados para cocinar está el uso de gas LP, y no solo se generan emisiones contaminantes al quemar este combustible, si no también dentro de su sistema de aprovechamiento desde el tanque donde se almacena el combustible hasta su uso para quemarlo en la estufa, hay fugas del combustible, además debido a la combustión incompleta de los componentes del gas LP (propano y butano principalmente) se forman y liberan una gran cantidad de contaminantes conocidos como hidrocarburos no quemados, que se pueden agrupar en compuestos orgánicos totales (COT) o compuestos orgánicos volátiles (COV).

Quema de leña en el sector doméstico

Otro de los combustibles de importancia por su impacto en la calidad del aire utilizado en el sector doméstico, es el uso o quema de leña o carbón para la preparación de alimentos y para el calentamiento del agua. Dentro del estado de Puebla, todavía hay una gran cantidad de viviendas (374,884) que de manera cotidiana como un segundo combustible o como el único combustible de uso, utilizan leña. Para un análisis desagregado de esta actividad, se estimó por municipio el número de viviendas que utilizan leña, tomando en cuenta el número total de viviendas por municipio, la superficie boscosa de cada municipio y el rezago social de cada municipio (Mapa 043).

La quema de leña como combustible se realiza principalmente en las viviendas de escasos recursos económicos ubicadas en las comunidades rurales o en la periferia de las zonas urbanas, esta práctica representa un problema grave de contaminación, sobre todo en el interior de las casas habitación.

Considerando que, a nivel nacional en el año 2020 se consumieron 22,799,945 toneladas (SENER consultado agosto 2022) en 4,661,303 viviendas (INEGI 2021), cada vivienda que realiza esta práctica quema en promedio al año 4.89 toneladas de leña, que por su poder calorífico equivalen a quemar 2.71 m^3 de gas LP.

Con la leña quemada en cada vivienda, se estima que se pueden generar un poco más de 34 kg de partículas PM_{10} y 4 kg de carbono negro, pero en cambio si la misma energía proporcionada por la quema de leña se reemplazará con la utilización de gas LP o biogás, las emisiones de PM_{10} y carbono negro generadas por la quema de leña se reducirían en más del 98% (Tabla 36).

TABLA 36. EMISIONES PROMEDIO GENERADAS POR VIVIENDA POR EL USO EQUIVALENTE DEL CONSUMO ENERGÉTICO DE LEÑA, GAS LP Y BIOGÁS

TIPO DE COMBUSTIBLE	EMISIONES CONTAMINANTES POR VIVIENDA QUE UTILIZA LEÑA (kg/año)						
	PM10	PM2.5	SO_2	CO	NO_X	COV	CN
*Leña	34.18	32.91	0.98	399.37	11.74	88.02	3.91
Gas LP	0.31	0.31	0.06	2.56	4.49	0.16	0.02
Biogás	0.43	0.43	0.03	4.76	5.67	0.31	0.03

Nota: Para la estimación de las emisiones, se utilizaron factores de emisión publicados por la Agencia de Protección al Ambiente (EPA por sus siglas en ingles) y de estudios nacionales* sobre la combustión doméstica con leña (In-field greenhouse gas emissions from cookstoves in rural Mexican households; Trace gas and particle emissions from domestic and industrial biofuel use and garbage burning in central Mexico y Comparative performance of five Mexican plancha-type cookstoves using water boiling tests).

Fuente: INEGI 2021 y SENER consultado en agosto 2022.

PUEBLA Un gobierno presente

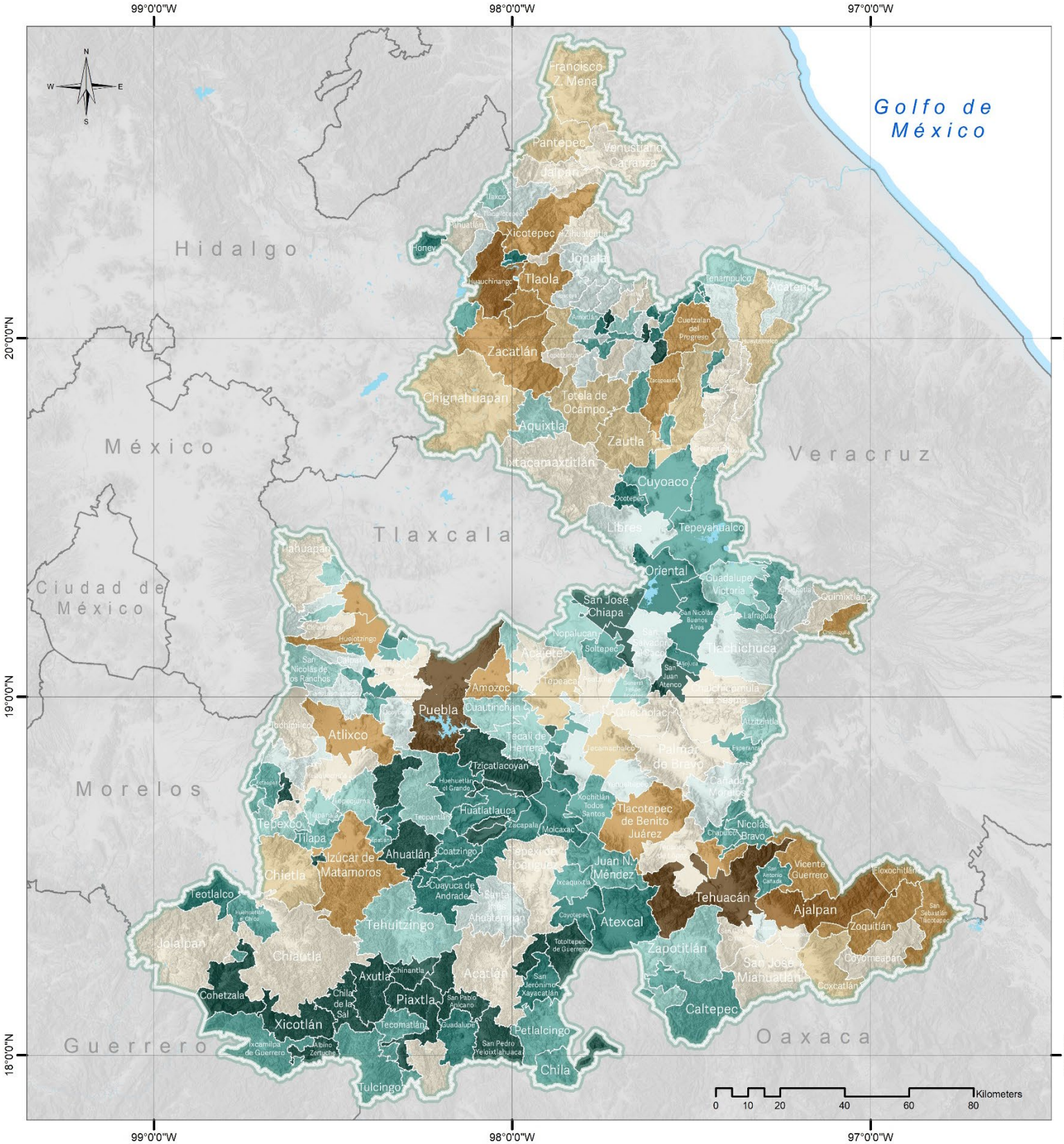
Secretaría de Medio Ambiente, Desarrollo Sustentable y Ordenamiento Territorial

MEDIO AMBIENTE

INECC

COMISIÓN AMBIENTAL DE LA MEGALÓPOLIS

PROGRAMA DE GESTIÓN DE CALIDAD DEL AIRE Y DE ACCIÓN ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO 2021-2030



Simbología

- Límite municipal
- Cuerpos de agua
- Límite del Estado de Puebla
- Límite estatal

Viviendas que utilizan Leña

- 4 - 186
- 187 - 421
- 422 - 683
- 684 - 1,043
- 1,044 - 1,661
- 1,662 - 2,761
- 2,762 - 4,160
- 4,161 - 7,417
- 7,418 - 10,706
- 10,707 - 24,532



M043.Viviendas que utilizan Leña

Fuente: Elaboración Propia con datos Elaborada con datos de INEGI 2021 y CONEVAL 2021
Mapa Base: Marco Geoestadistico diciembre 2021, Estado de Puebla, INEGI.

Coordinate System: MEXICO ITRF 2008 LCC
Projection: Lambert Conformal Conic 2SP
Datum: ITRF 2008

4.3. BALANCE ENERGÉTICO ESTATAL

Con el objetivo de elaborar el balance energético del estado de Puebla, línea base 2020, correlacionando las fuentes de generación y aportación de energía, así como los sectores de consumo, mediante la metodología SANKEY para visualizar las transferencias entre procesos a través de diagramas que muestran la pérdida o la dispersión de energía. A través de la información suficiente y debidamente estructurada (Balance de Energía) permite entender el tamaño y dirección de las acciones por realizar en materia energética, siendo un instrumento descriptivo que presenta el origen y destino de las fuentes primarias y secundarias de energía.

Si bien el contexto energético nacional, está dominado por las energías fósiles, que han sido la base para el bienestar y desarrollo económico de México, como un insumo de la sociedad para producir y consumir energía en diversos procesos productivos. Es relevante remarcar que los patrones de producción y consumo de energía inciden en el medio ambiente y sus evidencias son más palpables por la sociedad. El 2020 fue un año seriamente afectado por la crisis provocada por el virus SARS-COV-2 y la enfermedad que produjo. La emergencia sanitaria, económica y social que inició en el primer trimestre del 2020, se extendió por todo el mundo, influyendo tanto en los objetivos energéticos y económicos y en la forma de alcanzarlos, razón por la cual se decidió trabajar con el periodo del 2014 al 2020.

Los trabajos realizados para desarrollar el Balance de Energía del estado de Puebla, inicialmente considera las magnitudes de cada fuente de energía, transformación y destino final del Balance Nacional, que posteriormente se ajustó cada fuente y flujo de energía con la información del estado de Puebla más actualizada, para seguidamente incluir la información en el diagrama Sankey que nos permite apreciar de manera gráfica los flujos de energía (líneas horizontales) desde su origen, las transformaciones que sufre, hasta los sectores donde es consumida, donde cada flujo o línea horizontal guarda la proporción con respecto al total de energía (Figura 84).

De izquierda a derecha en el Sankey se destinan seis secciones, la primera con el título de “Origen”, muestra la producción y las entradas de energía en PetaJoules del 2020 del estado de Puebla. La segunda sección “Energéticos” presenta desagregados los diferentes energéticos que se producen y entran al estado de Puebla. La tercera sección denominada “Generación de Energía”, gráficamente presenta los energéticos que a través de centrales eléctricas se transforman en electricidad, cabe destacar los energéticos que sin sufrir otra transformación son consumidos en los sectores de consumo final se muestran sin alteración en su ancho, que en otras palabras si un flujo de energía no se dirige a centrales eléctricas este energético es consumido en otro sector o no se aprovecha en el estado de Puebla.

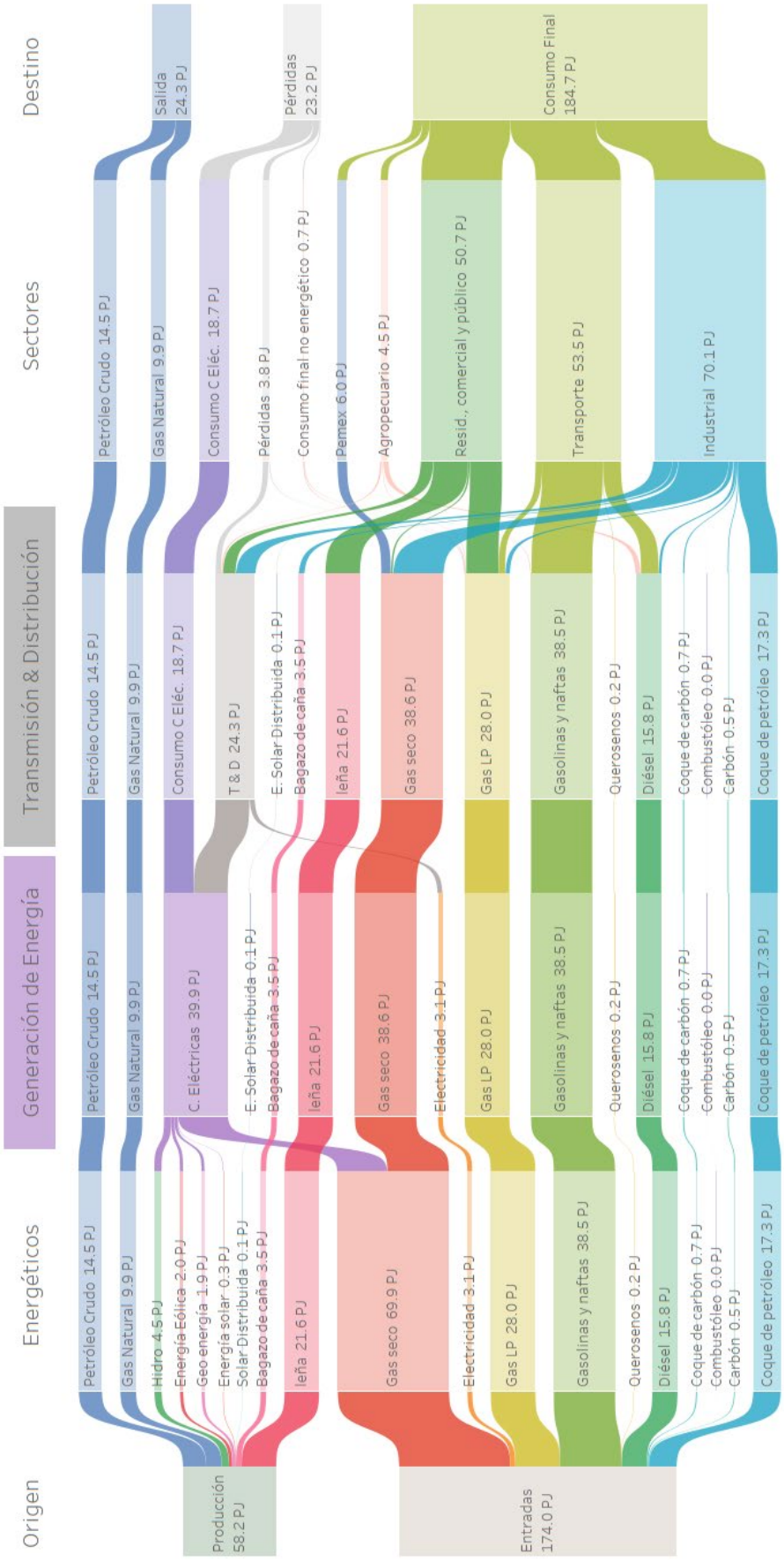


FIGURA 84. BALANCE DE ENERGÍA DEL ESTADO DE PUEBLA, 2020.

La cuarta sección "Transmisión & Distribución" retoma el flujo de electricidad que sale de las centrales eléctricas y que a través de la red eléctrica se distribuye en los sectores industrial, agropecuario, residencial, comercial y público para su consumo, mientras que el resto de energéticos que no se incorporan en el flujo "T & D" son consumidos directamente en los diferentes sectores o salen del estado de Puebla.

La quinta sección "Sectores" incorpora diversos flujos de energéticos y energía eléctrica para consumo de los diversos sectores, en el caso particular del sector residencial, comercial y público en el 2020 su consumo de 50.7 PJ se cubre con electricidad, leña, gas seco y gas LP, como se puede apreciar en el diagrama.

La sección "Destino" agrupa los flujos energéticos distribuidos en los diferentes sectores, consumos, pérdidas y energéticos para la clasificarlos en consumo final, pérdidas o salida del estado de Puebla.

Del análisis del diagrama Sankey se observa que de la producción energética del estado 58.2 PJ, de los cuales, cerca de un 42% corresponde a la producción de petróleo crudo y gas natural que salen del estado. Al respecto de la energía que entra al estado de Puebla, el total es de 174 PJ, de los cuales, alrededor del 94% corresponden al consumo final de energía estatal. En este contexto el estado de Puebla puede incorporar las fuentes de energía renovable y reducir la dependencia e importaciones de energía fósil que proviene fuera del estado.

Con los resultados del Balance de Energía del estado de Puebla, junto con información del crecimiento poblacional reportada por el Consejo Nacional de Población (CONAPO), en la que proyecta una población de 7.1 y 7.6 millones de habitantes al 2030 y 2050, respectivamente en el estado de Puebla, se estimó el consumo energético de los principales sectores y combustibles que se presenta en las siguientes tablas.

TABLA 37. PROYECCIÓN DEL CONSUMO ESTATAL ENERGÉTICO POR SECTOR AL 2030 Y 2050 EN PJ

CONSUMO POR SECTORES PROYECTADO PJ	2020	2030	2050
Residencial, comercial y público	50.68	54.83	56.96
Transporte	53.48	57.86	60.10
Agropecuario	4.53	4.90	5.09
Industrial	70.07	75.80	78.74

Fuente: Elaboración Propia con información de CONAPO.

TABLA 38. PROYECCIÓN DEL CONSUMO DE COMBUSTIBLES ESTATAL AL 2030 Y 2050 EN PJ

CONSUMO POR COMBUSTIBLES PROYECTADO PJ	2020	2030	2050
Gas LP	27.61	29.87	31.03
Gas Natural	38.60	41.76	43.38
Gasolinas y naftas	38.48	41.63	43.24
Diésel	15.79	17.08	17.74

Fuente: Elaboración Propia con información de CONAPO.

Los sectores Industrial, transporte, residencial, comercial y público son los de mayor consumo energético y el combustible más empleado es el gas natural, seguido de las gasolinas, gas LP y al último el diésel. Se advierte un aumento en su consumo del orden de 8.2 % y 12.38 % adicional para el 2030 y 2050, respectivamente, con respecto del 2020, si se siguen las tendencias y no se implementa ninguna política pública para revertirlas.

Siendo estos sectores y combustibles los susceptibles para implementar políticas de aprovechamiento de energías renovables y mayor eficiencia energética, como una medida para asegurar el desarrollo con el menor impacto al medio ambiente.

El estado de Puebla es una entidad netamente importadora de combustibles, sin infraestructura para la refinación de petróleo ni para el procesamiento de gas, que en los años recientes ha incorporado el aprovechamiento de la energía eólica y de la energía fotovoltaica dentro de su matriz energética, pero que siguen representando cerca del 1.2 % del consumo final.

En este sentido, se respalda la propuesta planteada en el Programa Especial para el Desarrollo Energético Sustentable derivado del Plan Estatal de Desarrollo 2019-2024 del Gobierno de Puebla, en el diagnóstico sobre la sustentabilidad energética, que considera que “se deben tomar en cuenta tanto las energías renovables y la eficiencia energética como actividades conjuntas en la transición del uso de combustibles fósiles hacia las energías con mínimas emisiones de gases de efecto invernadero que sean renovables, que hagan frente a los desafíos actuales del cambio climático y en cumplimiento con los compromisos globales", para lo cual se puede fomentar el desarrollo de las energías renovables.

El aprovechamiento de la energía fotovoltaica es favorable debido a las condiciones del estado, en el que se reporta más del 50% del territorio con radiación superior a 6,000 Wh/m^2/día y en regiones del sur del estado cerca de 7,000 Wh/m^2/día, (SMADSOT, 2021). Por el lado de la energía eólica, Puebla ya cuenta con plantas en operación por ejemplo la planta PIER II con una capacidad de 66 MW, y se estima a nivel estatal un recurso aprovechable de aproximadamente 160,370,799 MJ anuales (SMADSOT, 2021). Éstas son fuentes potenciales de energías renovables junto con tecnologías de eficiencia energética que pueden ser aprovechables y cubrir parte de la demanda energética proyectada para el 2030 y 2050.

Como resultado de los trabajos de elaboración del balance estatal de energía se encuentra como área de mejora, la necesidad de establecer entre SENER, IMP, CRE & SISTRAGAS, los valores más representativos a nivel estatal, junto con el mecanismo para cotidianamente conseguir, compilar y guardar la información (portal SIE EP), con el detalle necesario para los sectores industrial, residencial, público, comercial, transporte y agropecuario.

Dentro del portal del Sistema de Información Energética del estado de Puebla (SIE EP), se requiere aclarar que tanto el petróleo como el gas natural asociado es conducido fuera del estado a instalaciones para su transformación, y en medida de lo posible presentar en forma de diagrama los flujos de las energías primarias hasta su consumo final.

4.4. Actualización de los inventarios de emisiones de gases criterio, tóxicos y GyCEI, año base 2020.

Los inventarios de emisiones más recientes para el Estado de Puebla son los generados por la SEMARNAT para los años 2016 y 2018 como parte de los Inventarios de Emisiones de Contaminantes Criterio (**INEM-2016 y INEM-2018**).

En la plataforma elaborada por la SEMARNAT para presentar los resultados del INEM-2016, se puede consultar las emisiones de forma desagregada y detallada de cada una de las fuentes o categorías y subcategorías, por: contaminante, municipio y jurisdicción. Ir a: https://gisviewer.semarnat.gob.mx/wmaplicacion/inem/.

Dado que la SEMARNAT ya estimó las emisiones generadas en el estado de Puebla en el año 2018 dentro del INEM 2018, en el presente proyecto, se tomó como base este inventario para actualizarlo en lo posible con información correspondiente al año 2020 (año base). para contar con una base de emisiones más reciente para elaborar el Programa de Gestión de Calidad del Aire y de Acción ante el Cambio Climático 2021-2030.

Tradicionalmente el Inventario de Emisiones de Contaminantes Criterio ha sido la base para el desarrollo de medidas para mejorar la calidad del aire y el de Gases y Compuestos de Efecto invernadero para el desarrollo de acciones ante el cambio climático.

En esta ocasión se ha elaborado el Inventario Estatal de Emisiones de Puebla 2020 (IEEP-2020) para atender de manera integral la problemática ambiental de calidad del aire y de cambio climático, como parte del Programa de Gestión de Calidad del Aire y de Acción ante el Cambio Climático 2021-2030. Por lo que, el IEEP-2020 que se presenta en este documento contiene el inventario de emisiones de Contaminantes Criterio y el inventario de Contaminantes Tóxicos, además del inventario de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero

Contaminantes criterio:

- Partículas menores a 10 micrómetros (PM_{10})
- Partículas menores a 2.5 micrómetros ($PM_{2.5}$)
- Dióxido de azufre (SO_2)
- Monóxido de carbono (CO)
- Óxidos de Nitrógeno (NO_X)
- Compuestos orgánicos volátiles (COV)
- Amoniaco (NH_3)

Gases y compuestos de efecto invernadero:

- Dióxido de carbono (CO_2)
- Metano (CH_4)

- Óxido nitroso (N_2O)
- Carbono negro (CN)
- Dióxido de carbono equivalente (CO_2e)

Contaminantes tóxicos:

- N-butano
- Tolueno
- Isopentano (o 2-metilbutano)
- Etileno (o eteno)
- P-xileno
- Isobutano (o 2-metilpropano)
- N-pentano
- Benceno, otros

Una de las actividades principales del presente proyecto, fue el de consultar diferentes fuentes de información y bases de datos para llevar a cabo la selección estatal de las principales fuentes generadoras de emisiones contaminantes, gases y compuestos de efecto invernadero. La estimación de las emisiones de las fuentes seleccionadas se realizó a nivel municipal, además de realizar una especiación de los compuestos orgánicos volátiles para identificar los principales compuestos tóxicos y por medio del Índice Incremental de Reactividad de cada compuesto su equivalencia en la formación de ozono.

El detalle de los resultados del IEEP-2020, además de proporcionarnos un diagnóstico de la generación de emisiones a nivel estatal, también se identificaron los municipios donde se genera la mayor cantidad de emisiones, además de las especies reactivas formadoras de ozono que nos permitió analizar en específico a los municipios poblanos que forman parte de la Zona Metropolitana del Valle de Puebla, donde seguramente sus habitantes son los que están expuestos a una concentración mayor del contaminación ozono.

Además, el inventario de emisiones como una herramienta útil desde el punto de vista técnico y de toma de decisiones, proporcionó las bases para estimar la reducción de emisiones de las medidas y acciones que se plantean dentro del Programa de Gestión de Calidad del Aire y de Acción ante el Cambio Climático 2021-2030; y en un futuro su actualización será el insumo indispensable para el seguimiento de medidas o acciones de reducción de emisiones.

En resumen, este documento tiene como prioridad resaltar el análisis y diagnóstico de la generación de emisiones relacionadas con la contaminación por: ozono y partículas suspendidas, además de la generación de emisiones relacionadas con el calentamiento global del planeta (CO_2, N_2O, CH_4 y CN).

4.4.1. METODOLOGÍA

Actualmente los inventarios de emisiones de compuestos y gases de efecto invernadero y de contaminantes criterio, se realizan con su propia metodología y por separado, por lo que el primer paso para elaborar el presente inventario de emisiones (IEEP-2020) fue el de armonizar ambas metodologías de acuerdo con las condiciones de la información disponible para el Estado de Puebla.

Como insumo, se contó con las metodologías elaboradas por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) y las publicadas por el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC); además de las recomendaciones emitidas por especialistas en el tema que laboran en la SEMARNAT y en el INECC.

Considerando los lineamientos del IPCC, como primer criterio de la armonización entre la estimación de emisiones de contaminantes criterio y de los gases de efecto invernadero, fue el de darle prioridad a la medición en fuente, a la utilización de factores de emisión, procedimientos de cálculo de emisiones o modelos de estimación de emisiones desarrollados para nuestro país (Metodologías publicadas por la SEMARNAT, “Factores de emisión para los diferentes tipos de combustibles fósiles y alternativos que se consumen en México”, MOVES-México, Modelo mexicano de biogás, entre otros); y después, se procedió a utilizar factores de emisión y/o metodologías de la EPA y/o del IPCC. Para el caso específico de los gases de efecto invernadero (GEI), si no se contó con factores de emisión nacionales, se utilizaron los del IPCC.

Para fines de estimación de emisiones en hojas de cálculo, se tomó como base la clasificación de categorías o fuentes presentada en el Inventario Nacional de Emisiones de México del año 2018 desarrolladas por la SEMARNAT y se complementó con las categorías faltantes del IPCC que se incluyen en las categorías de Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra, aunque los resultados se muestran en ambas clasificaciones.

Para el caso de la estimación de las emisiones de las fuentes de área, se tomó como base el “Volumen V- Desarrollo de inventarios de emisiones de fuentes de área” y el “El Manual para la elaboración de inventarios de fuentes de área” El cual se puede consultar en: FRONT.PDF (https://www.epa.gov/) y Manual de Estimación de Emisiones de Fuentes de Área (https://www.gob.mx/semarnat).

Para el caso de las **fuentes fijas**, se utilizaron factores de emisión nacionales y de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América (EPA por sus siglas en inglés) o en su caso los publicados por el IPCC para los gases de efecto invernadero. Los datos de actividad se obtuvieron de las bases de datos de las fuentes de jurisdicción federal 2018 y 2020 que fueron

proporcionadas por la SEMARNAT y se complementó con los datos de actividad de jurisdicción estatal del año 2020 que entrega el sector industrial a la autoridad ambiental del Gobierno del Estado de Puebla a través de Reporte Anual de Emisión de Contaminantes a la Atmósfera en el 2021.

TABLA 39. SECTOR Y JURISDICCIÓN DE LAS FUENTES FIJAS

SECTOR	JURISDICCIÓN
Automotriz Celulosa y papel Cemento y cal Generación de energía eléctrica Metalúrgica (incluye la siderúrgica) Petróleo y petroquímica Pinturas y tintas Química Tratamiento de residuos peligrosos	Federal
Alimentos y bebidas Derivados del petróleo y carbón Extracción/Beneficio minerales no metálicos Impresión Industria de la madera Industria textil Mezclas químicas Minerales no metálicos Otras industrias Papel y cartón Plástico y hule	Estatal

Fuente: Elaboración propia con información de SEMARNAT

Para el caso de las **fuentes móviles no carreteras** (Locomotoras, Aeronaves y Maquinaria agrícola), se consideraron las metodologías publicadas por la SEMARNAT, consultar las hojas de cálculo:

Para el caso de las **fuentes móviles,** se utilizó el modelo MOVES-México. Este modelo fue desarrollado por la EPA y a través de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID) con el Programa para el Desarrollo Bajo en Emisiones de México y en colaboración con el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) fue adaptado a las condiciones nacionales.

Con el **modelo MOVES-México**, se realizaron corridas con los valores establecidos por defecto para obtener las emisiones, además se consultaron los datos del parque vehicular, los kilómetros recorridos y el consumo

energético asociado a estas emisiones; posteriormente se procedió con el análisis y nuevos cálculos para tomar en cuenta los recorridos locales propios de la flota vehicular que circula en el estado de Puebla (KRV) y el combustible que se consume en la entidad (gasolina y diésel).

Las emisiones biogénicas provenientes de la vegetación se estimaron con el modelo **Global Biosphere Emissions and Interaction System Versión 3.2 (GloBEIS V3.2**) el cual demanda datos de uso de suelo, temperatura, cobertura nubosa, radiación fotosintéticamente activa (PAR), entre otros. Siendo los datos de uso de suelo los más relevantes y debido a que estos datos entre los años 2018 y 2020 son casi los mismos, se consideraron las emisiones proporcionadas por la SEMARNAT para el año 2018.

Para mayor detalle e información de los procedimientos de cálculo, consultar la hoja de cálculo: EmisionesFuentesMoviles2020.xlsx

Para desagregar los compuestos orgánicos volátiles (COV) por compuesto químico y su clasificación en contaminante tóxico, se utilizó la Base de Datos del Speciate 5.2 publicada por la EPA (publicada en: https://www.epa.gov/air-emissions-modeling/speciate-2). Además, partiendo de que cada compuesto orgánico volátil difiere en su efecto sobre la formación de ozono troposférico, se estimó este potencial de ozono mediante la reactividad incremental máxima (MIR por sus siglas en ingles).

Para asignar el efecto de cada COV en la formación de ozono, se utilizó la escalas de reactividad incremental máxima desarrollada por William P. L. Carter, la cual refleja condiciones de concentraciones relativamente altas de NOx y donde la formación de ozono es más sensible a las emisiones de COV, por lo que la escala del MIR refleja condiciones donde el control de las emisiones de COV es más efectivo para reducir la generación de ozono y es el más ampliamente utilizan en la evaluación de reactividad de compuestos orgánicos y su reglamentación.

En las hojas de cálculo de cada una de las fuentes o categorías que integran el IEEPuebla-2020 se ahonda más sobre la procedencia de los datos, de los factores de emisión, supuestos y procedimientos utilizados para estimar las emisiones.

4.4.2. Emisiones generadas en el estado de Puebla

La calidad del aire en el estado de Puebla está influenciada por la dinámica atmosférica de las localidades y zonas metropolitanas para dispersar o concentrar la carga de emisiones contaminantes. Esta carga, así como la generación de GyCEI está definida por los factores de presión, como: el crecimiento poblacional, la cantidad de vehículos, el número de unidades económicas, el consumo energético, entre otras.

Los resultados del Inventario Estatal de Emisiones de Puebla 2020 (IEEP-2020), como se muestra en la Tabla 40, se tiene que anualmente en el Estado de Puebla se generan: **40,467** toneladas de partículas menores a 10 micrómetros (**PM_{10}**) y de estas **27,870** toneladas son partículas menores a 2.5 micrómetros (**$PM_{2.5}$**). Se emiten **5,427** toneladas de dióxido de azufre (**SO_2**), **278,452** toneladas de monóxido de carbono (**CO**), **140,203** toneladas de óxidos de nitrógeno (**NO_X**), **616,500** toneladas de compuestos orgánicos volátiles (**COV**), **57,060** toneladas de Amoniaco (NH_3).

Tabla 40. Emisiones generadas en el Estado de Puebla en el año 2020

Emisiones (t/año)		Fuentes Puntuales	Fuentes de Área	Fuentes móviles no carreteras	Fuentes móviles carreteras	Fuentes naturales	Total
De contaminantes criterio	PM_{10}	4,143	**34,037**	501	1,786	N/A	**40,467**
	$PM_{2.5}$	2,670	**23,271**	501	1,428	N/A	**27,870**
	SO_2	**3,804**	771	164	688	N/A	**5,427**
	CO	4,579	134,101	1,586	**138,186**	N/A	**278,452**
	NOx	12,769	7,485	7,366	31,124	**81,459**	**140,203**
	COV	2,701	67,771	556	12,555	**532,917**	**616,500**
	NH_3	21	**56,816**	0	223	N/A	**57,060**
De efecto invernadero	CO_2	**8,082,947**	6,051,841	303,319	3,581,148	N/A	**18,019,255**
	CH_4	189	**95,759**	18	465	N/A	**96,430**
	N_2O	40	**1,090**	95	145	N/A	**1,370**
	CN	236	**1,968**	228	377	N/A	**2,808**
	CO_2e	8,098,718	**9,022,015**	329,032	3,632,461	N/A	**21,082,225**
De contaminantes tóxicos	Propano	35	**6,528**	0	0	0	**6,563**
	Benceno	19	**5,006**	8	316	0	**5,349**
	Tolueno	400	**2,428**	5	1,132	0	**3,964**
	Etanol	0	**3,656**	0	0	0	**3,656**
	Propileno	3	**1,420**	1	0	0	**1,424**
	Percloroetileno	0	**773**	0	0	0	**773**
	Otros	211	**3,243**	218	2,165	0	**5,837**

N/A = no aplica.

Fuente: Elaboración propia con datos del anuario estadístico, Balance Energético Estatal de Puebla 2020, CONAGUA, CONAFOR, CONEVAL, Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos, EPA (AP-42, WebFire, Evaporative Emissions from On-road Vehicles in MOVES2014, MOVES-México), Gobierno del Estado de Puebla, Hojas técnicas de pinturas y recubrimientos (Sherwin Williams, Nervion pinturas, Axalta, Comex), INEGI (DENUE, ENIGH, Censo de Población y Vivienda, EMIM, Censos económicos, Volumen total del mercado de pintura para repintado automotriz, longitud de la red de calles por municipio, Banco de Información Económica), Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, SENER (SIE, Balance Nacional de Energía, Comisión Reguladora de Energía), POWER-Data Access Viewer Prediction Of Worldwide Energy Resource, Modelo Mexicano de Biogás, SAGARPA, SEMARNAT, Secretaría de Salud, entre otros.

En el grupo de los gases y compuestos de efecto invernadero (GyCEI) se liberan **2,808** toneladas de carbono negro (CN), **18,019,255** de dióxido de carbono (CO_2) y **21,082,225** toneladas de dióxido de carbono equivalente (CO_2e).

Referente a la especiación de los compuestos orgánicos volátiles (COV) tenemos una emisión anual de **6,563** toneladas de propano, **5,349** toneladas de benceno, **3,964** toneladas de tolueno, entre otros tóxicos.

En la Tabla 41, se presentan las emisiones desagregadas por fuente o categoría, en donde se observa que las fuentes puntuales aportaron en 2020: 4,143 toneladas de PM_{10}, 2,670 toneladas $PM_{2.5}$, 3,804 toneladas de SO_2, 4,579 toneladas de CO, 12,769 toneladas de NOx, 2,701 toneladas de COV, 21 toneladas de NH_3 y 8,098,718 de CO_2e. Por su lado, las fuentes de área emitieron en ese mismo año: 34,037 toneladas de PM_{10}, 23,271 toneladas $PM_{2.5}$, 771 toneladas de SO_2, 134,101 toneladas de CO, 7,485 toneladas de NOx, 67,771 toneladas de COV, 56,816 toneladas de NH_3 y 9,022,015 toneladas de CO_2e.

TABLA 41. EMISIONES DESAGREGADAS GENERADAS EN EL ESTADO DE PUEBLA EN 2020

Fuente o categoría	Emisiones (t/año)								
	PM10	PM2.5	SO_2	CO	NO_x	COV	NH_3	CN	CO_2e
Fuentes Puntuales	**4,143**	**2,670**	**3,804**	**4,579**	**12,769**	**2,701**	**21**	**236**	**8,098,718**
Automotriz	161.34	147.68	4.68	111.61	366.65	2,028.79	2.36	0.47	127,068
Celulosa y papel	0.75	0.75	0.06	1.81	9.82	0.54	0.32	0.05	13,944
Cemento y cal	313.48	206.38	3,613.28	797.55	2,889.63	15.27	2.16	2.92	3,569,023
Generación de energía eléctrica	443.12	443.12	7.00	1,483.24	6,438.08	255.68	0.00	6.21	2,256,092
Metalúrgica (incluye la siderúrgica)	321.68	186.49	2.78	212.76	255.11	98.45	8.11	1.35	359,988
Petróleo y petroquímica	11.78	7.35	3.57	84.82	240.22	186.03	3.11	0.51	135,091
Pinturas y tintas	0.60	0.33	0	0.00	0.00	2.58	0.00	0.00	479
Química	41.59	24.32	0.87	37.60	35.25	36.64	1.54	0.26	68,704
Tratamiento de residuos peligrosos	0.02	0.02	0.00	0.17	0.43	0.40	0.00	0.00	400
Alimentos y bebidas	2,835.07	1,640.10	130.29	1,702.20	2,155.76	63.05	3.30	222.84	1,319,395
Derivados del petróleo y carbón	0.09	0.09	0.54	0.97	3.23	0.07	0.01	0.01	1,735
Extracción/Beneficio minerales no metálicos	0.12	0.11	0.64	1.25	4.23	0.09	0.01	0.01	2,236
Impresión	0.06	0.06	0.04	0.60	1.62	0.05	0.00	0.00	855
Industria de la madera	0.06	0.05	0.01	0.13	0.07	0.00	0.00	0.00	89
Industria textil	4.55	4.52	7.46	49.11	146.52	3.86	0.23	0.31	83,092
Mezclas químicas	0.12	0.12	0.01	1.33	4.44	0.09	0.01	0.01	2,258
Minerales no metálicos	1.62	1.61	1.26	17.81	59.26	1.18	0.12	0.11	30,377
Otras industrias	7.16	7.06	30.97	73.72	151.65	8.29	0.11	0.44	124,141
Papel y cartón	0.16	0.15	0.47	1.72	5.66	0.12	0.01	0.01	3,003
Plástico y hule	0.04	0.04	0.09	0.44	1.09	0.04	0.00	0.00	747
Fuentes de Área	**34,037**	**23,271**	**771**	**134,101**	**7,485**	**67,771**	**56,816**	**1,968**	**9,022,015**
Combustión comercial	22	22	28	184	317	19	0.07	15	308,385
Combustión agrícola	0.20	0.20	0.26	2	2.81	0	0.0	0	2,676
Combustión doméstica	9,816	9,455	404	82,003	4,750	25,109	612	1,178	3,663,573
Combustión industrial	34	34	6	366	448	25	2	4	620,910
Artes gráficas	0	0	0	0	0	1,304	0	0	0
Asfaltado	0	0	0	0	0	185	0	0	0
Lavado en seco	0	0	0	0	0	526	0	0	0
Limpieza de superficies industriales	0	0	0	0	0	4,548	0	0	0
Pintado automotriz	0	0	0	0	0	888	0	0	0
Pintura para señalización vial	0	0	0	0	0	304	0	0	0
Recubrimiento de superficies arquitectónicas	0	0	0	0	0	2,411	0	0	0
Recubrimiento de superficies en la industria	0	0	0	0	0	923	0	0	0
Uso doméstico de solventes	0	0	0	0	0	8,306	0	0	0

Fuente o categoría	Emisiones (t/año)								
	PM10	PM2.5	SO_2	CO	NO_X	COV	NH_3	CN	CO_2e
Manejo y distribución de gas LP	0	0	0	0	0	3,820	0	0	0
Componentes del gas LP no quemados en instalaciones domésticas (HCNQ)	0	0	0	0	0	7,854	0	0	0
Manejo y distribución de combustibles	0	0	0	0	0	1,865	0	0	0
Asados al carbón	528	421	0	1,051	19	68	0	59	67,728
Panificación	0	0	0	0	0	370	0	0	0
Aplicación de fertilizantes	0	0	0	0	0	0	8,910	0	0
Aplicación de plaguicidas	0	0	0	0	0	240	0	0	0
Emisiones ganaderas	0	0	0	0	0	0	38,301	0	1,079,663
Corrales de engorda	257	29	0	0	0	0	0	0	0
Labranza	5,549	1,230	0	0	0	0	0	0	0
Aguas residuales	0	0	0	0	0	3,684	0	0	87,257
Quema de residuos a cielo abierto	857	785	23	1,918	135	194	0	94	19,288
Relleno Sanitario	0	0	0	24	0	1,281	0	0	1,648,013
Caminos pavimentados	1,181	286	0	0	0	0	0	0	0
Caminos no pavimentados	4,583	696	0	0	0	0	0	0	0
Incendios forestales	1,348	1,144	125	13,346	402	932	134	82	231,434
Emisiones domésticas de NH3	0	0	0	0	0	0	8,359	0	0
Esterilización de material hospitalario	0	0	0	0	0	5	0	0	0
Quemas agrícolas	3,713	3,551	146	24,320	1,079	2,630	486	426	991,159
Ladrilleras	6,148	5,617	40	10,886	331	278	11	110	301,929
Fuentes móviles no carreteras	**501**	**501**	**164**	**1,586**	**7,366**	**556**	**0**	**228**	**329,032**
Locomotoras	23	23	83	145	1,141	47	0	10	51,090
Aeronaves	45	45	7	117	69	19	0	31	22,994
Maquinaria agrícola	433	433	74	1,325	6,155	489	0	186	254,948
Fuentes móviles carreteras	**1,786**	**1,428**	**688**	**138,186**	**31,124**	**12,555**	**223**	**377**	**3,632,461**
Autos Particulares	200	106	216	54,659	10,326	5,462	80	21	1,315,419
Taxis	37	13	58	10,930	2,140	925	19	2	355,984
Microbuses y Vagonetas TPE	7	5	3	1,094	131	54	1	1	20,862
Autobús TPE	207	183	33	443	1,315	57	2	39	119,569
Autobús particular	79	70	13	145	487	20	1	15	48,075
Autobuses foráneos	46	41	8	136	455	21	0	16	29,750
Vehículos de carga ligera	191	142	103	38,840	6,936	3,676	33	31	620,618
Vehículos de carga >3.8 t	40	35	6	442	222	35	1	4	24,040
Vehículos de carga >3.8 t Foráneos	344	299	48	2,674	2,436	336	5	60	179,337
Tractocamiones	22	19	4	31	124	4	0	4	14,535
Tractocamiones foráneos	554	480	107	1,025	4,891	149	5	178	379,873
Motocicletas	59	36	86	27,767	1,661	1,816	77	5	524,399
Fuentes naturales	**N/A**	**N/A**	**N/A**	**N/A**	**81,459**	**532,917**	**N/A**	**N/A**	0
Emisiones biogénicas	N/A	N/A	N/A	N/A	81,459	532,917	N/A	N/A	0
Total	**40,467**	**27,870**	**5,427**	**278,452**	**140,203**	**616,500**	**57,060**	**2,808**	**21,082,225**

Fuente: Elaboración propia con datos del anuario estadístico, Balance Energético Estatal de Puebla 2020, CONAGUA, CONAFOR, CONEVAL, diagnóstico básico para la gestión integral de los residuos, EPA (AP-42, WebFire, Evaporative Emissions from On-road Vehicles in MOVES2014, MOVES-México), Gobierno del Estado de Puebla, Hojas técnicas de pinturas y recubrimientos (Sherwin Williams, Nervion pinturas, Axalta, Comex), INEGI (DENUE, ENIGH, Censo de Población y Vivienda, EMIM, Censos económicos, Volumen total del mercado de pintura para repintado automotriz, longitud de la red de calles por municipio, Banco de Información Económica), Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, SENER (SIE, Balance Nacional de Energía, Comisión Reguladora de Energía), POWER-Data Access Viewer Prediction Of Worldwide Energy Resource, Modelo Mexicano de Biogás, SAGARPA, SEMARNAT, Secretaría de Salud, entre otros.

A pesar de que la vegetación está relacionada con la generación de precursores de ozono, (se forman y liberan al aire compuestos orgánicos volátiles como parte de sus procesos naturales fotosintéticos y por los procesos biológicos de nitrificación y desnitrificación de la materia orgánica que cae al suelo se generan óxidos de nitrógeno), es más importante resaltar los servicios ambientales y económicos que nos proporciona la vegetación, como la

protección del suelo para evitar la erosión del mismo, la regulación de los escurrimientos de agua, la generación de materias primas y alimento, el mantenimiento de flora y fauna, la regulación del clima y la importancia como sumideros de CO_2, entre otros. Por lo que el siguiente análisis se realizará solo con las emisiones de origen antropogénico.

Aportación porcentual de emisiones por tipo de fuente

Referente al aporte porcentual por tipo de emisión antropogénica, las fuentes de área son el mayor generador de casi todos los contaminantes, gases y compuestos de efecto invernadero, excepto por las fuentes móviles carreteras que son el mayor generador de CO y NOx y las fuentes puntuales de SO_2, y CO_2 (Tabla 42).

TABLA 42. APORTACIÓN PORCENTUAL DE EMISIONES POR TIPO DE FUENTE

Emisiones (t/año)		Fuentes Puntuales	Fuentes de Área	Fuentes móviles no carreteras	Fuentes móviles carreteras
De contaminantes criterio	PM_{10}	10%	**84%**	1.2%	4%
	$PM_{2.5}$	10%	**83%**	1.8%	5%
	SO_2	**70%**	14%	3.0%	13%
	CO	2%	48%	0.6%	**50%**
	NOx	22%	13%	13%	**53%**
	COV	3%	**81%**	0.7%	15%
	NH_3	N/S	**100%**	N/S	N/S
De efecto invernadero	CO_2	**45%**	34%	1.7%	20%
	CH_4	0.2%	**99%**	N/S	0.5%
	N_2O	3%	**80%**	6.9%	11%
	CN	8%	**70%**	8%	13%
	CO_2e	38%	**43%**	1.6%	17%
De contaminantes tóxicos	Propano	1%	**99%**	N/S	N/S
	Benceno	0.4	**94%**	0.2%	5.9%
	Tolueno	10%	**61%**	0.1%	29%
	Etanol	N/S	**100%**	N/S	N/S
	Propileno	0.2%	**100%**	0.1%	0%
	Percloroetileno	N/S	**100.0%**	N/S	N/S
	Otros	3.6%	**56%**	3.7%	37%

Nota: No incluye las emisiones de las fuentes naturales. N/S = No significativo y N/A = No aplica. Por cuestiones del redondeo, es posible que la suma de los tipos de fuentes no sea igual al 100%.

Fuente: Elaboración propia con datos del anuario estadístico, Balance Energético Estatal de Puebla 2020, CONAGUA, CONAFOR, CONEVAL, diagnóstico básico para la gestión integral de los residuos, EPA (AP-42, WebFire, Evaporative Emissions from On-road Vehicles in MOVES2014, MOVES-México), Gobierno del Estado de Puebla, Hojas técnicas de pinturas y recubrimientos (Sherwin Williams, Nervion pinturas, Axalta, Comex), INEGI (DENUE, ENIGH, Censo de Población y Vivienda, EMIM, Censos económicos, Volumen total del mercado de pintura para repintado automotriz, longitud de la red de calles por municipio, Banco de Información Económica), Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, SENER (SIE, Balance Nacional de Energía, Comisión Reguladora de Energía), POWER-Data Access Viewer Prediction Of Worldwide Energy Resource, Modelo Mexicano de Biogás, SAGARPA, SEMARNAT, Secretaría de Salud, entre otros.

La contribución mayoritaria de emisiones antropogénicas por contaminante se describe a continuación:

- Las partículas **PM_{10} y $PM_{2.5}$,** de las fuentes de área, proviene casi en su totalidad de las **ladrilleras por la quema de leña** para la fabricación de ladrillos y de la combustión doméstica que incluye a las **viviendas que utilizan leña** para cocinar sus alimentos;
- El **SO_2** de las fuentes puntuales, se genera en la **fabricación de cemento y cal,** donde se utiliza coque de petróleo como combustible;
- El **CO** de las fuentes móviles carreteras se genera en la **combustión interna de la gasolina y diésel**; y el proveniente de las fuentes de área**,** se genera principalmente en la **combustión doméstica por el uso de leña**, le siguen en orden de importancia la quema de biomasa en el sector agrícola y en los incendios forestales;
- Los **NO_X** y el **CO** de las fuentes móviles, provienen de la cantidad masiva de **autos particulares** en circulación y del uso intensivo de los **vehículos de carga de mercancías y motocicletas**;
- Los **COV** de las fuentes de área lo aporta la **combustión doméstica por el uso de leña**, las fugas generadas por el manejo y distribución de gas LP (incluyendo los componentes del gas LP no quemados en instalaciones domésticas) y el uso doméstico de solventes contenidos en productos de uso cotidiano como aromatizantes, insecticidas, entre otros;
- El **NH_3** de las fuentes de área, se genera principalmente en los desechos de las aves, del ganado porcino y bovino;
- El **CO_2** de las fuentes puntuales, se genera principalmente en los procesos de la **fabricación del cemento y la cal**, y le sigue el proveniente de la combustión doméstica y de la generación de energía eléctrica por la quema del gas natural;
- Del **CH_4** de las fuentes de área, la principal aportación se genera en los rellenos sanitarios y el proveniente de las excretas de ganado;
- El **N_2O** de las fuentes de área se genera principalmente en la categoría de **emisiones ganaderas**;
- El **propano** de las fuentes de área proviene casi en su totalidad del Uso y manejo del gas LP, donde se incluyen los **componentes del gas LP no quemados en instalaciones domésticas** (HCNQ);
- El **Benceno** de las fuentes de área se genera casi en su totalidad por la **quema de leña de uso doméstico y**
- El **Tolueno** de las fuentes de área, se genera por la **quema de leña** y por el uso de pintura base solvente;

Diagnóstico de las emisiones contaminantes generadas en el estado de Puebla

Para la elaboración de medidas y/o acciones de control o reducción de emisiones, es útil realizar un análisis o diagnóstico de las emisiones asociadas a algún tipo de problemática. De las diferentes emisiones estimadas en el IEEP-2020, se pueden asociar a las siguientes problemáticas:

- Contaminación por partículas (PM_{10} y $PM_{2.5}$)
- Contaminación por ozono (NO_X y COV)
- Cambio climático (CO_2, CH_4, N_2O y CN)
- Contaminación de especies tóxicos

Emisiones relacionadas con la contaminación por partículas suspendidas (PM_{10} y $PM_{2.5}$)

En cuanto a las partículas suspendidas, las fuentes o categorías donde se pueden instrumentar medidas con un mayor potencial de reducción de PM_{10}, son: la combustión doméstica, las ladrilleras, la labranza, los caminos sin pavimentar, quema de residuos agrícola y la industria de alimentos y bebidas; las cuales se generan por la quema de leña utilizado principalmente en la cocción de alimentos, calentamiento de agua y en la quema de ladrillos, por la perturbación de la tierra con la labranza, debido a la resuspensión de polvo durante el paso vehicular sobre las vialidades, por la quema de residuos de las cosechas y por la quema de bagazo de caña de azúcar en el sector de alimentos y bebidas. Tan solo estas seis categorías aportan el 81% (32,644 toneladas) de las emisiones totales generadas de este contaminante en el estado de Puebla.

En la Figura 85, se muestran las principales categorías generadoras de PM_{10} en el estado de Puebla.

Referente a las partículas suspendidas menores a 2.5 micrómetros, las fuentes o categorías donde se pueden instrumentar medidas con un mayor potencial de reducción de $PM_{2.5}$, son cuatro de las seis categorías de mayor emisión de PM_{10} (combustión doméstica, las ladrilleras, la quema agrícola y la industria de alimentos y bebidas). Estas cuatro categorías en suma aportan el 74.6% (20,263 toneladas) de las emisiones totales generadas de este contaminante en el estado de Puebla.

En la Figura 86 se muestran las principales categorías generadoras de $PM_{2.5}$ en el estado de Puebla.

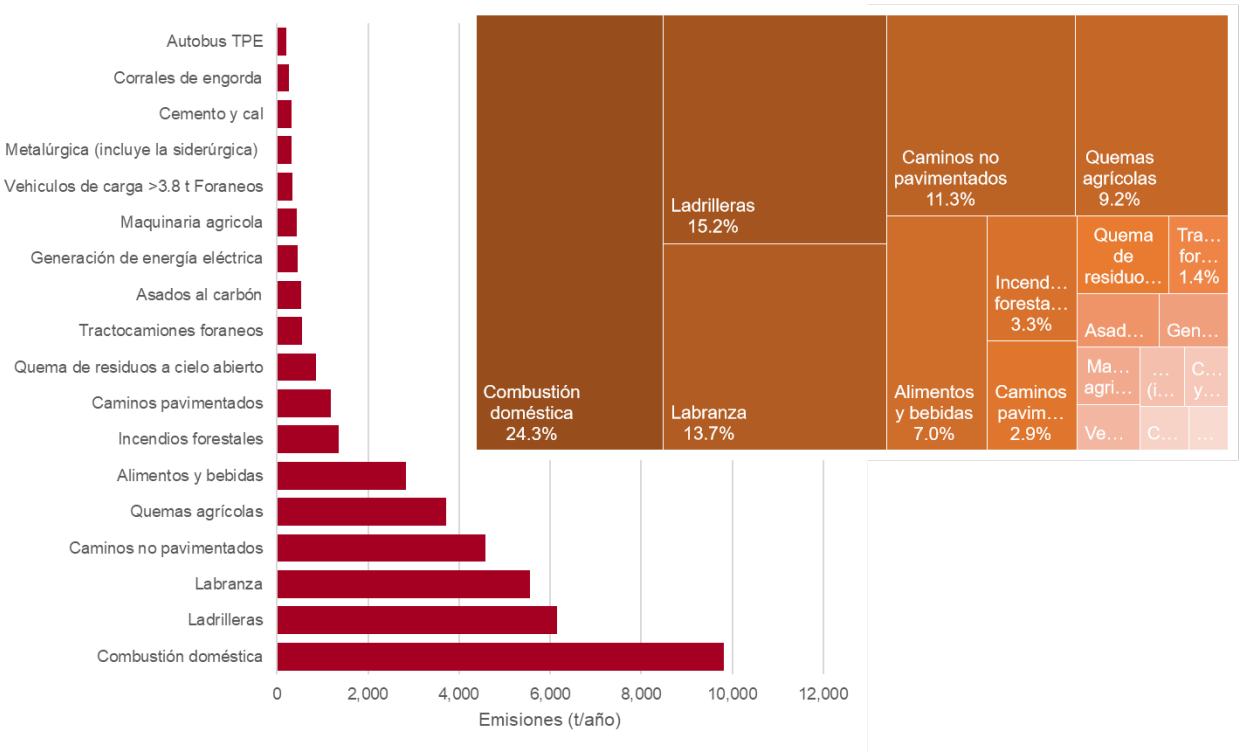


FIGURA 85. EMISIONES DE PM10 DE LAS FUENTES O CATEGORÍAS RELEVANTES

Fuente: Elaboración propia con datos del IEEPuebla-2020.

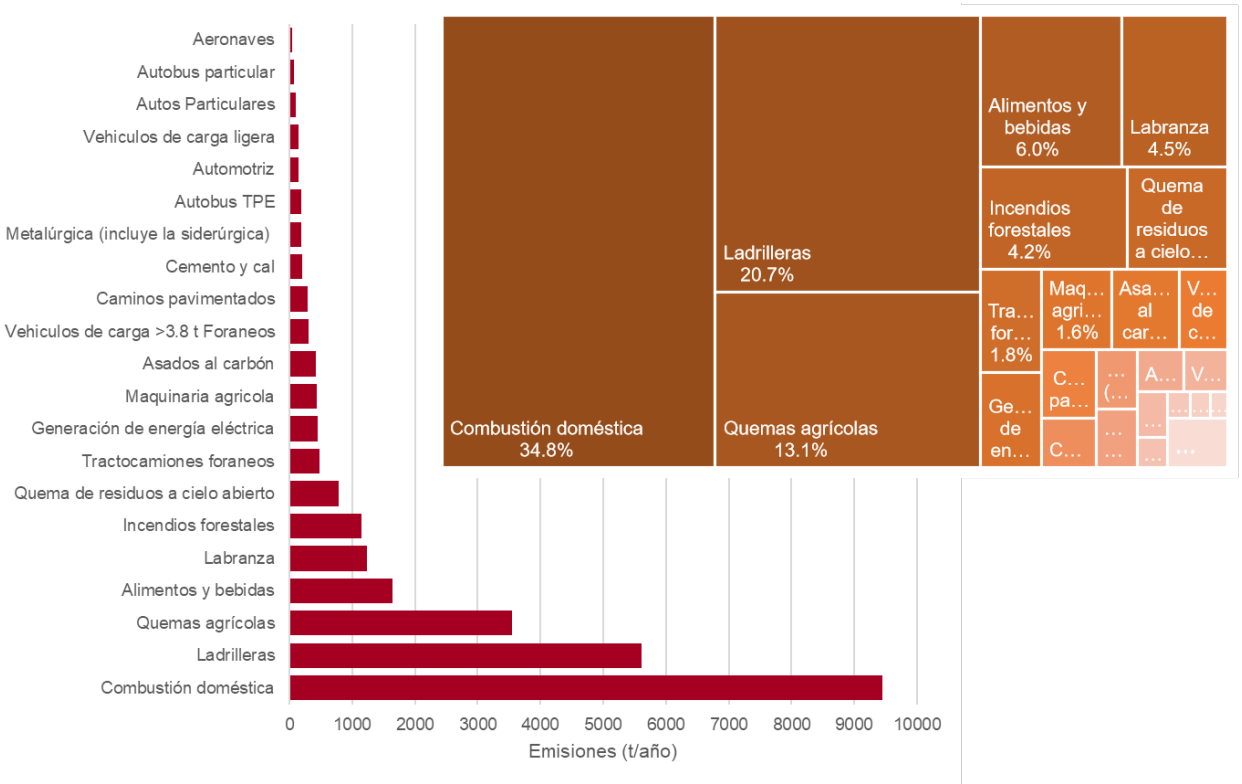


FIGURA 86. EMISIONES DE PM2.5 DE LAS FUENTES O CATEGORÍAS RELEVANTES

Fuente: Elaboración propia con datos del IEEPuebla-2020

Emisiones relacionadas con la contaminación por ozono (NO_X y COV)

Las principales fuentes o categorías que incluyen a los procesos de combustión, a las fugas y compuestos no quemados del gas LP, al uso de solventes en productos de uso doméstico y al uso de pinturas, son las categorías relevantes generadoras de los principales precursores de ozono (NO_X y COV). De manera específica a continuación, se presentan las principales fuentes o categorías generadoras de NO_X y por COV:

Emisiones de NOx

Además de las fuentes móviles carreteras, la presencia del sector industrial son fuentes importantes de emisión de NO_X en el estado de Puebla, en específico en el sector de generación de energía eléctrica y la dedicada a la fabricación de cemento y cal; en igual de importancia las generadas en el sector transporte con los autos particulares, los vehículos de carga ligera y tractocamiones; además de los óxidos de nitrógeno generado en la combustión de la maquinaria agrícola y combustión doméstica; en suma, estas siete categorías aportan el 74.5% (42,386 t) de los NO_X que se generan en el estado.

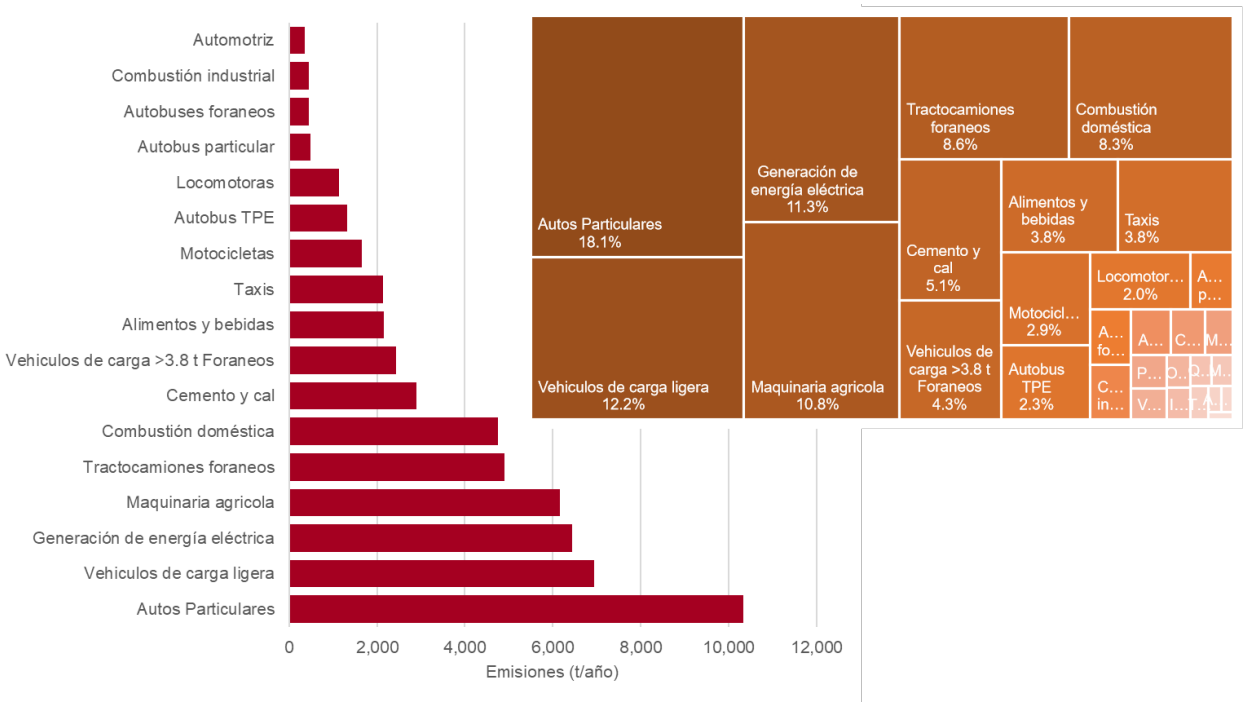


FIGURA 87. EMISIONES DE NOX DE LAS FUENTES O CATEGORÍAS RELEVANTES

Fuente: Elaboración propia con datos del IEEPuebla-2020

En la generación de energía eléctrica se generan emisiones de NO_X por la quema de gas natural y en la fabricación de cemento y cal, por la quema de coque, pero también en los procesos de horneado de la materia prima; en las categorías del sector transporte los NO_X provienen de la combustión interna de

la gasolina y el diésel. Otra fuente importante de este contaminante es la quema de biomasa de leña.

En la Figura 87, se muestran las principales categorías generadoras de NO_X en el estado de Puebla.

Emisiones de COV

A diferencia de los otros contaminantes, las fuentes que generan los COV son más diversas, como se puede observar en la Figura 88.

La combustión doméstica y debido principalmente a la quema de leña, también es una fuente importante de generación de COV, le siguen en orden de importancia las categorías de uso doméstico de solventes, los componentes de gas LP no quemados en instalaciones domésticas y los autos particulares. Estas cuatro categorías en suma aportan el 56% (46,732 toneladas) de los COV generadas en el estado de Puebla.

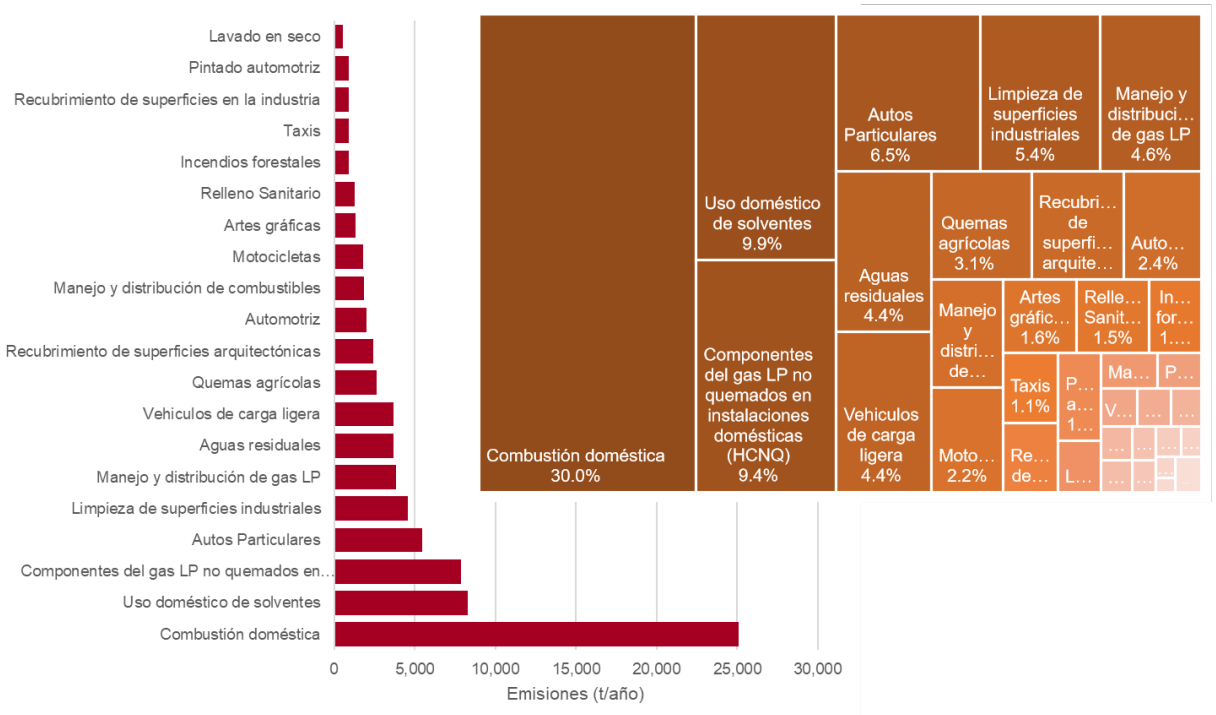


FIGURA 88. EMISIONES DE COV DE LAS FUENTES O CATEGORÍAS RELEVANTES

Fuente: Elaboración propia con datos del IEEPuebla-2020

De los resultados de estimar el potencial de ozono de cada especie que conforman los COV en cada una de las categorías inventariadas, nos indican que las emisiones de COV provenientes de la quema de leña en el sector doméstico son aún más relevantes como potenciadoras en la formación de ozono y le siguen en orden de importancia las categorías de autos particulares

y los vehículos de carga ligera de mercancías, que en total estas tres categorías generan el 66% del potencial de la generación de ozono. Por lo que nos indica que este tipo de análisis es de gran utilidad en las Zonas Metropolitanas de Puebla en donde disminuye la quema de leña y aumentan las emisiones del sector transporte (Figura 89).

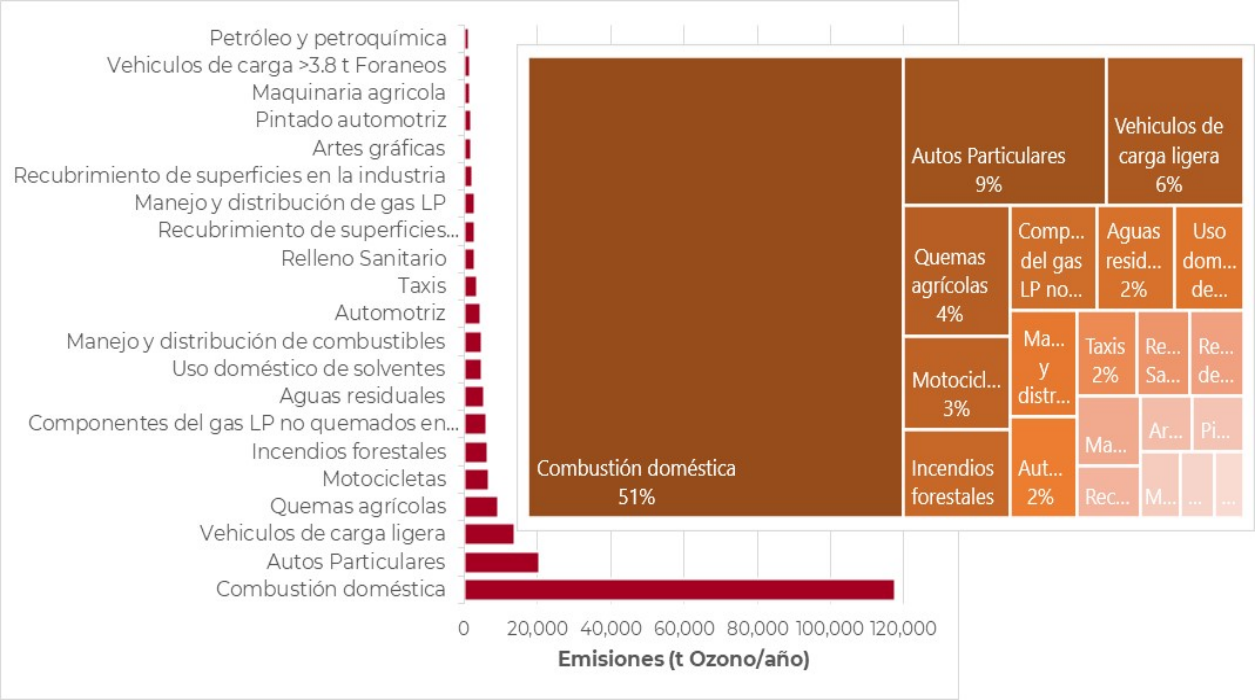


FIGURA 89. EMISIONES TOTALES DE LAS PRINCIPALES ESPECIES FORMADORAS DE OZONO QUE INTEGRAN LOS COV DE LAS FUENTES O CATEGORÍAS RELEVANTES

Fuente: Elaboración propia con datos de los perfiles de la base de datos del SPECIATE 5.2 publicado por la EPA (https://www.epa.gov/air-emissions-modeling/speciate) y datos de las escalas de reactividad incremental máxima desarrollada por William P. L Carter.

Emisiones relacionadas con la contaminación de especies tóxicas

Es importante resaltar que las emisiones de COV, agrupa a varias especies, de las cuales algunas son catalogadas como peligrosas que también son conocidas como contaminantes tóxicos del aire, y son aquellos contaminantes que se sabe o se sospecha que causan cáncer u otros efectos graves para la salud. Con base a la información del SPECIATE elaborado por la EPA, dentro de este proyecto se identificaron y cuantificaron 143 contaminantes tóxicos, aunque solo 20 de ellos representan el 96% de las emisiones totales de estos contaminantes, donde se estimó que anualmente en el estado de Puebla se estarían generando 27,568 toneladas de contaminantes tóxicos.

TABLA 43. INVENTARIO DE EMISIONES DE CONTAMINANTES TÓXICOS POR ESPECIE

No.	Tóxico	t/año	%	% Acumulado
1	Propano	6,563	23.8%	23.8%
2	Benceno	5,349	19.4%	43.2%
3	Tolueno	3,964	14.4%	57.6%
4	Alcohol etílico (o etanol)	3,656	13.3%	70.9%
5	Propileno (o Propeno || 1-Propeno)	1,424	5.2%	76.0%
6	Percloroetileno (o Tetracloroetileno)	773	2.8%	78.8%
7	P-xileno	676	2.5%	81.3%
8	Propilenglicol	620	2.3%	83.5%
9	1,3-butadieno	556	2.0%	85.5%
10	Etilbenceno	430	1.6%	87.1%
11	Fenantreno	355	1.3%	88.4%
12	Acetaldehído	328	1.2%	89.6%
13	Acetato de etilo	282	1.0%	90.6%
14	2,2,4-trimetilpentano	280	1.0%	91.6%
15	Pireno	264	1.0%	92.6%
16	O-xileno	258	0.9%	93.5%
17	Metil t-butil éter (MTBE)	220	0.8%	94.3%
18	Tetracloruro de carbono	215	0.8%	95.1%
19	N-hexano	190	0.7%	95.8%
20	Trans-2-buteno (o (2E)-2-Buteno)	139	0.5%	96.3%
21	Otros (123 especies)	1,024	3.7%	**100.0%**
	Total	**27,568.0**	**100.0%**	

Fuente: Elaboración propia con datos de los perfiles de la base de datos del SPECIATE 5.2 publicado por la EPA (https://www.epa.gov/air-emissions-modeling/speciate).

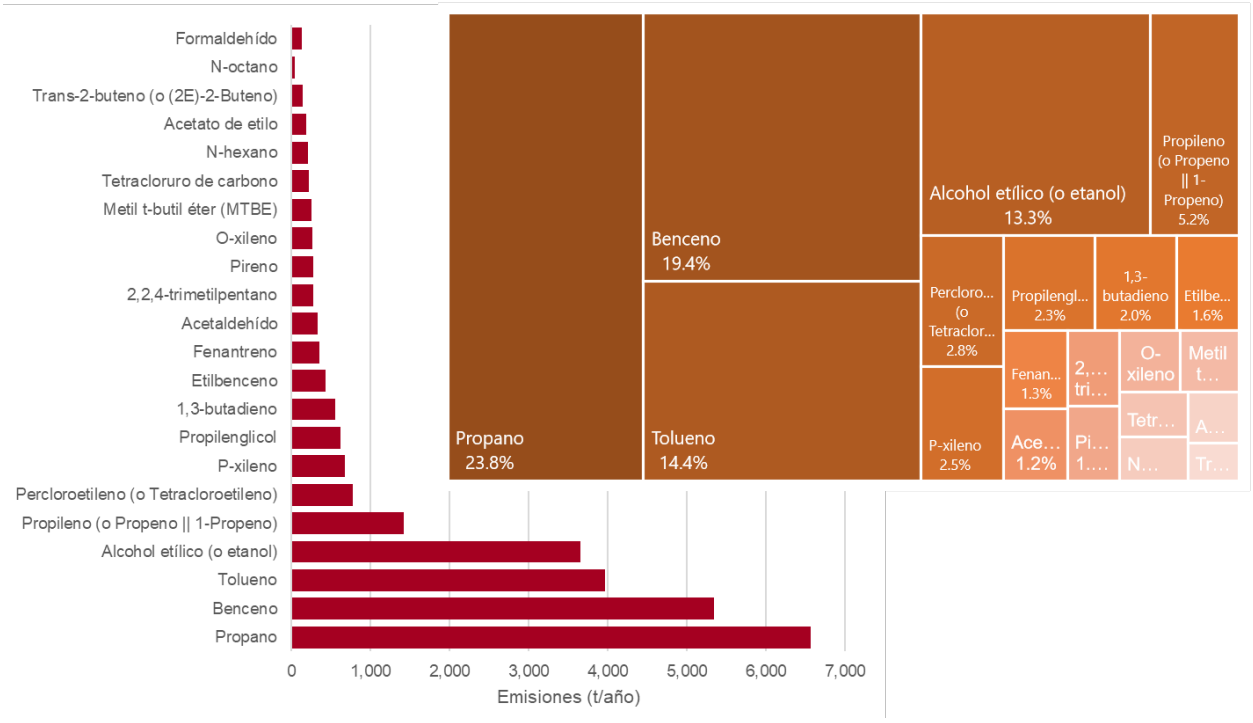


FIGURA 90. EMISIONES PORCENTUALES DE LOS PRINCIPALES CONTAMINANTES TÓXICOS

Fuente: Elaboración propia con datos de los perfiles de la base de datos del SPECIATE 5.2 publicado por la EPA (https://www.epa.gov/air-emissions-modeling/speciate).

Los contaminantes tóxicos que más se generan en Puebla son el propano, el benceno, el tolueno y el etanol, con un aporte del 23.8%, 19.4%, 14.4% y 13.3% respectivamente. Estos cuatro contaminantes tóxicos, suman el 70.9% del total generado en el estado de Puebla. Ver Figura 90.

Las categorías con mayor potencial de reducción de emisiones de contaminantes tóxicos son la combustión doméstica, los componentes del gas LP no quemados en instalaciones domésticas y el uso doméstico de solventes, ya que tan solo estas tres categorías aportan más del 56.2% de las emisiones totales de contaminantes tóxicos.

En la Tabla 44, se muestra el Inventario de Emisiones de Contaminantes Tóxicos por Fuente o Categoría.

TABLA 44. INVENTARIO DE EMISIONES DE CONTAMINANTES TÓXICOS POR FUENTE O CATEGORÍA

Tipo de fuente o categoría	Emisiones		
	t/año	% Individual	% Acumulado
Combustión doméstica	7,984	29.0%	29.0%
Componentes del gas LP no quemados en instalaciones domésticas (HCNQ)	4,127	15.0%	43.9%
Uso doméstico de solventes	3,378	12.3%	56.2%
Manejo y distribución de gas LP	2,007	7.3%	63.5%
Autos Particulares	1,580	5.7%	69.2%
Vehículos de carga ligera	1,063	3.9%	73.1%
Relleno Sanitario	801	2.9%	76.0%
Aguas residuales	745	2.7%	78.7%
Quemas agrícolas	686	2.5%	81.1%
Lavado en seco	526	1.9%	83.1%
Motocicletas	526	1.9%	85.0%
Automotriz	490	1.8%	86.7%
Recubrimiento de superficies arquitectónicas	482	1.7%	88.5%
Incendios forestales	376	1.4%	89.9%
Pintado automotriz	372	1.3%	91.2%
Panificación	369	1.3%	92.5%
Manejo y distribución de combustibles	282	1.0%	93.6%
Taxis	268	1.0%	94.5%
Artes gráficas	261	0.9%	95.5%
Maquinaria agrícola	208	0.8%	96.2%
Recubrimiento de superficies en la industria	200	0.7%	97.0%
Asfaltado	185	0.7%	97.6%
Vehículos de carga >3.8 t Foráneos	89	0.3%	98.0%
Aplicación de plaguicidas	89	0.3%	98.3%
Petróleo y petroquímica	78	0.3%	98.6%
Limpieza de superficies industriales	48	0.2%	98.7%
Metalúrgica (incluye la siderúrgica)	41	0.1%	98.9%
Tractocamiones foráneos	37	0.1%	99.0%
Alimentos y bebidas	36	0.1%	99.2%
Pintura para señalización vial	35	0.1%	99.3%
Quema de residuos a cielo abierto	30	0.1%	99.4%
Ladrilleras	30	0.1%	99.5%
Locomotoras	20	0.1%	99.6%
Microbuses y Vagonetas TPE	16	0.1%	99.6%
Autobús TPE	14	0.1%	99.7%
Generación de energía eléctrica	13	0.0%	99.7%
Combustión industrial	12	0.0%	99.8%
Asados al carbón	12	0.0%	99.8%
Combustión comercial	12	0.0%	99.9%
Vehículos de carga >3.8 t	9	0.0%	99.9%

Tipo de fuente o categoría	Emisiones		
	t/año	% Individual	% Acumulado
Autobuses foráneos	5	0.0%	99.9%
Autobús particular	5	0.0%	99.9%
Otras industrias	5	0.0%	99.9%
Esterilización de material hospitalario	5	0.0%	100.0%
Aeronaves	4	0.0%	100.0%
Cemento y cal	3	0.0%	100.0%
Industria textil	1	0.0%	100.0%
Tractocamiones	1	0.0%	100.0%
Química	1	0.0%	100.0%
Minerales no metálicos	0.2	0.0%	100.0%
Celulosa y papel	0.1	0.0%	100.0%
Combustión agrícola	0.1	0.0%	100.0%
Papel y cartón	0.03	0.0%	100.0%
Impresión	0.02	0.0%	100.0%
Plástico y hule	0.02	0.0%	100.0%
Tratamiento de residuos peligrosos	0.02	0.0%	100.0%
Mezclas químicas	0.02	0.0%	100.0%
Extracción/Beneficio minerales no metálicos	0.02	0.0%	100.0%
Derivados del petróleo y carbón	0.01	0.0%	100.0%
Pinturas y tintas	0.004	0.0%	100.0%
Industria de la madera	0.003	0.0%	100.0%

Fuente: Elaboración propia con datos de los perfiles de la base de datos del SPECIATE 5.2 publicado por la EPA (https://www.epa.gov/air-emissions-modeling/speciate).

4.4.3. Emisiones generadas por municipio

La Tabla 45, contiene las emisiones generadas por municipio, donde podemos observar que el municipio de Puebla es el mayor emisor de casi todos los contaminantes, excepto de las emisiones de $PM_{2.5}$ y SO_2 que se generan mayoritariamente en el municipio de San Pedro Cholula y Acajete por las ladrilleras y el sector de fabricación de cemento y cal respectivamente, tanto por la utilización de leña para la cocción de ladrillos y coque de petróleo como por las reacciones que se llevan a cabo en el horneado de la materia prima para la fabricación de cemento y cal.

Tabla 45. Emisiones generadas en los municipios Poblanos

Municipio	Emisiones (t/año)								
	PM_{10}	$PM_{2.5}$	SO_2	CO	NO_X	COV	NH_3	CN	CO_2e
Puebla	**4,151**	1,512	425	**64,800**	**15,249**	**20,833**	**1,799**	**233**	**3,157,531**
Cuautlancingo	1,090	779	49	7,363	2,264	4,297	194	28	2,188,274
Cuautinchán	97	69	47	1,015	788	1,233	85	7	1,648,081
Palmar de Bravo	491	334	909	1,981	2,829	1,772	798	27	1,480,021
Rafael Lara Grajales	78	64	8	875	2,111	1,419	69	6	855,016
San Pedro Cholula	3,585	**3,102**	53	11,252	1,646	3,243	253	82	791,040
Tehuacán	1,327	1,010	69	13,661	2,126	5,456	5,163	128	607,872
Acajete	274	183	**2,438**	1,992	881	1,361	227	23	584,593
Huejotzingo	340	242	40	3,449	4,162	2,160	375	28	484,680
San Martín Texmelucan	318	188	21	3,845	3,431	3,108	374	24	483,154
Chietla	2,872	1,701	136	3,204	1,262	9,252	168	230	423,018
San Miguel Xoxtla	208	110	3	484	632	1,275	35	3	350,978
San Andrés Cholula	512	220	41	7,720	2,033	3,525	283	28	273,618
Atlixco	469	278	29	5,119	2,020	5,503	499	37	269,446
Izúcar de Matamoros	672	505	119	4,839	1,084	8,303	296	61	242,932
San Felipe Tepatlán	33	30	1	245	433	2,745	69	4	210,721
Tecamachalco	421	285	18	3,011	1,013	2,588	4,305	35	210,458
Ajalpan	772	684	20	4,364	472	2,234	848	60	206,835
Zacatlán	490	357	20	3,710	763	2,027	478	43	192,780

Municipio	Emisiones (t/año)								
	PM_{10}	$PM_{2.5}$	SO_2	CO	NO_X	COV	NH_3	CN	CO_2e
Huauchinango	425	329	23	3,852	810	2,385	330	43	151,739
Amozoc	279	192	18	2,748	965	2,457	236	25	144,691
Coronango	1,717	1,526	19	4,280	888	2,109	107	39	143,248
Teziutlán	328	201	17	3,063	935	4,590	227	20	142,694
Chalchicomula de Sesma	471	332	25	3,294	905	2,231	531	35	141,360
Tepeaca	232	145	125	2,385	1,003	2,163	312	20	136,955
Chignahuapan	676	458	15	3,323	934	2,272	530	40	135,623
Quecholac	201	136	9	1,483	877	2,572	248	17	129,741
Tlacotepec de Benito Juárez	353	247	13	2,171	604	1,556	2,767	30	127,095
Tlachichuca	581	434	34	4,208	540	1,376	1,588	40	126,308
Xicotepec	259	209	12	2,372	639	2,419	553	28	107,985
Tochtepec	139	91	6	826	399	1,078	1,619	11	101,546
Cuyoaco	496	288	8	2,547	686	1,812	542	30	100,025
Tepemaxalco	15	8	0	52	235	4,563	13	1	96,555
Tlatlauquitepec	306	211	12	2,241	537	1,392	351	26	87,133
Coxcatlán	448	288	23	1,079	539	3,770	135	38	80,501
Zautla	325	260	21	2,697	367	986	147	25	79,628
Tlahuapan	260	181	10	1,588	575	1,685	311	20	79,616
Libres	278	182	14	1,837	907	2,391	265	20	77,988
San Salvador el Seco	244	157	12	1,397	478	1,183	443	17	77,582
Cuetzalan del Progreso	240	209	9	1,927	734	2,913	400	26	76,221
Acatlán	217	151	10	1,849	456	2,806	270	20	72,884
Zacapoaxtla	226	168	10	1,827	623	1,669	170	20	71,715
Tepanco de López	137	91	6	848	651	2,136	3,976	11	67,454
Acatzingo	189	115	8	1,408	533	1,359	202	15	66,282
Oriental	139	92	8	770	444	1,026	869	11	63,077
Santiago Miahuatlán	139	113	7	902	587	1,994	273	11	62,321
Ocoyucan	86	61	6	999	531	1,323	203	9	59,217
Chiautla	225	155	9	1,293	505	4,463	127	22	57,422
Ixtacamaxtitlán	237	155	8	1,202	478	1,067	343	19	56,396
Guadalupe Victoria	121	71	4	576	644	1,821	2,662	8	55,073
Tepeyahualco	272	173	11	1,409	365	803	246	18	54,590
Juan C. Bonilla	539	469	7	1,499	897	2,709	79	13	54,260
Chignautla	179	136	11	1,539	725	2,168	137	15	53,089
Tetela de Ocampo	189	150	8	1,350	360	868	180	19	51,852
Vicente Guerrero	223	186	7	1,493	515	1,631	202	22	50,649
Xiutetelco	149	109	7	1,258	529	1,522	137	14	50,560
Cañada Morelos	179	130	8	1,171	585	1,582	381	16	50,064
Nopalucan	189	112	7	958	829	2,390	210	13	49,062
Altepexi	119	92	7	774	672	2,332	78	12	48,367
San José Chiapa	108	69	5	455	431	2,032	146	7	48,039
Atoyatempan	67	51	3	472	802	2,684	240	6	47,529
Huaquechula	221	133	8	1,065	813	4,207	177	16	47,341
San Salvador el Verde	108	80	6	874	396	1,109	159	10	45,691
Yehualtepec	154	115	6	890	748	2,150	1,446	10	43,454
Venustiano Carranza	98	71	5	644	577	2,833	204	11	43,371
Hueytamalco	133	93	5	877	594	3,302	395	13	43,014
Tepexi de Rodríguez	183	111	6	1,086	500	2,845	154	13	42,088
Tulcingo	194	159	16	1,773	219	1,680	74	14	40,807
San José Miahuatlán	308	272	7	923	359	1,668	888	11	39,884
Tecali de Herrera	97	67	6	780	519	1,327	111	9	38,906
Chichiquila	173	151	5	1,205	429	1,547	156	18	38,434
Zoquitlán	163	142	5	1,124	409	3,253	186	18	38,433
General Felipe Ángeles	137	94	7	969	729	2,249	133	9	37,759
San Matías Tlalancaleca	91	63	10	474	468	1,307	131	5	37,458
Chilchotla	151	118	6	1,038	583	1,847	152	12	36,797
San Gregorio Atzompa	46	27	3	532	632	1,865	163	4	36,182
Tlaola	147	132	5	1,062	942	5,195	195	17	36,139
Zinacantepec	90	70	6	640	416	1,663	948	9	35,821
San Nicolás Buenos Aires	171	102	4	644	520	1,429	174	12	35,250
Jolalpan	142	104	4	766	364	6,270	112	13	34,520
San Sebastián Tlacotepec	181	146	5	886	561	6,173	287	18	33,423
Tochimilco	117	83	4	738	256	732	134	10	33,334
Los Reyes de Juárez	76	46	4	686	836	2,527	85	6	33,304
Pantepec	102	81	4	661	602	2,669	206	11	32,941
Atempan	85	63	5	769	761	2,356	120	8	32,544
San Gabriel Chilac	76	57	3	570	385	1,587	109	7	31,651
Coyomeapan	258	224	7	1,133	321	2,268	140	27	31,172
Francisco Z. Mena	110	77	4	523	1,320	6,843	432	11	31,001
Huehuetla	121	110	4	895	557	2,919	131	13	30,165
Pahuatlán	71	63	3	572	528	2,440	121	8	30,135

Municipio	Emisiones (t/año)								
	PM_{10}	$PM_{2.5}$	SO_2	CO	NO_X	COV	NH_3	CN	CO_2e
Chiconcuautla	116	105	3	886	456	3,286	136	13	30,127
Esperanza	99	63	5	544	857	2,441	135	8	28,976
Tehuitzingo	107	72	4	637	529	8,000	76	9	28,929
Quimixtlán	109	92	4	770	568	2,607	114	12	28,739
Huitzilan de Serdán	109	101	3	885	480	1,970	141	13	27,724
Tlacuilotepec	111	100	4	734	376	2,960	235	13	27,264
Ahuacatlán	93	82	3	712	281	1,478	115	10	27,208
San Salvador Huixcolotla	47	31	4	473	751	2,249	44	4	27,136
Tilapa	94	66	7	504	469	4,179	72	8	27,071
Tepatlaxco de Hidalgo	86	62	6	707	431	1,217	77	6	26,502
Chiautzingo	74	51	4	614	335	878	76	7	26,364
Tepeojuma	82	57	7	450	366	4,112	55	7	25,837
Zaragoza	69	40	4	549	364	946	90	5	25,716
Soltepec	86	54	4	487	530	1,480	119	6	25,006
Eloxochitlán	106	91	3	744	431	3,210	218	11	24,869
Tepexco	148	85	3	460	458	6,177	74	9	24,705
Santa Inés Ahuatempan	61	40	2	317	215	2,095	76	6	23,293
Atzitzintla	90	58	3	451	393	1,071	134	7	23,283
Xochitlán de Vicente Suárez	70	63	3	565	520	2,052	84	8	22,868
Aquixtla	69	48	3	397	394	1,137	144	6	22,777
Atzitzihuacán	104	62	3	423	550	2,242	107	7	22,251
Calpan	69	45	3	477	460	1,264	75	6	22,136
Huitziltepec	41	27	1	248	332	1,013	684	3	22,131
Jalpan	67	55	3	461	481	3,090	254	8	21,778
Cuautempan	74	59	4	583	422	1,812	114	6	21,573
Zihuateutla	71	54	2	429	400	1,962	377	7	21,535
Tepeyahualco de Cuauhtémoc	30	20	1	182	544	1,748	589	2	21,347
Ocotepec	111	72	5	771	397	1,154	80	6	21,275
Tianguismanalco	59	41	3	464	390	1,127	91	5	21,268
San Nicolás de los Ranchos	70	50	4	585	211	522	50	6	21,075
Tenampulco	86	50	2	335	560	2,039	120	6	20,822
Nealtican	48	29	3	432	550	1,542	42	4	20,689
Olintla	83	74	2	612	447	3,728	118	9	20,661
Santa Isabel Cholula	46	30	4	430	650	1,874	71	4	20,597
Huehuetlán el Chico	67	46	3	352	299	4,153	62	6	20,431
Tepetzintla	88	77	3	599	312	1,785	90	9	20,208
Tlanepantla	25	17	1	194	597	1,894	89	2	20,159
Acateno	75	46	2	316	411	2,053	188	6	19,413
Teopantlán	37	27	1	231	217	4,599	39	3	19,364
Hueyapan	57	46	2	418	449	4,496	91	6	19,306
Lafragua	78	51	3	436	529	1,505	94	6	19,191
Ayotoxco de Guerrero	59	37	2	301	252	889	126	5	18,976
Xochitlán Todos Santos	74	46	2	317	383	1,163	86	5	18,975
Tlapanalá	85	48	3	371	514	3,245	60	5	18,527
Santo Tomás Hueyotlipan	34	21	2	321	525	1,578	59	3	17,967
Petlalcingo	65	40	2	354	287	2,007	134	5	17,603
Jopala	52	43	2	343	795	3,056	231	6	17,473
Aljojuca	45	29	2	262	299	894	93	3	17,177
San Juan Atenco	66	38	3	302	414	1,084	84	5	16,798
Ahuazotepec	46	29	3	366	333	900	64	4	16,571
Zapotitlán	49	32	2	328	176	501	77	4	16,340
Tzicatlacoyan	37	27	2	296	126	524	57	4	16,301
San Felipe Teotlalcingo	44	29	2	300	598	1,773	64	4	15,656
Ixcaquixtla	57	29	2	360	372	1,075	65	3	15,461
Acteopan	64	39	1	232	281	2,914	34	4	15,231
Cuapiaxtla de Madero	31	19	3	265	672	2,092	62	3	14,883
Naupan	52	44	2	369	756	4,661	93	6	14,485
Epatlán	49	35	3	264	526	9,511	36	4	14,292
Domingo Arenas	42	33	2	315	790	2,583	36	4	13,894
Huehuetlán el Grande	54	33	2	231	455	4,452	56	4	13,889
Mazapiltepec de Juárez	48	29	2	213	625	1,854	75	3	13,644
Guadalupe	57	30	2	279	848	9,787	81	4	13,286
Zacapala	62	37	2	261	417	5,749	64	5	13,032
Ixtepec	48	44	1	379	804	3,183	54	5	12,955
Molcaxac	52	28	2	288	354	2,051	65	3	12,713
Caltepec	44	28	1	220	170	1,011	141	3	12,712
Hermenegildo Galeana	44	39	1	331	1,143	4,431	103	5	12,650
Cohuecan	45	26	1	177	347	2,023	32	3	12,479
Tecomatlán	47	28	2	240	280	6,084	50	3	12,347
Chapulco	43	35	2	251	354	1,102	45	3	12,184
Huatlatlauca	41	25	1	242	669	4,704	45	3	11,968

Municipio	Emisiones (t/año)								
	PM_{10}	$PM_{2.5}$	SO_2	CO	NO_X	COV	NH_3	CN	CO_2e
Nicolás Bravo	33	26	1	245	227	623	44	4	11,432
Juan Galindo	22	14	1	241	520	2,287	25	2	11,415
Coatzingo	39	27	1	216	339	4,465	33	3	11,401
Piaxtla	41	25	2	213	185	3,534	37	3	11,288
Tlapacoya	52	40	1	268	384	1,458	117	5	11,277
Hueytlalpan	44	38	1	318	595	2,349	60	5	11,202
Chila	31	21	1	235	685	6,007	53	3	11,067
Tlaltenango	37	22	2	177	587	1,894	60	2	11,020
Juan N. Méndez	48	29	1	208	378	1,160	58	3	10,906
Zongozotla	35	30	2	305	44	2,535	68	3	10,557
Honey	36	21	1	154	529	1,863	89	3	10,494
San Jerónimo Tecuanipan	31	17	2	191	892	2,800	43	2	10,457
Yaonáhuac	29	19	1	210	346	1,742	52	2	10,447
Tételes de Ávila Castillo	24	14	1	210	681	2,561	40	1	10,357
Tlaxco	32	27	1	217	284	1,258	135	4	10,121
Tepango de Rodríguez	30	27	1	234	94	6,193	53	3	9,755
Amixtlán	33	29	1	248	268	2,074	90	4	9,593
Ixcamilpa de Guerrero	40	26	1	167	136	2,963	39	4	9,582
Tuzamapan de Galeana	31	21	1	172	197	850	72	3	9,523
Xochiltepec	28	18	2	146	344	7,057	27	2	8,972
Cuayuca de Andrade	38	22	1	146	277	6,353	35	3	8,540
San Pedro Yeloixtlahuaca	22	13	1	131	287	4,600	41	2	8,335
San Jerónimo Xayacatlán	20	14	1	154	249	2,007	39	2	8,184
San Antonio Cañada	27	23	1	212	234	1,942	159	3	7,939
Jonotla	30	20	1	159	612	2,736	73	2	7,505
Ahuatlán	28	18	1	137	231	4,030	38	3	7,302
Atexcal	33	17	1	141	316	1,145	81	2	7,172
Xochiapulco	23	17	1	142	308	1,300	30	2	7,056
Teotlalco	29	17	1	109	269	6,955	24	2	6,740
Zapotitlán de Méndez	16	14	1	123	189	982	46	2	6,560
Atzala	21	15	2	103	735	6,020	25	2	6,343
San Pablo Anicano	19	11	1	107	378	5,786	40	2	6,144
Chigmecatitlán	6	4	0	41	609	5,784	8	1	5,834
Chinantla	19	11	1	113	690	7,916	21	2	5,793
Coyotepec	32	13	1	110	371	1,407	37	1	5,715
Nauzontla	15	11	1	104	480	1,729	24	1	5,644
Cohetzala	19	12	1	75	125	3,123	19	2	5,348
Zoquiapan	21	15	1	120	128	942	37	2	5,317
Camocuautla	18	16	1	131	91	2,067	34	2	5,265
Ahuehuetitla	28	14	1	112	208	3,929	27	1	5,131
Xicotlán	16	10	1	62	105	2,611	18	2	5,102
Caxhuacan	12	10	1	92	293	1,013	36	1	4,641
Mixtla	10	5	2	79	507	1,587	12	1	4,387
Chila de la Sal	10	7	1	55	231	8,730	11	2	4,265
Axutla	12	7	1	59	132	5,446	14	2	4,212
Albino Zertuche	11	7	0	50	37	1,050	14	1	4,170
San Juan Atzompa	5	3	0	36	418	4,060	11	0	4,158
Santa Catarina Tlaltempan	5	3	0	27	326	3,810	7	0	4,038
San Diego la Mesa Tochimiltzingo	11	7	0	58	151	3,643	27	1	3,936
La Magdalena Tlatlauquitepec	3	1	0	18	456	4,675	12	0	3,934
Atlequizayan	12	10	0	83	684	2,694	26	1	3,832
San Martín Totoltepec	11	5	0	33	235	5,160	19	1	3,594
Totoltepec de Guerrero	10	8	0	48	55	720	14	1	3,211
San Miguel Ixitlán	6	3	0	22	361	2,773	31	1	2,994
Xayacatlán de Bravo	7	5	0	62	97	5,781	9	1	2,826
Coatepec	5	4	0	29	374	1,406	29	0	1,918

Fuente: Elaboración propia con datos del anuario estadístico, Balance Energético Estatal de Puebla 2020, CONAGUA, CONAFOR, CONEVAL, diagnóstico básico para la gestión integral de los residuos, EPA (AP-42, WebFire, Evaporative Emissions from On-road Vehicles in MOVES2014, MOVES-México), Gobierno del Estado de Puebla, hojas técnicas de pinturas y recubrimientos (Sherwin Williams, Nervion pinturas, Axalta, Comex), INEGI (DENUE, ENIGH, Censo de Población y Vivienda, EMIM, Censos económicos, Volumen total del mercado de pintura para repintado automotriz, longitud de la red de calles por municipio, Banco de Información Económica), Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, SENER (SIE, Balance Nacional de Energía, Comisión Reguladora de Energía), POWER-Data Access Viewer Prediction Of Worldwide Energy Resource, Modelo Mexicano de Biogás, SAGARPA, SEMARNAT, Secretaría de Salud, entre otros.

4.4.4. Emisiones generadas en los municipios poblanos que pertenecen a la ZMVP

Del análisis de las emisiones por municipio, se puede identificar a los principales municipios donde se generan la mayor cantidad de contaminantes y de las especies reactivas formadoras de ozono; con lo cual nos permitió analizar en específico a los municipios poblanos que forman parte de la Zona Metropolitana del Valle de Puebla (ZMVP), donde seguramente sus habitantes son los que están expuestos a una concentración mayor de contaminantes y en específico a la contaminación de ozono (Tabla 46).

Tabla 46. Emisiones generadas en los municipios Poblanos que pertenecen a la ZMVP

Municipio	Emisiones (t/año)								
	PM_{10}	$PM_{2.5}$	SO_2	CO	NO_x	COV	NH_3	CN	CO_2e
Coronango	1,717.1	1,525.6	19.5	4,279.7	887.8	2,108.7	107.5	38.6	143,248.3
Cuautlancingo	1,090.2	779.2	49.1	7,362.9	2,263.6	4,296.8	194.3	28.2	2,188,273.8
Chiautzingo	74.4	51.2	3.8	614.2	335.0	878.3	76.5	6.5	26,364.1
Domingo Arenas	42.4	33.2	1.7	315.2	789.6	2,582.6	36.3	4.2	13,894.4
Huejotzingo	340.0	241.6	39.8	3,448.6	4,161.6	2,159.6	374.7	28.0	484,679.6
Juan C. Bonilla	539.1	469.1	6.8	1,498.7	897.0	2,709.1	78.9	13.2	54,259.6
Ocoyucan	86.2	61.4	6.1	999.1	530.7	1,322.6	202.7	8.9	59,217.3
Puebla	4,151.4	1,512.4	424.7	64,800.1	15,248.9	20,832.7	1,799.1	233.0	3,157,531.3
San Andrés Cholula	511.6	219.5	40.6	7,720.4	2,033.5	3,525.1	283.1	28.2	273,617.7
San Felipe Teotlalcingo	44.3	28.5	1.8	300.1	598.5	1,772.7	64.4	3.5	15,655.6
San Gregorio Atzompa	45.8	26.5	3.2	532.4	632.4	1,865.0	162.6	3.7	36,182.4
San Martín Texmelucan	317.8	188.3	21.0	3,844.9	3,430.8	3,107.8	374.2	24.0	483,153.6
San Miguel Xoxtla	207.8	110.3	3.1	484.2	631.6	1,274.7	35.4	3.0	350,978.4
San Pedro Cholula	3,585.3	3,102.0	52.7	11,252.5	1,646.3	3,242.8	253.4	81.6	791,040.1
San Salvador el Verde	108.4	79.8	5.5	874.3	395.8	1,109.0	159.1	10.2	45,690.6
Tepatlaxco de Hidalgo	85.6	62.1	5.8	706.7	431.0	1,216.8	77.3	6.4	26,501.8
Tlaltenango	37.5	22.4	1.5	176.7	587.2	1,893.7	60.5	2.1	11,019.8
ZMVT	**12,984.9**	**8,513.2**	**686.6**	**109,210.7**	**35,501.1**	**55,897.9**	**4,339.9**	**523.2**	**8,161,308.4**

Fuente: Elaboración propia con datos del anuario estadístico, Balance Energético Estatal de Puebla 2020, CONAGUA, CONAFOR, CONEVAL, diagnóstico básico para la gestión integral de los residuos, EPA (AP-42, WebFire, Evaporative Emissions from On-road Vehicles in MOVES2014, MOVES-México), Gobierno del Estado de Puebla, hojas técnicas de pinturas y recubrimientos (Sherwin Williams, Nervion pinturas, Axalta, Comex), INEGI (DENUE, ENIGH, Censo de Población y Vivienda, EMIM, Censos económicos, Volumen total del mercado de pintura para repintado automotriz, longitud de la red de calles por municipio, Banco de Información Económica), Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, SENER (SIE, Balance Nacional de Energía, Comisión Reguladora de Energía), POWER-Data Access Viewer Prediction Of Worldwide Energy Resource, Modelo Mexicano de Biogás, SAGARPA, SEMARNAT, Secretaría de Salud, entre otros.

Emisiones relacionadas con la calidad del aire por partículas suspendidas en la ZMVP

La calidad del aire por partículas suspendidas menores a 10 micrómetros (PM_{10}) y menores a 2.5 micrómetros ($PM_{2.5}$) en la ZMVP está influenciada por su dinámica atmosférica para dispersar o concentrar la carga de emisiones de estos contaminantes, que en mayor medida se generan en los municipios de San Pedro Cholula y Coronango, por la presencia de ladrilleras y en el municipio de Puebla por el polvo que se desprende con el tránsito vehicular en los caminos no pavimentados. Figura 91 y 92.

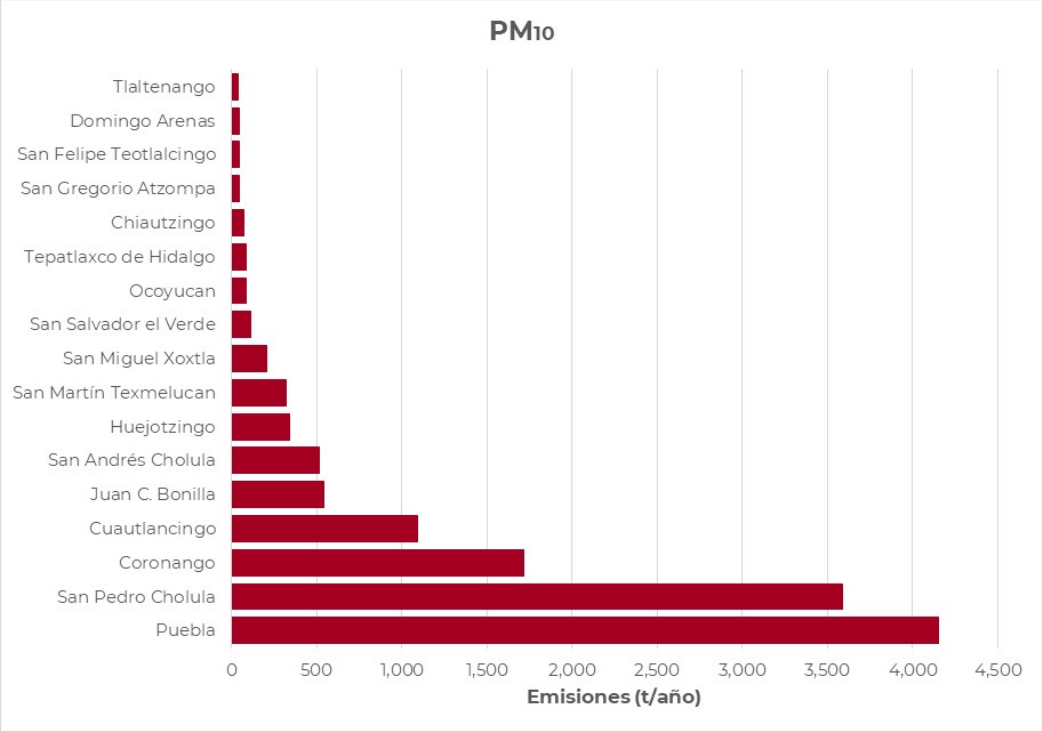


FIGURA 91. EMISIONES DE PM10 GENERADAS EN LOS MUNICIPIOS DE LA ZMVP

Fuente: Elaboración propia con datos del IEEPuebla-2020.

En los municipios de San Pedro Cholula y Coronango, se genera emisiones de partículas debido a la actividad de fabricación de ladrillos donde se utiliza leña como combustible y en el municipio de Puebla por el polvo que se desprende de las vialidades con el tránsito vehicular (Figura 92).

De los inventarios que se han elaborado para el estado de Puebla, siempre resalta como un sector importante en la generación de partículas suspendidas la fabricación de ladrillos. En la ZMVP al año 2020, se tenían registradas 1,767 ladrilleras, y de éstas el 61% se ubican en San Pedro Cholula, el 30% en Coronango y el 9% en Juan C. Bonilla (Mapa 038 y Tabla 47).

TABLA 47. LADRILLERAS REGISTRADAS EN LA ZPVP POR MUNICIPIO

Municipio	Ladrilleras	
	Número	Porcentaje
San Pedro Cholula	1,074	61%
Coronango	534	30%
Juan C. Bonilla	159	9%
Total	**1,767**	**100.0%**

Fuente: Elaborada con datos del DENUE 2021 consultado 07/2022 en https://www.inegi.org.mx/app/descarga/?ti=6.

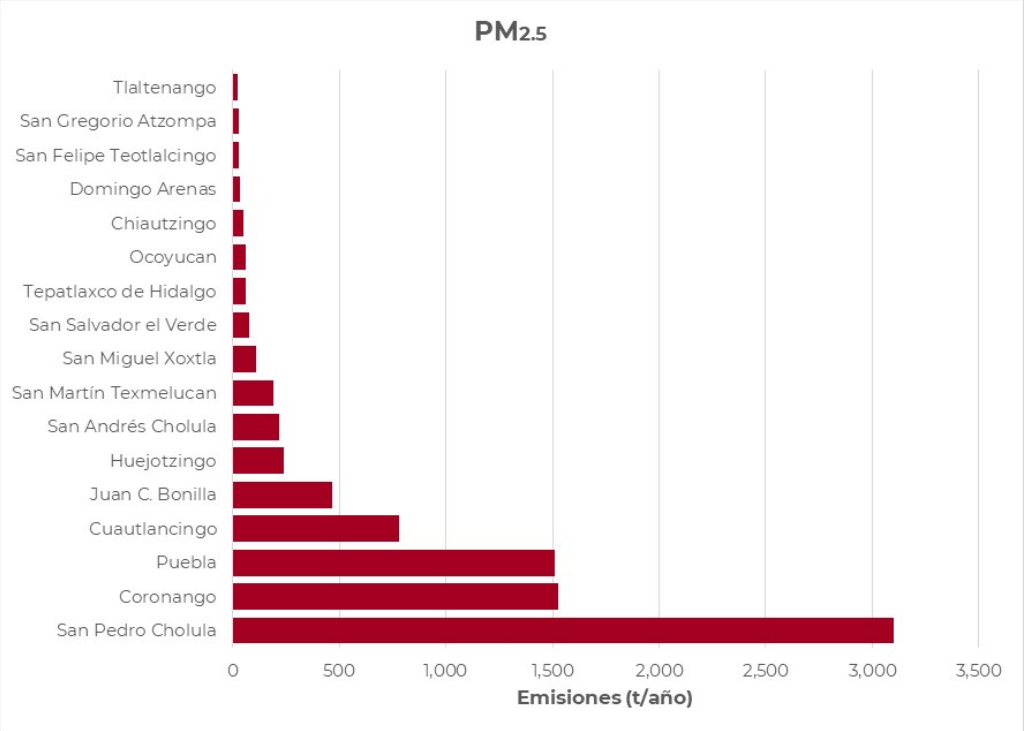


FIGURA 92. EMISIONES DE $PM_{2.5}$ GENERADAS EN LOS MUNICIPIOS DE LA ZMVP

Fuente: Elaboración propia con datos del IEEPuebla-2020.

Por lo que estas 1,767 ladrilleras aportan el 57% de la $PM_{2.5}$. Figura 93.

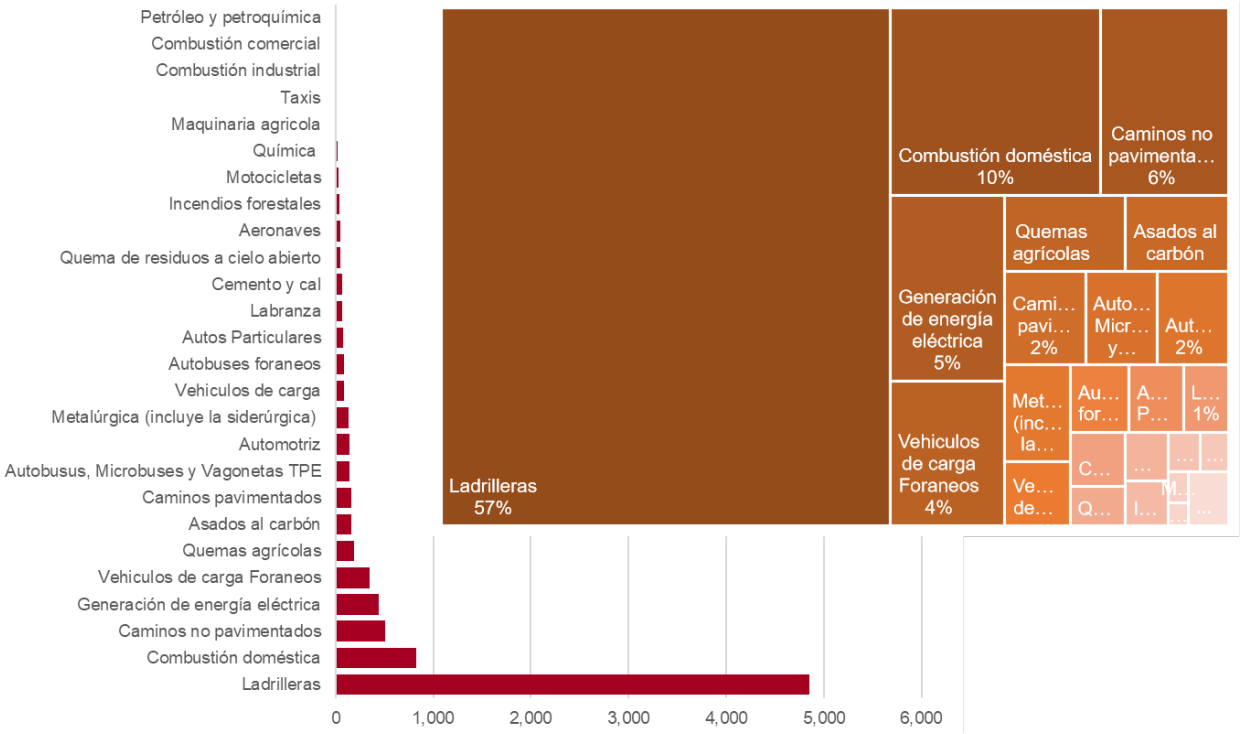
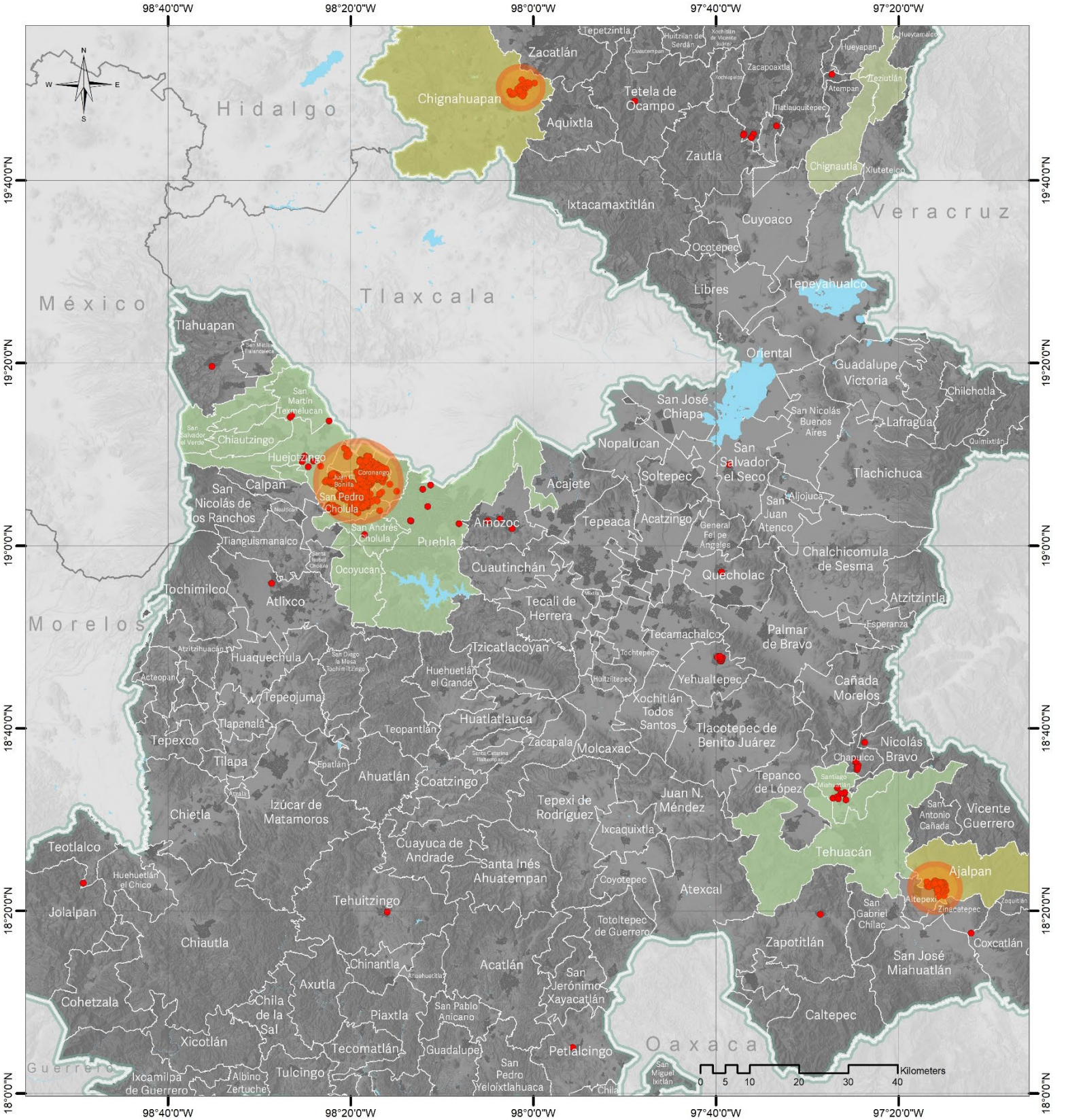


FIGURA 93. EMISIONES DE $PM_{2.5}$ POR SECTOR EN LA ZMVP (2020)

Fuente: Elaboración propia con datos del IEEPuebla-2020.



Simbología

- Límite municipal
- Mancha urbana
- Cuerpos de agua
- Límite del Estado de Puebla
- Límite estatal
- Municipios del Estado de Puebla
- Ladrilleras
- Zona de ubicación masiva de ladrilleras
- Zonas metropolitanas
- Ajalpan y Chignahuapan



M038. Ubicación geográfica de ladrilleras

Fuente: Elaboración Propia con datos del DENUE 2021 consultado 07/2022 en https://www.inegi.org.mx/app/descarga/?ti=6.
Mapa Base: Marco Geoestadistico diciembre 2021, Estado de Puebla, INEGI.

Coordinate System: MEXICO ITRF 2008 LCC
Projection: Lambert Conformal Conic 2SP
Datum: ITRF 2008

Un elemento estratégico para mejorar la calidad del aire es reducir las emisiones generadas por la fabricación de ladrillos (Ladrilleras), debido a que son fuentes que en sus procesos queman combustibles como la leña, lo que genera grandes cantidades de material particulado.

Las ladrilleras son fuentes emisoras que generan contaminantes de forma ostensible e impactan significativamente en la calidad del aire que respiran los habitantes que viven cerca de estas fuentes.

Emisiones Relacionadas con la calidad del aire por ozono en la ZMVP

Los principales precursores de ozono son los NOx y COV.

La mayor generación de NOx, la aportan las fuentes móviles y sobre todo los autos particulares, además de la generación de energía eléctrica. Y la mayor generación de los COV la aportan: el uso doméstico de solventes, los autos particulares y las fugas de gas LP. Figuras 94 y 95.

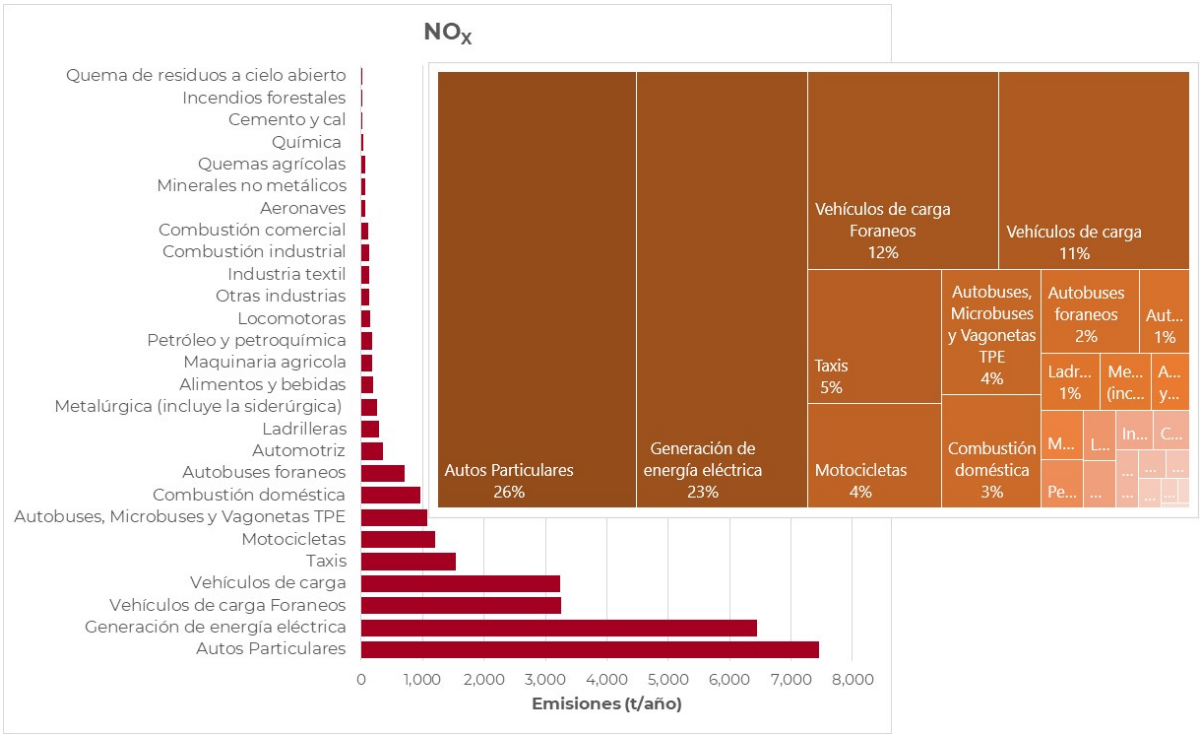


FIGURA 94. EMISIONES DE NO_X GENERADAS EN LA ZMVP

Fuente: Elaboración propia con datos del IEEPuebla-2020.

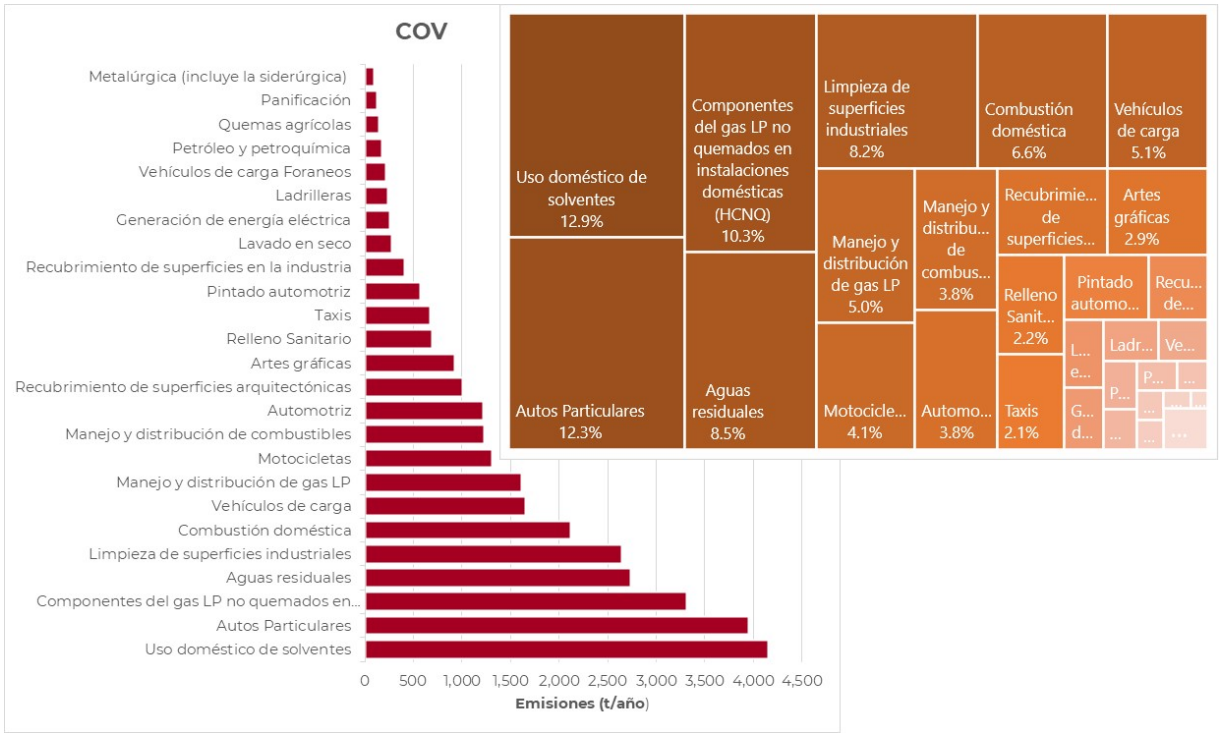


FIGURA 95. EMISIONES DE COV GENERADAS EN LA ZMVP

Fuente: Elaboración propia con datos del IEEPuebla-2020.

A continuación, se presentan las emisiones desagregadas por fuente o categoría de la ZMVP.

TABLA 48. INVENTARIO DE EMISIONES DE CONTAMINANTES CRITERIO Y DE GYCEI, ZMVP

Fuente o categoría	Emisiones (t/año)								
	PM_{10}	$PM_{2.5}$	SO_2	CO	NO_X	COV	NH_3	CN	CO_2e
Fuentes Puntuales	**1,003.7**	**825.6**	**102.9**	**2,119.6**	**7,805.5**	**1,799.5**	**16.3**	**10.0**	**3,276,606.8**
Automotriz	151.8	138.4	4.6	104.3	357.9	1,220.8	2.1	0.4	114,633.5
Celulosa y papel	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Cemento y cal	109.6	62.6	54.5	16.2	23.7	1.0	0.7	0.1	28,963.0
Generación de energía eléctrica	443.1	443.1	7.0	1,483.2	6,438.1	255.7	0.0	6.2	2,256,092.1
Metalúrgica (incluye la siderúrgica)	232.6	132.5	2.8	212.8	255.1	98.5	8.1	1.3	359,970.3
Petróleo y petroquímica	7.4	7.4	0.6	81.3	175.7	172.5	3.1	0.5	134,976.1
Pinturas y tintas	0.6	0.3	0.0	0.0	0.0	2.6	0.0	0.0	478.9
Química	41.3	24.2	0.9	36.9	34.9	32.8	1.5	0.3	68,506.8
Tratamiento de residuos peligrosos	0.0	0.0	0.0	0.1	0.4	0.0	0.0	0.0	334.7
Alimentos y bebidas	5.1	5.1	0.8	56.7	185.8	3.8	0.3	0.4	96,111.4
Derivados del petróleo y carbón	0.0	0.0	0.2	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	92.4
Extracción/Beneficio minerales no metálicos	0.0	0.0	0.6	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	192.4
Impresión	0.0	0.0	0.0	0.5	1.5	0.0	0.0	0.0	697.5
Industria de la madera	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	30.0
Industria textil	4.0	4.0	6.9	43.1	130.2	3.3	0.2	0.3	72,896.5
Mezclas químicas	0.1	0.1	0.0	1.3	4.4	0.1	0.0	0.0	2,258.0
Minerales no metálicos	1.6	1.6	0.6	17.8	59.0	1.2	0.1	0.1	30,168.3
Otras industrias	6.1	6.1	22.9	63.7	133.4	7.1	0.1	0.4	107,436.6
Papel y cartón	0.1	0.1	0.5	1.3	4.4	0.1	0.0	0.0	2,354.0
Plástico y hule	0.0	0.0	0.1	0.2	0.7	0.0	0.0	0.0	414.5
Fuentes de Área	**10,943.1**	**6,860.4**	**140.5**	**18,962.3**	**1,578.3**	**22,446.9**	**4,174.3**	**279.0**	**2,556,837.0**
Combustión comercial	7.9	7.9	9.1	67.2	112.0	6.7	0.1	4.8	112,687.7
Combustión agrícola	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	78.5

Fuente o categoría	Emisiones (t/año)								
	PM_{10}	$PM_{2.5}$	SO_2	CO	NO_X	COV	NH_3	CN	CO_2e
Combustión doméstica	853.2	823.3	83.4	7,127.7	970.3	2,114.3	50.8	123.8	868,217.9
Combustión industrial	9.3	9.3	1.6	100.2	122.6	6.8	0.6	1.1	169,887.4
Artes gráficas	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	925.0	0.0	0.0	0.0
Asfaltado	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	51.7	0.0	0.0	0.0
Lavado en seco	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	281.5	0.0	0.0	0.0
Limpieza de superficies industriales	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2,644.3	0.0	0.0	0.0
Pintado automotriz	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	573.9	0.0	0.0	0.0
Pintura para señalización vial	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	84.8	0.0	0.0	0.0
Recubrimiento de superficies arquitectónicas	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1,010.4	0.0	0.0	0.0
Recubrimiento de superficies en la industria	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	404.3	0.0	0.0	0.0
Uso doméstico de solventes	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4,154.4	0.0	0.0	0.0
Manejo y distribución de gas LP	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1,610.8	0.0	0.0	0.0
Componentes del gas LP no quemados en instalaciones domésticas (HCNQ)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3,311.8	0.0	0.0	0.0
Manejo y distribución de combustibles	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1,231.9	0.0	0.0	0.0
Asados al carbón	206.1	164.5	0.0	410.4	7.6	26.5	0.0	23.0	26,441.4
Panificación	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	126.4	0.0	0.0	0.0
Aplicación de fertilizantes	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	289.0	0.0	0.0
Aplicación de plaguicidas	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	15.2	0.0	0.0	0.0
Emisiones ganaderas	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1,396.4	0.0	121,966.6
Corrales de engorda	11.7	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Labranza	284.6	63.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Aguas residuales	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2,741.2	0.0	0.0	40,189.2
Quema de residuos a cielo abierto	48.9	44.8	1.3	109.3	7.7	11.1	0.0	5.4	1,099.3
Relleno Sanitario	0.0	0.0	0.0	13.1	0.0	694.4	0.0	0.0	893,376.9
Caminos pavimentados	649.4	157.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Caminos no pavimentados	3,312.7	503.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Incendios forestales	47.2	40.1	4.4	468.2	14.0	32.7	4.7	2.9	8,088.7
Emisiones domésticas de NH3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2,398.0	0.0	0.0
Esterilización de material hospitalario	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.6	0.0	0.0	0.0
Quemas agrícolas	198.4	190.9	6.3	1,257.0	57.4	143.5	25.1	22.9	53,833.6
Ladrilleras	5,313.7	4,855.1	34.4	9,409.2	286.5	240.7	9.6	95.1	260,969.6
Fuentes móviles no carreteras	**59.5**	**59.5**	**19.5**	**171.6**	**389.2**	**39.4**	**0.0**	**37.5**	**36,388.5**
Locomotoras	2.9	2.9	10.2	17.9	140.7	5.8	0.0	1.2	6,297.5
Aeronaves	44.0	44.0	7.0	114.9	67.9	19.3	0.0	30.8	22,610.5
Maquinaria agrícola	12.7	12.7	2.2	38.9	180.6	14.4	0.0	5.5	7,480.5
Fuentes móviles carreteras	**978.5**	**767.8**	**423.8**	**87,957.2**	**18,485.9**	**7,909.8**	**149.3**	**196.7**	**2,291,476.1**
Autos Particulares	144.5	76.5	156.4	39,508.3	7,463.9	3,948.2	57.9	15.4	950,807.1
Taxis	26.5	9.4	42.3	7,900.2	1,547.1	668.8	14.0	1.6	257,311.4
Autobuses, Microbuses y Vagonetas TPE	160.1	140.0	27.2	1,145.4	1,076.9	82.8	1.8	29.8	104,627.5
Autobuses foráneos	93.5	82.1	16.2	209.8	702.4	30.2	0.9	23.1	57,983.0
Vehículos de carga	112.3	86.9	50.3	17,478.2	3,237.8	1,651.5	15.0	17.5	293,077.7
Vehículos de carga Foráneos	399.1	346.4	69.0	1,644.6	3,257.3	215.8	4.3	105.9	248,624.7
Motocicletas	42.5	26.3	62.4	20,070.7	1,200.5	1,312.5	55.5	3.3	379,044.8
Fuentes naturales	**N/A**	**N/A**	**N/A**	**N/A**	**7,242.2**	**23,702.4**	**N/A**	**N/A**	**0.0**
Emisiones biogénicas	0.0	0.0	0.0	0.0	7,242.2	23,702.4	0.0	0.0	0.0
Total	**12,984.9**	**8,513.2**	**686.6**	**109,210.7**	**35,501.1**	**55,897.9**	**4,339.9**	**523.2**	**8,161,308.4**

Fuente: Elaboración propia con datos del anuario estadístico, Balance Energético Estatal de Puebla 2020, CONAGUA, CONAFOR, CONEVAL, diagnóstico básico para la gestión integral de los residuos, EPA (AP-42, WebFire, Evaporative Emissions from On-road Vehicles in MOVES2014, MOVES-México), Gobierno del Estado de Puebla, hojas técnicas de pinturas y recubrimientos (Sherwin Williams, Nervion pinturas, Axalta, Comex), INEGI (DENUE, ENIGH, Censo de Población y Vivienda, EMIM, Censos económicos, Volumen total del mercado de pintura para repintado automotriz, longitud de la red de calles por municipio, Banco de Información Económica), Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, SENER (SIE, Balance Nacional de Energía, Comisión Reguladora de Energía), POWER-Data Access Viewer Prediction Of Worldwide Energy Resource, Modelo Mexicano de Biogás, SAGARPA, SEMARNAT, Secretaría de Salud, entre otros.

Para ampliar el análisis de los precursores de ozono, es importante revisar la generación de emisiones de COV por su potencial en la formación de ozono. Los resultados de este análisis se presentan en la Figura 96. Las emisiones de COV generados por los autos particulares tienen el mayor potencial de generación de ozono.

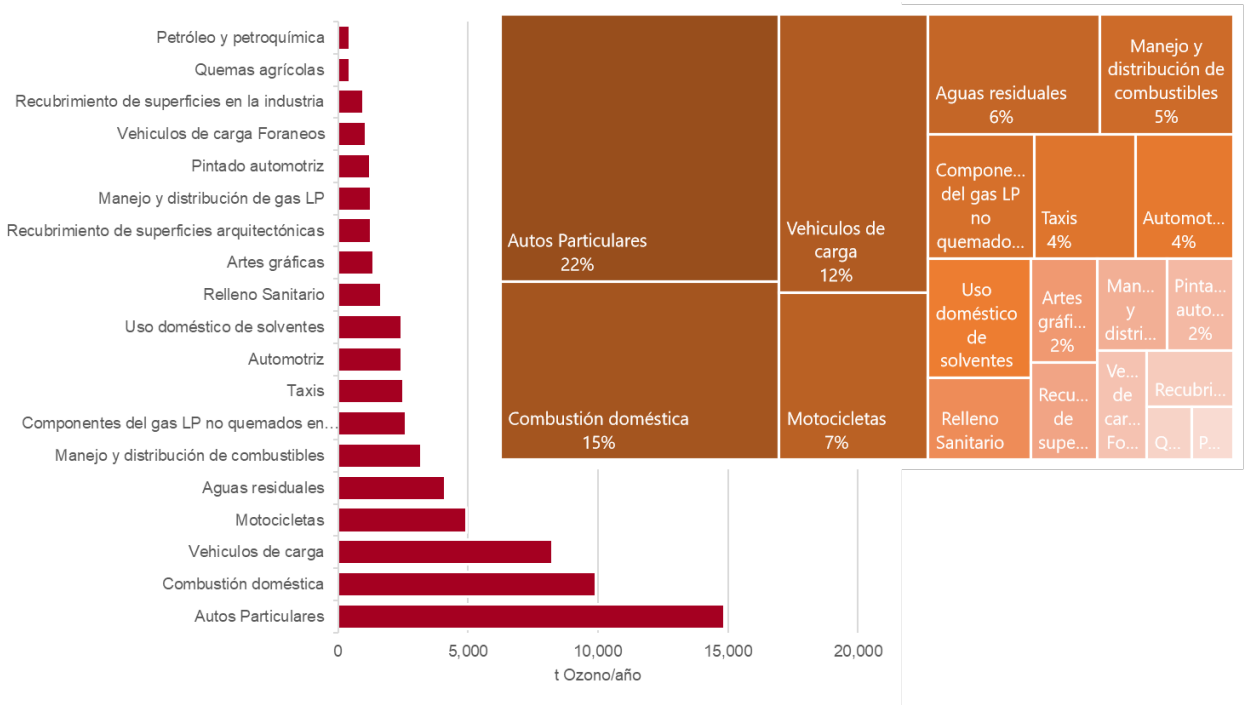


FIGURA 96. EMISIONES DE COV POR SU POTENCIAL EN LA FORMACIÓN DE OZONO (ZMV0P)

Fuente: Elaboración propia con datos del IEEPuebla-2020.

4.5. ANÁLISIS E IDENTIFICACIÓN DE LAS PRINCIPALES FUENTES D03E EMISIONES DE GEI Y CCV6C (CO_2, CH_4, N_2O Y CN)

Los principales gases de efecto invernadero (GEI) son el dióxido de carbono (CO_2), el metano (CH_4) y el óxido nitroso (N_2O). Además de estos gases, existen contaminantes como el carbono negro (CN) que es considerado como un compuesto climático de vida corta (CCVC) por permanecer poco tiempo en la atmósfera, y que además tiene un gran potencial de calentamiento, debido a esto su control y regulación es importante en la mitigación del calentamiento global. En conjunto a los GEI y a los CCVC, se les agrup1a como Gases y Compuestos de Efecto Invernadero (GyCEI).

Se estimó que, en el estado de Puebla en el año 2020 se generaron un poco más de 18 millones de toneladas de dióxido de carbono, más de 96.4 mil toneladas de metano, un poco más de 1,370 toneladas de óxido nitroso y un poco más de 2,808 toneladas de carbono negro. En la Tabla 49, se presentan las emisiones de GyCEI generadas en el Estado de Puebla en el año 2020 por categoría o fuente emisora.

TABLA 49. EMISIONES DE GYCEI GENERADAS EN EL ESTADO DE PUEBLA EN EL AÑO 2020

Fuente o categoría	Emisiones (t/año)				
	CO_2	CH_4	N_2O	CN	CO_2e
Fuentes Puntuales	**8,082,947**	**189**	**40**	**236**	**8,098,718**
Alimentos y bebidas	126,964	1.92	0.19	0.47	127,068
Automotriz	13,933	0.21	0.02	0.05	13,944
Celulosa y papel	3,566,623	30.13	5.87	2.92	3,569,023
Cemento y cal	2,254,760	24.44	2.44	6.21	2,256,092
Derivados del petróleo y carbón	359,697	5.33	0.53	1.35	359,988
Extracción/Beneficio minerales no metálicos	134,982	1.99	0.20	0.51	135,091
Generación de energía eléctrica	479	0.01	0.00	0.00	479
Impresión	68,649	1.01	0.10	0.26	68,704
Industria de la madera	400	0.01	0.00	0.00	400
Industria textil	1,308,585	119.75	28.14	222.84	1,319,395
Metalúrgica (incluye la siderúrgica)	1,728	0.02	0.02	0.01	1,735
Mezclas químicas	2,227	0.03	0.03	0.01	2,236
Minerales no metálicos	852	0.02	0.01	0.00	855
Otras industrias	88	0.00	0.00	0.00	89
Papel y cartón	82,797	1.26	0.98	0.31	83,092
Petróleo y petroquímica	2,248	0.03	0.03	0.01	2,258
Pinturas y tintas	30,248	0.44	0.44	0.11	30,377
Plástico y hule	123,952	2.04	0.50	0.44	124,141
Química	2,991	0.04	0.04	0.01	3,003
Tratamiento de residuos peligrosos	746	0.01	0.01	0.00	747
Fuentes de Área	**6,051,841**	**95,759**	**1,090**	**1,968**	**9,022,015**
Combustión comercial	307,542	25	1	15	308,385
Combustión agrícola	2,668	0.22	0.00	0	2,676
Combustión doméstica	3,492,070	4,770	143	1,178	3,663,573
Combustión industrial	618,383	9	9	4	620,910
Asados al carbón	63,927	114	2	59	67,728
Emisiones ganaderas	0	32,806	608	0	1,079,663
Aguas residuales	0	1,892	129	0	87,257
Quema de residuos a cielo abierto	9,003	323	5	94	19,288
Relleno Sanitario	135,644	54,013	0	0	1,648,013
Incendios forestales	216,960	228	31	82	231,434
Quemas agrícolas	950,932	1,021	44	426	991,159
Ladrilleras	254,712	557	119	110	301,929
Fuentes móviles no carreteras	**303,319**	**18**	**95**	**228**	**329,032**
Maquinaria agrícola	50,314	3	3	10	51,090
Locomotoras	22,692	2	1	31	22,994
Aeronaves	230,313	13	92	186	254,948
Fuentes móviles carreteras	**3,581,148**	**465**	**145**	**377**	**3,632,461**
Autos Particulares	1,297,838	135	52	21	1,315,419
Taxis	353,133	28	8	2	355,984
Microbuses y Vagonetas TPE	20,645	3	1	1	20,862
Autobús TPE	118,780	26	0	39	119,569
Autobús particular	47,819	8	0	15	48,075
Autobuses foráneos	29,648	3	0	16	29,750
Vehículos de carga ligera	597,182	122	76	31	620,618
Vehículos de carga >3.8 t	23,757	6	0	4	24,040
Vehículos de carga >3.8 t Foráneos	177,468	31	4	60	179,337
Tractocamiones	14,454	3	0	4	14,535
Tractocamiones foráneos	378,609	40	0	178	379,873
Motocicletas	521,814	60	3	5	524,399
Total	**18,019,255**	**96,430**	**1,370**	**2,808**	**21,082,225**

Fuente: Elaboración propia con datos del IEEPuebla-2020.

De las emisiones de CO_2 generadas en el estado de Puebla, las fuentes o categorías con mayor aportación, son la fabricación del cemento y cal, la combustión doméstica y la generación de electricidad que en suma contribuye con el 56% (9,313,453 toneladas CO_2) de todas las emisiones de bióxido de carbono generadas en el estado de Puebla. Ver Figura 97.

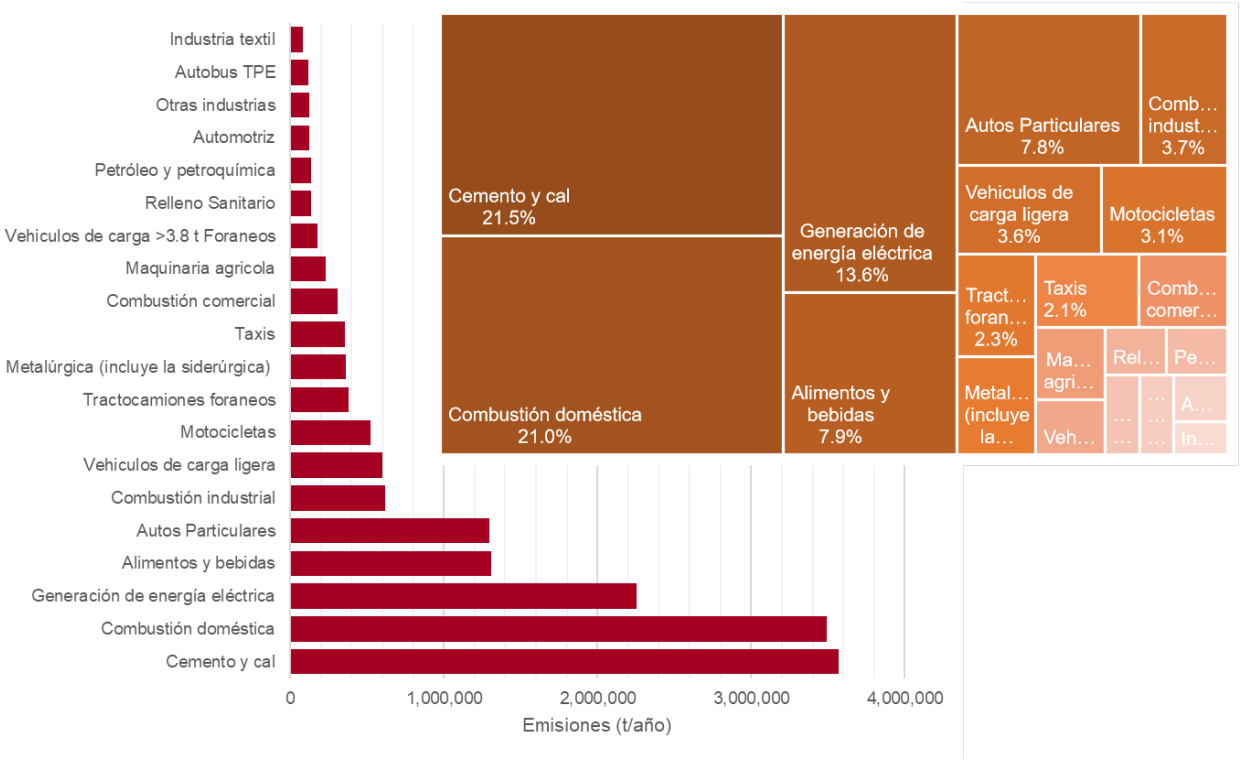


FIGURA 97. EMISIONES DE CO_2E DE LAS FUENTES O CATEGORÍAS RELEVANTES

Fuente: Elaboración propia con datos del IEEPuebla-2020.

De las emisiones de CH_4 generadas en el estado de Puebla, las fuentes o categorías con mayor aportación son los rellenos sanitarios y las emisiones ganaderas, que contribuyen con el 91% (86,820 toneladas CH_4) de todas las emisiones de metano generadas en el estado de Puebla. Ver Figura 98.

De las emisiones de N_2O generadas en el estado de Puebla, las fuentes o categorías con mayor aportación, son las emisiones ganaderas y la combustión doméstica, que contribuyen con el 54% (751 toneladas de N_2O) de todas las emisiones de óxido nitroso generadas en el estado de Puebla. Ver Figura 99.

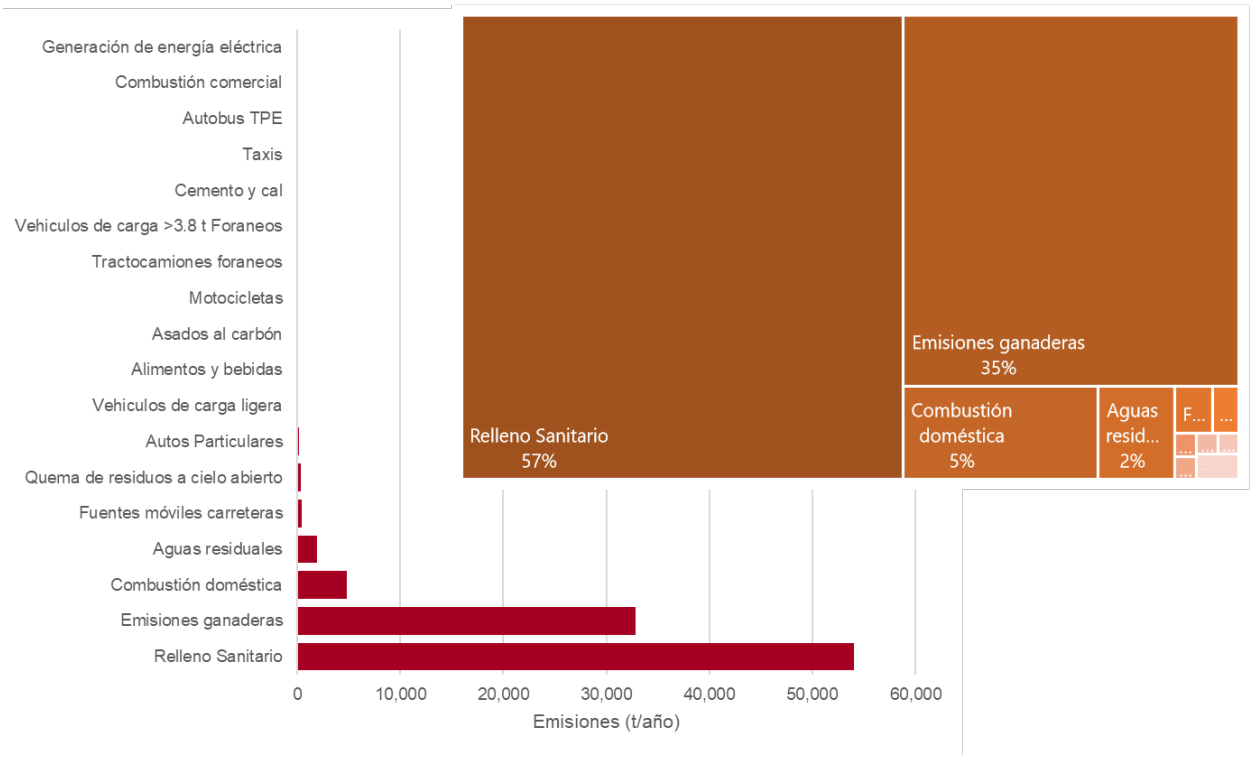


FIGURA 98. EMISIONES DE CH_4 DE LAS FUENTES O CATEGORÍAS RELEVANTES

Fuente: Elaboración propia con datos del IEEPuebla-2020.

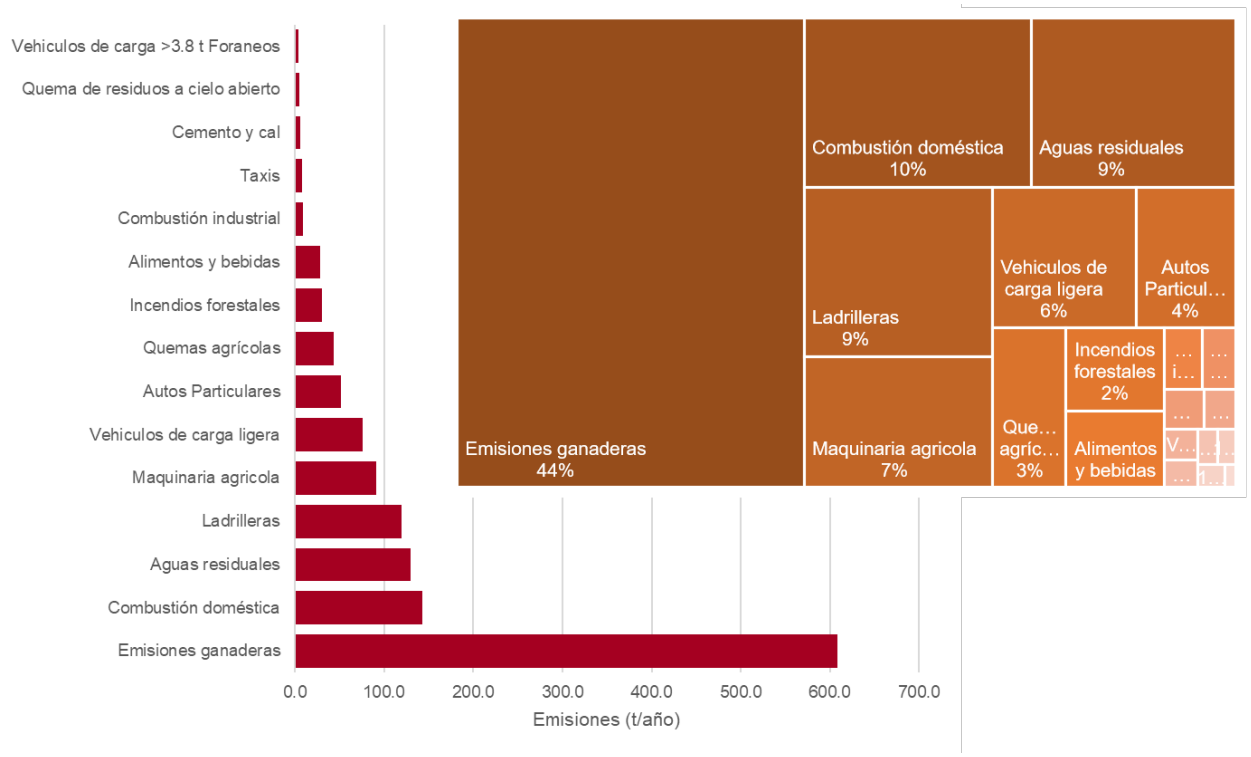


FIGURA 99. EMISIONES DE N_2O DE LAS FUENTES O CATEGORÍAS RELEVANTES

Fuente: Elaboración propia con datos del IEEPuebla-2020.

De las emisiones de CN generadas en el estado de Puebla, las fuentes o categorías con mayor aportación son las que están relacionadas con la quema de biomasa, y entre ellas tenemos a la quema de leña en la combustión doméstica, la quema de residuos agrícolas y la quema de bagazo de caña para la producción de azúcar (Ingenios azucareros), en suma, contribuyen con el 65% (1,827 toneladas de CN) de todas las emisiones de carbono negro generadas en el estado de Puebla. Ver Figura 100.

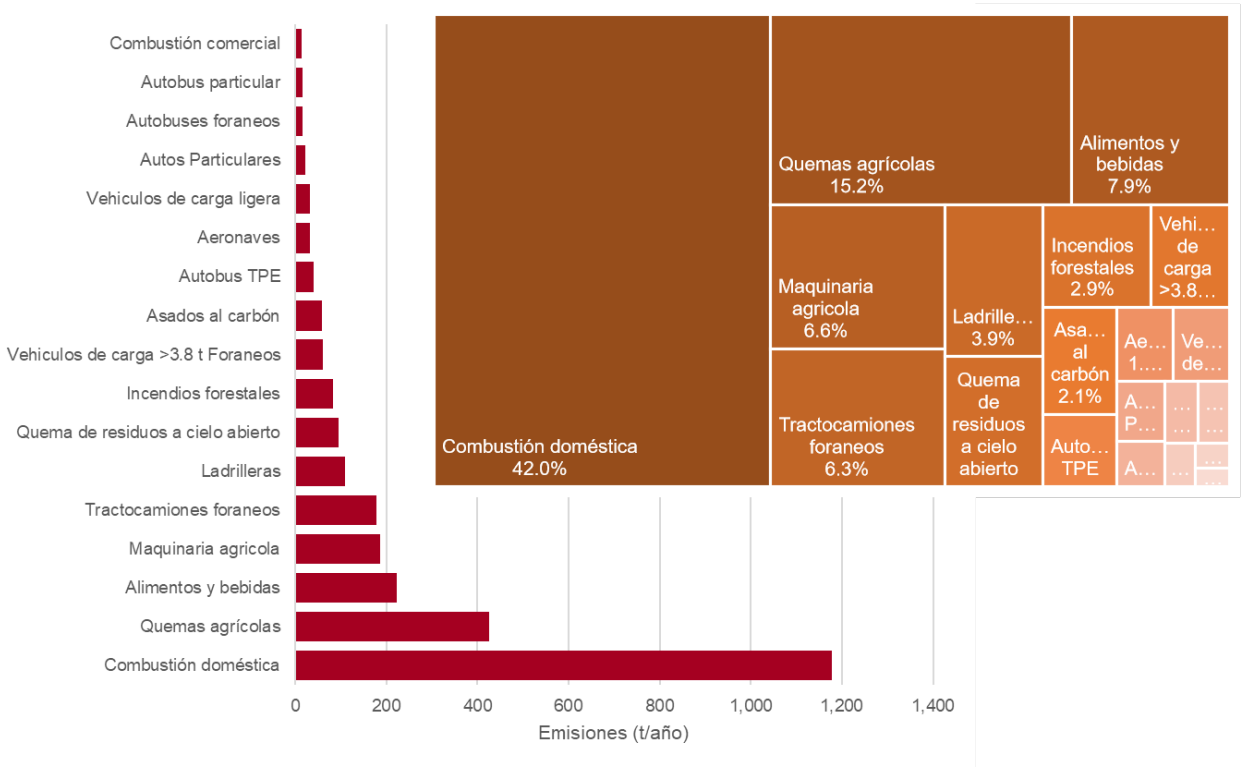


FIGURA 100. EMISIONES DE CN DE LAS FUENTES O CATEGORÍAS RELEVANTES

Fuente: Elaboración propia con datos del IEEPuebla-2020.

Ahora, con la finalidad de sumar las emisiones de los GEI, primero se expresaron las emisiones en unidades de CO_2 equivalente (CO_2e), para lo cual se consideraron los potenciales de calentamiento (CO_2= 1, CH_4= 28 y N_2O= 265) de los diferentes gases de efecto invernadero.

De las emisiones de CO_2e generadas en el estado de Puebla, las fuentes o categorías con mayor aportación, son la combustión doméstica, la fabricación de cemento y cal, la generación de electricidad y los rellenos sanitarios que en suma contribuye con casi el 56.7% (11,136,701 toneladas CO_2e) de todas las emisiones generadas en el estado de Puebla.

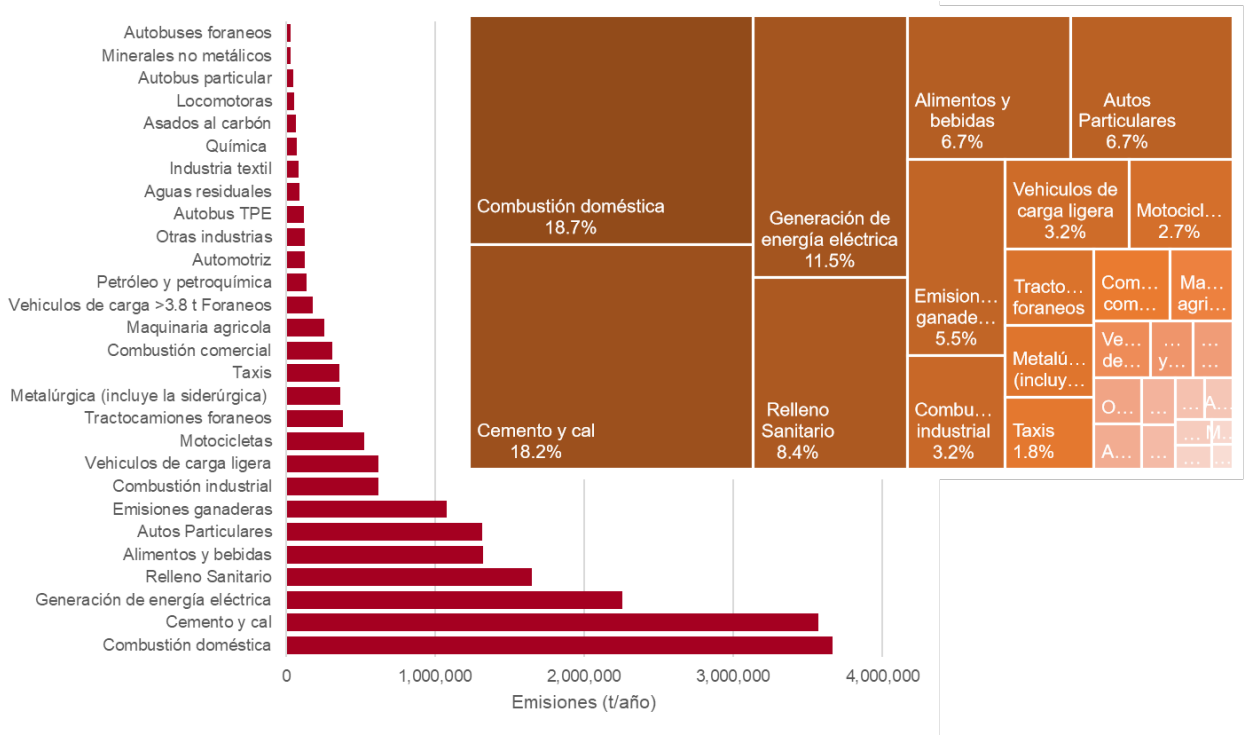


FIGURA 101. EMISIONES DE CO_2E DE LAS FUENTES O CATEGORÍAS RELEVANTES

Fuente: Elaboración propia con datos del IEEPuebla-2020.

En la Tabla 50, se presenta el inventario de Compuestos y Gases de Efecto Invernadero (GyCEI) del año 2020 con la clasificación y categorías del IPCC.

TABLA 50. INVENTARIO DE EMISIONES DE GYCEI, AÑO 2020

CATEGORÍA / FUENTE / SUBFUENTE DE EMISIÓN	EMISIONES (Mg)				
	CO_2	CH_4	N_2O	CO_2e	CN
[1] Energía	**11,310,734**	**805**	**199**	**11,386,019**	**738**
[1A] Actividades de quema del combustible	**11,310,734**	**805**	**199**	**11,386,019**	**738**
[1A1] Industrias de la energía	**2,389,742**	**26**	**3**	**2,391,183**	**7**
[1A1a] Actividad principal producción de electricidad y calor	2,254,760	24	2	2,256,092	6
[1A1b] Refinación del petróleo	134,982	1.99	0.20	135,091	1
[1A2] Industrias manufactura y de la construcción	**3,594,338**	**171**	**46**	**3,611,196**	**233**
[1A2a] Hierro y acero	342,929	5.1	0.5	343,206	1.3
[1A2b] Metales no ferrosos	16,768	0	0	16,782	0
[1A2c] Sustancias químicas	70,897	1	0	70,962	0.3
[1A2d] Pulpa, papel e imprenta	17,775	0.26	0.07	17,802	0.07
[1A2e] Procesamiento de alimentos, bebidas y tabaco	1,308,585	120	28	1,319,395	223
[1A2f] Minerales no metálicos	881,849	31	6	884,387	3
[1A2g] Equipo de transporte	126,964	2	0	127,068	0
[1A2j] Madera y productos de la madera	88	0.00	0.003	89	0.005
[1A2l] Textiles y cueros	82,797	1	1	83,092	0.3
[1A2m] Industria no especificada	745,687	11	9	748,413	4.3
[1A3] Transporte	**3,654,153**	**470**	**148**	**3,706,545**	**418**
[1A3a] Aviación civil	22,692	2	1	22,994	31
[1A3b] Autotransporte	3,581,148	465	145	3,632,461	377
[1A3c] Ferrocarriles	50,314	3	3	51,090	10
[1A4] Otros sectores	**1,672,500**	**138**	**3**	**1,677,096**	**81**

CATEGORÍA / FUENTE / SUBFUENTE DE EMISIÓN	EMISIONES (Mg)				
	CO_2	CH_4	N_2O	CO_2e	CN
[1A4a] Comercial/institucional	307,542	25	1	308,385	15
[1A4b] Residencial	1,362,290	112	2	1,366,035	66
[1A4c] Agropecuario/silvicultura/pesca/piscifactorías	2,668	0	0	2,676	0
[2] Procesos industriales y uso de productos	**2,717,250**	**0**	**0**	**2,717,250**	**0**
[2A] Industria de los minerales	**2,717,250**	**0**	**0**	**2,717,250**	**0**
[2A1] Producción de cemento	2,313,429			2,313,429	
[2A2] Producción de cal	403,821			403,821	
[2A5] Otros	0			0	
[3] Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra	**1,163,427**	**34,055**	**682**	**2,297,791**	**508**
[3A] Ganado		**32,806**	**608**	**1,079,664**	
[3A1] Fermentación entérica		30,728		860,394	
[3A2] Gestión del estiércol		2,078	608	219,269	
[3B] Tierra	**4,465**			**4,465**	
[3B1] Tierra forestales	**1,026**			**1,026**	
[3B1a] Tierras forestales que permanecen como tal	1,015			1,015	
[3B1b] Tierras convertidas a tierras forestales	10			10	
[3B2] Tierra de cultivo	**3,120**			**3,120**	
[3B2a] Tierras de cultivo que permanecen como tal	3,171			3,171	
[3B2b] Tierras convertidas a tierras de cultivo	-51			-51	
[3B3] Praderas	**280**			**280**	
[3B3a] Praderas que permanecen como tal	279			279	
[3B3b] Tierras convertidas en praderas	1.5			1.5	
[3B4] Humedales	**0.00**			**0.00**	
[3B4a] Humedales que permanecen como tal	0.0			0.0	
[3B4b] Tierras convertidas en humedales	0.0			0.0	
[3B5] Asentamientos	**8.12**			**8.12**	
[3B5a] Asentamientos que permanecen como tal	7.2			7.2	
[3B5b] Tierras convertidas en asentamientos	0.9			0.9	
[3B6] Otras tierras	**31.1**			**31.1**	
[3B6a] Otras tierras que permanecen como tal	31.6			31.6	
[3B6b] Tierras convertidas en otras tierras	-0.5			-0.5	
[3C] Fuentes agregadas y fuentes de emisión no CO_2 de la tierra	**1,167,892**	**1,249**	**74**	**1,222,592**	**508**
[3C1] Emisiones de GEI por quemado de biomasa	1,167,892	1,249	74	1,222,592	508
[3C1a] Emisiones de quemado de biomasa en tierras forestales	216,960	228	31	231,434	82
[3C1b] Emisiones de quemado de biomasa en tierras de cultivo	950,932	1,021	44	991,159	426
[4] Residuos	**144,647**	**56,228**	**134**	**1,754,559**	**94**
[4A] Eliminación de residuos sólidos	**135,644**	**54,013**	**0**	**1,648,013**	**0**
[4A1] Sitios gestionados de eliminación de residuos (rellenos sanitarios)	135,644	54,013	0	1,648,013	
[4C] Incineración y quema a cielo abierto de residuos	**9,003**	**323**	**5**	**19,288**	**94**
[4C2] Quema a cielo abierto de residuos sólidos	9,003	323	5	19,288	94
[4D] Tratamiento y eliminación de aguas residuales	**0**	**1,892**	**129**	**87,257**	**0**
[4D1] Tratamiento y eliminación de aguas residuales municipales		1,892	129	87,257	
Total	**15,336,057**	**91,089**	**1,015**	**18,155,619**	**1,341**

Fuente: Elaboración propia con datos del anuario estadístico, Balance Energético Estatal de Puebla 2020, CONAGUA, CONAFOR, CONEVAL, diagnóstico básico para la gestión integral de los residuos, EPA (AP-42, WebFire, Evaporative Emissions from On-road Vehicles in MOVES2014, MOVES-México), Gobierno del Estado de Puebla, hojas técnicas de pinturas y recubrimientos (Sherwin Williams, Nervion pinturas, Axalta, Comex), INEGI (DENUE, ENIGH, Censo de Población y Vivienda, EMIM, Censos económicos, volumen total del mercado de pintura para repintado automotriz, longitud de la red de calles por municipio, Banco de Información Económica), Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, SENER (SIE, Balance Nacional de Energía, Comisión Reguladora de Energía), POWER-Data Access Viewer Prediction Of Worldwide Energy Resource, Modelo Mexicano de Biogás, SAGARPA, SEMARNAT, Secretaría de Salud, entre otros.

4.6. Proyección de emisiones de gases criterio, tóxicos y GyCEI al 2030

La tendencia de las emisiones está directamente relacionada con las: perspectivas: del consumo energético, de la economía, del crecimiento poblacional y con el marco regulatorio ambiental aplicado a los diferentes sectores. En específico el Inventario Estatal de Emisiones de Puebla del año 2020 (año base), se proyectó al año 2030 y al año 2050 con las prospectivas del consumo energético por tipo de combustible publicadas por la SENER. Con la proyección de las emisiones se estableció la línea base 2020-2050 que nos indica el ritmo al que se estima continuarán creciendo/decreciendo las emisiones de cada una de las fuentes o categorías de emisión inventariadas, es decir, es el escenario tendencial de las emisiones futuras sin la aplicación de nuevas medidas de mitigación de emisiones. Ver Tabla 51.

Tabla 51. Tendencia de emisiones.

Emisiones de (t/año)	Año			Tendencia
	2020	2030	2050	
PM10	40,467	44,665	57,544	
PM2.5	27,870	28,595	34,218	
SO_2	5,427	6,378	8,637	
CO	278,452	337,836	487,517	
NO_X	140,203	159,120	198,181	
COV	616,500	623,274	651,960	
NH_3	57,060	63,894	73,720	
CO_2	18,019,255	20,945,779	28,742,859	
CH_4	96,430	161,451	406,019	
N_2O	1,370	1,396	1,631	
CN	2,808	2,959	3,680	
CO_2e	21,082,225	25,668,969	40,369,807	
Tóxicos	27,568	29,856	39,905	

Fuente: Elaboración propia con datos del IEEPuebla-2020, CONAPO - Proyecciones de la población de México y de las entidades federativas 2016-2050, SENER y Modelo Mexicano de Biogás.

4.6.1. Tendencia por sector o fuente

Es importante mencionar, que en el sector industrial se espera un incremento en el consumo energético de combustible, por lo que repercutirá directamente en un aumento de las emisiones. Las emisiones de las fuentes de área se incrementan no solo por el uso y consumo de combustibles (gas natural, gas LP, diésel y coque), sino también por el incremento de la población que demandará entre otros, un mayor consumo de solventes y productos que lo contienen; así como más productos del campo que incidirían en un aumento en la labranza y crianza de ganado con un aumento en el uso de corrales de engorda, fertilizantes, plaguicidas y quemas agrícolas. En la Tabla 52, se presentan las emisiones por tipo de fuente de los años 2020, 2030 y 2050.

Tabla 52. Línea base por tipo de fuente de los años 2020, 2030 y 2050

Tipo de fuente	Emisiones 2020 (t/año)									
	PM_{10}	$PM_{2.5}$	SO_2	CO	NO_X	COV	NH_3	CN	CO_2e	Tóxicos
Fuentes Puntuales	4,143	2,670	3,804	4,579	12,769	2,701	21	236	8,098,718	669
Fuentes de Área	34,037	23,271	771	134,101	7,485	67,771	56,816	1,968	9,022,015	23,054
Fuentes móviles no carreteras	501	501	164	1,586	7,366	556	0	228	329,032	233
Fuentes móviles carreteras	1,786	1,428	688	138,186	31,124	12,555	223	377	3,632,461	3,612
Fuentes naturales	N/A	N/A	N/A	N/A	81,459	532,917	N/A	N/A	N/A	N/A
Total	**40,467**	**27,870**	**5,427**	**278,452**	**140,203**	**616,500**	**57,060**	**2,808**	**21,082,225**	**27,568**

Tipo de fuente	Emisiones 2030 (t/año)									
	PM_{10}	$PM_{2.5}$	SO_2	CO	NO_X	COV	NH_3	CN	CO_2e	Tóxicos
Fuentes Puntuales	4,780	3,092	4,403	5,564	15,089	3,233	26	276	9,166,241	796
Fuentes de Área	36,692	22,827	751	122,561	7,100	67,546	63,534	1,851	10,738,920	23,327
Fuentes móviles no carreteras	675	675	218	2,133	9,890	747	0	306	400,023	313
Fuentes móviles carreteras	2,518	2,001	1,006	207,578	45,582	18,831	334	526	5,363,784	5,420
Fuentes naturales	N/A	N/A	N/A	N/A	81,459	532,917	N/A	N/A	N/A	N/A
Total	**44,665**	**28,595**	**6,378**	**337,836**	**159,120**	**623,274**	**63,894**	**2,959**	**25,668,969**	**29,856**

Tipo de fuente	Emisiones 2050 (t/año)									
	PM_{10}	$PM_{2.5}$	SO_2	CO	NO_X	COV	NH_3	CN	CO_2e	Tóxicos
Fuentes Puntuales	5,894	3,857	5,808	7,183	20,036	4,459	35	326	11,915,315	1,096
Fuentes de Área	46,722	26,256	842	134,764	7,968	82,441	73,135	2,087	19,121,689	29,407
Fuentes móviles no carreteras	1,007	1,007	366	3,222	15,189	1,127	0	457	617,045	472
Fuentes móviles carreteras	3,922	3,098	1,621	342,348	73,529	31,016	550	811	8,715,759	8,930
Fuentes naturales	N/A	N/A	N/A	N/A	81,459	532,917	N/A	N/A	N/A	N/A
Total	**57,544**	**34,218**	**8,637**	**487,517**	**198,181**	**651,960**	**73,720**	**3,680**	**40,369,807**	**39,905**

Fuente: Elaboración propia con datos del Anuario estadístico por estados, Balance Energético Estatal de Puebla 2020, CONAGUA, CONAFOR, CONEVAL, Diagnóstico básico para la gestión integral de los residuos, EPA (AP-42, WebFire, Evaporative Emissions from On-road Vehicles in MOVES2014, MOVES-México), Gobierno del Estado de Puebla, Hojas técnicas de pinturas y recubrimientos (Sherwin Williams, Nervion pinturas, Axalta, Comex), INEGI (DENUE, ENIGH, Censo de Población y Vivienda, EMIM, Censos económicos, Volumen total del mercado de pintura para repintado automotriz, Longitud de la red de calles por municipio, Banco de Información Económica), Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera, SENER (SIE, Balance Nacional de Energía, Comisión Reguladora de Energía), POWER-Data Access Viewer Prediction Of Worldwide Energy Resource, Modelo Mexicano de Biogás, SAGARPA, SEMARNAT, Secretaría de Salud, entre otros.

También, con el aumento de la población se generarán más residuos que repercutirán en un aumento de las emisiones en las categorías de aguas residuales, rellenos sanitarios y quema de residuos a cielo abierto. Con el

aumento del parque vehicular se prevé un aumento en el consumo de gasolina y diésel, que repercute no solo en un aumento de las emisiones de las fuentes móviles, sino también en las fuentes de área con el aumento de la infraestructura vial que requerirá el uso de más asfalto y pintura de tránsito y un aumento de estaciones de servicio que aumentará las emisiones de vapores de gasolina.

Hay sectores o prácticas que se prevé no crezcan e incluso disminuya, como las provenientes de la quema de leña para cocción de alimentos y calentamiento de agua, y no se prevé crecimiento en las emisiones provenientes de la vegetación. Todos estos cambios, afectan el factor de actividad que se ve reflejado en un aumento en la generación de emisiones al año 2050 respecto al año 2020.

4.6.2. Análisis tendencial de $PM_{2.5}$.

Con los resultados de las estimaciones de las proyecciones, podemos realizar varios tipos de análisis, como los siguiente:

En la Figura 102, se muestra la proyección de las emisiones de $PM_{2.5}$ por fuente y a diferencia de las demás fuentes, las emisiones generadas por las fuentes de área disminuirán ligeramente al año 2030 por un baja en el consumo de leña en la combustión doméstica y en la cocción de ladrillos, pero a pesar de que el consumo de leña seguirá bajando al año 2050 las emisiones aumentarán por el aumento de partículas en las demás categorías, principalmente en las provenientes de la quema agrícola.

Fuente o categoria	Emisiones de $PM_{2.5}$ (t/año)			Gráficos
	2020	2030	2050	
Fuentes Puntuales	2,670	3,092	3,857	
Fuentes de Área	23,271	22,827	26,256	
Fuentes móviles no carreteras	501	675	1,007	
Fuentes móviles carreteras	1,428	2,001	3,098	

Figura 102. Tendencia de Emisiones de $PM_{2.5}$ por tipo de fuente

Fuente: Elaboración propia con datos del IEEPuebla-2020

4.7. Elaboración del Registro Nacional de Emisiones (RENE) correspondiente al Gobierno del Estado de Puebla, año de reporte 2020

El **Registro Nacional de Emisiones (RENE)** es un instrumento de política pública que permite compilar la información necesaria en materia de emisión de Compuestos y Gases Efecto Invernadero (GyCEI) de los diferentes sectores productivos para dar trazabilidad, evaluar tendencias y establecer estrategias nacionales de reducción de emisiones. Dentro de este esquema se consideran las siguientes categorías para la cuantificación, reporte y verificación.

- Emisiones directas provenientes de combustión en fuentes fijas
- Emisiones directas provenientes de fuentes móviles
- Emisiones directas provenientes de procesos industriales o actividades comerciales y de servicios
- Emisiones directas provenientes de fugas en el sector energía
- Emisiones directas provenientes de actividades agropecuarias
- Emisiones indirectas provenientes del consumo de energía eléctrica
- Emisiones indirectas provenientes del consumo de energía térmica

Asimismo, el RENE es aplicable para las instituciones de gobierno dado que estas se encuentran en el sector VI. Comercio y servicios de acuerdo con el Artículo 3 del Reglamento de la Ley General de Cambio Climático (LGCC), además se debe de tomar en consideración el umbral de 25,000 toneladas de dióxido de carbono equivalente (tCO_2e) emitidas de manera anual en todas las operaciones de las instalaciones, considerado como emisiones consolidadas en el marco del RENE (SEMARNAT, 2014).

Al cabo de cumplir con las dos condiciones para considerarse Establecimiento Sujeto a Reporte (ESR) ante el RENE, las emisiones deberán reportarse en términos de toneladas de cada GyCEI, a través de la COA federal, la cual se debe presentar entre el 1 de marzo y el 30 de junio de cada año, y la información reportada comprende las operaciones entre el 1 de enero y el 31 de diciembre del año inmediato anterior.

Adicionalmente, los establecimientos u operaciones tienen la obligación de verificar (SEMARNAT, 2014) sus emisiones reportadas antes SEMARNAT en la COA conforme los periodos establecidos y mencionados anteriormente; a través de organismos acreditados y aprobados para la verificación de emisiones. Dicha verificación deberá realizarse trianualmente conforme el umbral de emisiones cuantificado y reportado.

4.7.1. METODOLOGÍA

La metodología se basa en los criterios que rigen el cumplimiento del RENE instauradas por la SEMARNAT en 2014; enfocándose en el uso de datos de actividad documentados y algunos estimados, así como factores de emisión válidos para el RENE. Los datos de actividad documentados fueron obtenidos a partir de solicitudes de información realizadas a cada una de las dependencias a través del Portal Nacional de Transparencia (PNT), de acuerdo con los registros de información proporcionados, ente ellos facturas y recibos de energía eléctrica, se estimaron las dependencias restantes con base en el número de inmuebles durante el 2021 dentro de dicha plataforma.

Operaciones del Gobierno del Estado de Puebla

En el presente proyecto se estimaron las emisiones de GEI provenientes de las operaciones de diversas instituciones del Gobierno del Estado de Puebla en el periodo que comprende del 1 de enero al 31 de diciembre de 2021.

Límites operacionales

Conforme los criterios establecidos en el marco del RENE, el enfoque del inventario es operacional y conforme las actividades directamente realizadas dentro del Gobierno del Estado de Puebla, siendo las siguientes:

Identificación de fuentes de emisión

A continuación, se presentan las fuentes de emisión identificadas en las actividades en los edificios gubernamentales:

1) Emisiones directas por la combustión de diésel y gasolina en fuentes móviles.
2) Emisiones directas por la combustión de gas LP en hornos crematorios.
3) Emisiones indirectas por el consumo de energía eléctrica proveniente de la red de CFE.

Datos de actividad

Los datos de actividad se obtuvieron a partir de la solicitud de información realizada a través del Portal Nacional de Transparencia, de las 67 dependencias a las que se les hizo llegar la solicitud de la cuales 13 dependencia remitieron información para su posterior procesamiento.

La información proporcionada consistió principalmente en:

- Facturas de carga de litros de combustible pagado por la dependencia del Gobierno del Estado de Puebla.
- Recibos de luz a nombre de la dependencia del Gobierno del Estado de Puebla.

Para la determinación de los datos de actividad de las 54 dependencias restantes y a razón de que se cuenta con información proveniente de registros primarios de cada una de las clasificaciones de las dependencias de gobierno: **Secretarías, Colegios, Universidades, Comisiones, Consejos y Comités**, se determinaron los consumos de energía eléctrica a través de un escalamiento y considerando los inmuebles aportados por cada una de las dependencias en su inventario de inmuebles reportados a través del PNT en el año 2021.

En el caso de los hornos crematorios, se estimó el consumo de combustible (Gas LP) a partir de especificaciones técnicas de los hornos, (INCIMEX, 2014) así como la información más reciente sobre el número de cuerpos incinerados (INEGI, 2021a). Asimismo, se desagregaron los diferentes tipos de inmuebles de acuerdo con su operación, para determinar los consumos de energía eléctrica más adecuados a través de indicadores de consumo de energía de la bibliografía en México.

En el caso de la combustión en fuentes móviles, se procesaron las facturas brindadas por las dependencias que suscribieron la información del periodo a cuantificar, se considera el valor de poder calorífico de los combustibles gasolina y diésel considerados documentos para las estimaciones de emisiones en el marco del RENE.

4.7.2. Cuantificación de las Emisiones GEI

Factores de emisión

Los factores de emisión y parámetros relevantes para la estimación provienen de SEMARNAT en el marco de la información para estimar emisiones en cumplimiento con el RENE: *ACUERDO que establece las particularidades técnicas y las fórmulas para la aplicación de metodologías para el cálculo de emisiones de gases o compuestos de efecto invernadero (DOF 03/09/15) y ACUERDO que establece los gases o compuestos de efecto invernadero que se agrupan para efectos de reporte de emisiones, así como sus potenciales de calentamiento (DOF 14/08/15)*. Asimismo, se consideró el factor de emisión del Sistema Eléctrico Nacional vigente (CRE, 2022).[23]

Emisiones de las operaciones del Gobierno del Estado de Puebla

Con base en las metodologías establecidas por el RENE de SEMARNAT, a continuación, se presentan las emisiones en términos de toneladas de dióxido de carbono equivalente del año 2021. Para las categorías estimadas en el presente inventario la ecuación general que se utilizó fue:

$$Emision\ GEI = (DA_{Dato\ de\ actividad}) (FE_{Factor\ de\ emisión})$$

[23] El factor de emisión del Sistema Eléctrico Nacional utilizado para el cálculo fue: 0.423 tCO_2e/MWh.

Asimismo, para poder comparar cada una de las dependencias (Tabla 53), así como entre inventarios de otros años, se utilizaron los valores de Potencial de Calentamiento Global (PCG) de cada GEI.

TABLA 53. EMISIONES DE T CO_2E POR CADA UNA DE LAS DEPENDENCIAS DEL GOBIERNO DEL ESTADO DE PUEBLA

N°	NOMBRE DE LA DEPENDENCIA	TOTALES t CO_2e
Total emisiones		**69,961.65**
1	Ejecutivo del Estado	634.34
2	Secretaría de Finanzas y Administración	0.00
3	Secretaría de Bienestar	528.62
4	Secretaría de Cultura y Turismo	0.00
5	Secretaría de Desarrollo Rural	10.96
6	Secretaría de Economía	105.72
7	Secretaría de Educación Pública	23,115.61
8	Secretaría de Gobernación	0.00
9	Secretaría de Igualdad Sustantiva	105.72
10	Secretaría de Infraestructura	422.90
11	Secretaría de la Función Pública	634.34
12	Secretaría de Medio Ambiente, Desarrollo Sustentable y Ordenamiento Territorial	105.72
13	Secretaría de Movilidad y Transporte	0.00
14	Secretaría de Planeación y Finanzas	105.72
15	Secretaría de Salud	26.97
16	Secretaría de Seguridad Publica	18.39
17	Secretaría de Trabajo	211.45
18	Secretaría de Turismo	4.50
19	Secretaría Ejecutiva del Sistema Estatal Anticorrupción	9.47
20	Colegio de Bachilleres del estado de Puebla	17.56
21	Colegio de Educación Profesional Técnica del estado de Puebla	1.94
22	Colegio de Estudios Científicos y Tecnológicos del estado de Puebla	1.29
23	Universidad de la Salud del estado de Puebla	332.84
24	Universidad Interserrana del estado de Puebla-Ahuacatlán	60.31
25	Universidad Interserrana del estado de Puebla-Chilchotla	29.17
26	Universidad Politécnica de Amozoc	29.17
27	Universidad Politécnica de Puebla	29.17
28	Universidad Tecnológica Bilingüe Internacional y Sustentable de Puebla	29.17
29	Universidad Tecnológica de Huejotzingo	29.17
30	Universidad Tecnológica de Izúcar de Matamoros	29.17
31	Universidad Tecnológica de Oriental	29.17
32	Universidad Tecnológica de Puebla	29.17
33	Universidad Tecnológica de Tecamachalco	29.17
34	Universidad Tecnológica de Tehuacán	29.17
35	Universidad Tecnológica de Xicotepec de Juárez	29.17

N°	NOMBRE DE LA DEPENDENCIA	TOTALES t CO_2e
36	Instituto de Discapacidad del estado de Puebla	0.00
37	Auditoría Superior del estado de Puebla	330.59
38	Agencia de Energía del estado de Puebla	200.74
39	Carreteras de Cuota Puebla	46.95
40	Centro de Conciliación Laboral del estado de Puebla	501.85
41	Comisión Estatal de Agua y Saneamiento de Puebla	100.37
42	Comité Administrador Poblano para la Construcción de Espacios Educativos	401.48
43	Consejo de Ciencia y Tecnología del estado de Puebla	200.74
44	Consejo Estatal de Coordinación del Sistema Nacional de Seguridad Pública	0.00
45	Convenciones y Parques	6,761.23
46	Coordinación General de Comunicación y Agenda Digital	0.00
47	Corporación Auxiliar de Policía y Protección Ciudadana	0.00
48	Instituto de Capacitación para el Trabajo	0.00
49	Instituto de Discapacidad del estado de Puebla	100.37
50	Instituto de Profesionalización del Magisterio Poblano	100.37
51	Instituto Poblano del Deporte	100.37
52	Instituto Poblano de Pueblos Indígenas	100.37
53	Instituto de Seguridad y Servicios Sociales de los Trabajadores al Servicio de los Poderes del estado de Puebla (ISSSTEP)	0.00
54	Instituto Estatal de Educación para Adultos	0.00
55	Instituto Poblano de Asistencia al Migrante	200.74
56	Museos Puebla	4,632.53
57	Sistema Estatal de Telecomunicaciones	112.69
58	Sistema para el Desarrollo Integral de la Familia	1,070.53
59	Sistema Operador de los Servicios de Agua Potable y Alcantarillado de Puebla	16,883.64
60	Sistema Operador de los Servicios de Agua Potable y Alcantarillado del Municipio de San Pedro Cholula	1,812.41
61	Sistema Operador de los Servicios de Agua Potable y Alcantarillado del Municipio de Atlixco	1,881.70
62	Organismo Operador de los Servicios de Agua Potable y Alcantarillado del Municipio de Tehuacán	4,325.45
63	Instituto Electoral del estado de Puebla	49.48
64	Tribunal Electoral del estado de Puebla	72.69
65	Tribunal de Justicia Administrativa del estado de Puebla	58.53
66	Poder Judicial del estado de Puebla	839.99
67	Comisión de Derechos Humanos del estado de Puebla	2,237.64
68	Panteones con servicio crematorio en el estado de Puebla	62.97

Fuente: Elaboración propia con datos del gobierno del estado de Puebla.

4.7.3. Reporte

Como se ha mencionado, el reporte en la COA es la información que SEMARNAT, operador el RENE, solicita y toma como válida en el marco del cumplimiento de la legislación federal en materia de cambio climático, a continuación, se presenta la vista del reporte de GyCEI en la COA federal.

Tabla 54. Reporte GEI (Sección VI. Registro de emisiones de gases o compuestos de efecto invernadero de la cédula de operación anual)

	CO_2	CH_4	N_2O	CN	CFC	HFC	PFC	SF6	NF3	HFC	EH	xC
Emisiones directas provenientes de combustión en fuentes fijas·	62.92	0.001	0.0001									
Emisiones directas provenientes de fuentes móviles	3,385.22	0.65	0.27									
Emisiones directas provenientes de procesos industriales o actividades comerciales y de servicios												
Emisiones directas provenientes de fugas en el sector energía												
Emisiones directas provenientes de actividades agropecuarias												
Emisiones indirectas provenientes del consumo de energía eléctrica	66,422.64											
Emisiones indirectas provenientes del consumo de energía térmica												
Total (t CO_2e)	69,870.78	18.20	72.67									

Fuente: Elaboración propia con datos de la SMADSOT.

Las emisiones totales provenientes de las operaciones del Gobierno del Estado de Puebla en el periodo comprendido entre 1 de enero y 31 de diciembre de 2021 resultan ser **69,961.65** tCO_2e, derivado a que el cálculo y elaboración de inventario se concluye en el mes de noviembre 2022, no se cuenta con la opción de presentar y reportar las emisiones derivadas de este estudio dado que el trámite de la COA, como se menciona, establece un periodo específico de reporte, así mismo hasta la fecha no se cuenta con tramites extemporáneos.

Sin embargo, el presente inventario forma un precedente para el Gobierno del Estado de Puebla sobre las emisiones estimadas en el año base (2021), para cumplir en su totalidad el estado de Puebla deberá realizar su Inventario de sus operaciones donde tiene el control en 2022, y esta información deberá reportarse a través de la COA web, en el periodo comprendido entre el 1 de marzo y 30 de junio de 2023.

El análisis realizado identificó diversas áreas de oportunidad, como es la formación de capacidades para todas las dependencias del Gobierno del Estado de Puebla con el objetivo de que conozcan los consumos de energéticos y su relación con la generación de GEI.

Las dependencias del gobierno estatal deberán generar la información de los datos de actividad de sus consumos energéticos y compartirlas con la SMADSOT para su revisión, integración y elaboración del reporte para presentarlo ante la autoridad federal.

En ese sentido, es importante crear capacidades en todos los ayuntamientos del estado de Puebla para que en el futuro se comiencen a elaborar inventarios de GyCEI, aunque dichos ayuntamientos no tengan la obligación en el marco del RENE.

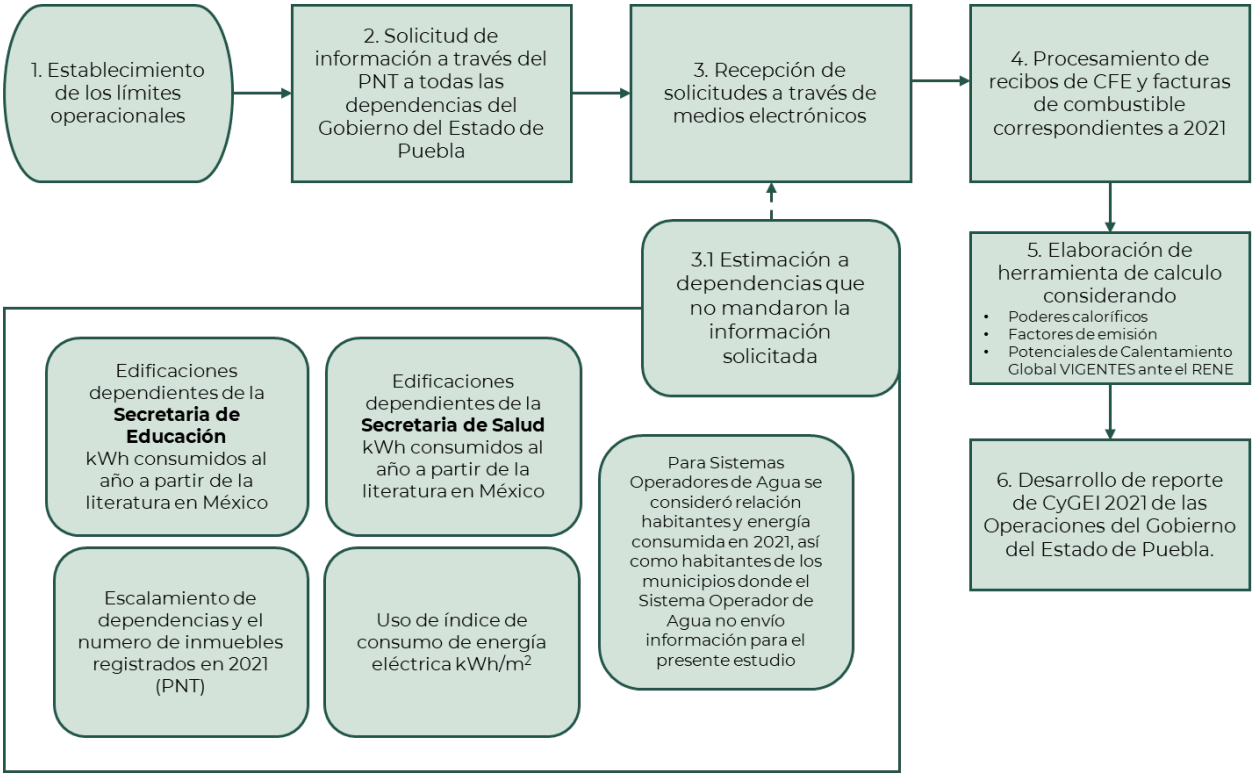


FIGURA 103. ESQUEMA PARA SEGUIR EL REGISTRO DEL RENE.

Para mayor información de este capítulo, consultar los documentos electrónicos "DIAGNÓSTICO DE LAS EMISIONES CONTAMINANTES GENERADAS EN EL ESTADO DE PUEBLA", "BALANCE ENERGÉTICO ESTATAL (LÍNEA BASE 2020),", "INVENTARIO ESTATAL DE EMISIONES DE PUEBLA-2020" y "REGISTRO NACIONAL DE EMISIONES (RENE)" en el sitio WEB https://calidaddelaire.puebla.gob.mx/views/principal.php.



5

Efectos en la población y ecosistemas

5. EFECTOS EN LA POBLACIÓN Y ECOSISTEMAS

5.1. INCIDENCIA DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA SOBRE LA SALUD DE LA POBLACIÓN.

La incidencia de la contaminación atmosférica sobre la salud en la ZMVP y los potenciales impactos del cambio climático se centraron en la evaluación de la mortalidad asociada a la contaminación atmosférica y a los impactos potenciales en la distribución espacial de las enfermedades del Dengue y Chagas en el estado de Puebla por el cambio climático. Es importante comentar que en este resumen no se incluye el detalle de las referencias consultadas, el detalle de la bibliografía se incluye en el documento extenso "**INCIDENCIA DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA SOBRE LA SALUD EN EL ESTADO DE PUEBLA**".

5.1.1. EVALUACIÓN DE LA MORTALIDAD EVITADA POR LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

El objetivo de esta evaluación de impactos en la salud es proporcionar a las autoridades y al público interesado información sobre los beneficios en la salud y, su valor económico, que se obtendrían si se redujeran los niveles de las $PM_{2.5}$ en la ZMVP al valor límite anual establecido en la NOM-025-SSA1-2014[24]; en particular con respecto a los incrementos de casos de mortalidad prematura para cuatro causas de enfermedad: cardiovasculares (CV), Cardiopulmonares, (CP), cáncer de pulmón (CAP) y enfermedades isquémicas del corazón (EIC). El año base de estimación usado fue 2019, año previo a la pandemia por COVID-19 considerado con un patrón de emisiones y exposición típico de años previos.

Se empleó la metodología de Evaluación de Impactos en la Salud (EIS) (INE, 2012; Medina et al., 2009). La metodología EIS consta de cuatro etapas metodológicas que fueron aplicadas en el caso de la ZMVP y que se describen a continuación:

La selección del contaminante y de los efectos en la salud que se evaluarán, basado en evidencia epidemiológica y toxicológica.

La Zona Metropolitana del Valla de Puebla (ZMVP) ha tenido problemas de calidad del aire con los siguientes contaminantes criterio: partículas suspendidas con diámetros iguales o menores a 10 y 2.5 micras (PM_{10}, $PM_{2.5}$) y el ozono, de acuerdo con la información disponible en el periodo 2010-2021. Estos

[24] Se consideró la NOM-025-SSA1-2014 que estaba vigente en el año base de cálculo 2019 de este análisis.

contaminantes han incumplido consistentemente las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) de calidad del aire para la protección a la salud (para mayor detalle consultar el capítulo de calidad del aire).

Las $PM_{2.5}$ fueron seleccionas para evaluar la mortalidad atribuible debido a que en décadas recientes el peso de la evidencia epidemiologia indica que la exposición crónica a las $PM_{2.5}$ tiene una relación causal con el incremento en las tasas de mortalidad (Yitshak-Sade et al., 2019). Es decir, este contaminante tiene la mayor evidencia científica para estimar el exceso de mortalidad atribuible a este contaminante.

Las $PM_{2.5}$ están relacionadas tanto los efectos agudos como con efectos crónicos en la salud de la población, a saber:

- Los efectos agudos más frecuentes de las $PM_{2.5}$ en la población general están asociados con el incremento de enfermedades de las vías respiratorias y pulmonares, así como exacerbación de asma, y sintomatología relacionada con irritación de las vías respiratorias superiores. En la población del estado de Puebla se presenta un gran número de casos de infecciones respiratorias agudas (IRAs). Es muy probable que una fracción de esos casos sean atribuibles a los contaminantes del aire (Secretaría de Salud de Puebla, 2019).
- Los efectos crónicos de las $PM_{2.5}$ en población susceptible (adultos mayores, infantes, mujeres embarazadas y personas con enfermedades preexistentes) se asocian principalmente con el aumento de enfermedades crónicas y mortalidad prematura por enfermedades cardiovasculares, cardiopulmonares, cáncer de pulmón y enfermedades isquémicas de corazón, entre otras (Hamra et al., 2014; Nadadur & Hollingsworth, 2015; Pope III & Dockery, 2006; US EPA, 2013; Wang et al., 2014). Se observó en las estadísticas de los casos de mortalidad del estado de Puebla, que las causas de enfermedades que producen la muerte relacionada con la contaminación del aire en su mayoría se incluyen en las principales causas de mortalidad del estado de Puebla para 2019 (Secretaría de Salud de Puebla, 2019).

La selección de las funciones exposición-respuesta.

En lo que se refiere a la selección de las funciones exposición respuesta (FER) que relacionan cuantitativamente el cambio de concentración de las $PM_{2.5}$ con el cambio en las tasas de mortalidad, se priorizaron aquellas que provienen de meta-análisis de estudios y de estudios epidemiológicos de cohorte. En la Tabla 55 se presenta las FER para las causas de mortalidad por enfermedades cardiovasculares, cardiopulmonares, cáncer de pulmón e isquémicas del corazón que fueron seleccionadas en esta evaluación, así como su clasificación de acuerdo con la clasificación internacional de enfermedades (CIE-10), los autores de los estudios, los valores de los riesgos relativos y la unidad de cambio a la que están referidas las FER.

TABLA 55. FUNCIONES EXPOSICIÓN RESPUESTA SELECCIONADAS PARA LA EVALUACIÓN DE LOS IMPACTOS EN SALUD

CAUSA DE MORTALIDAD (CIE-10-OMS)	GRUPO ETARIO	AUTOR, AÑO (DISEÑO)	FER	UNIDAD DE CAMBIO
Cardiovasculares (CV) (I00-I99)	>15 años	(Hoek et al., 2013) (meta-análisis de cohortes)	1.15 (1.04-1.27)	10 µg/m³
Cardiopulmonares (CP) (I10-I70 y J00-J98)	>15 años	(Krewski et al., 2009) (cohorte ACS)	1.09 (1.06–1.12)	10 µg/m³
Cáncer de pulmón (CAP) (C33–C34)	>30 años	(Lepeule et al., 2012) (meta-análisis)	1.37 (1.07–1.75)	10 µg/m³
Enfermedades isquémicas del corazón (EIC) (I20–I25)	>30 años	(Pope et al., 2004) (cohorte ACS)	1.18 (1.14–1.23)	10 µg/m³

Fuente: Elaboración propia con información de Hoek, Krewski, Lepeule y Pope.

La evaluación del cambio de la exposición potencial en el escenario de que se cumpliera con la NOM de $PM_{2.5}$ vigente.

La realización de esta evaluación consideró dos escenarios de exposición, a saber: (1) el escenario base que contempla la exposición anual de $PM_{2.5}$ que prevalece en los municipios de la ZMVP, y (2) el escenario de control que considera la reducción de estas concentraciones al límite anual (12 µg/m³) establecido para este contaminante. Adicionalmente, se evaluaron dos escenarios alternativos: (2.1) la reducción de las concentraciones al límite de la NOM actualizada en 2021 y (2.2) la reducción de las concentraciones al límite recomendado por la OMS, considerando las mismas tasas basales y las mismas causas de mortalidad.

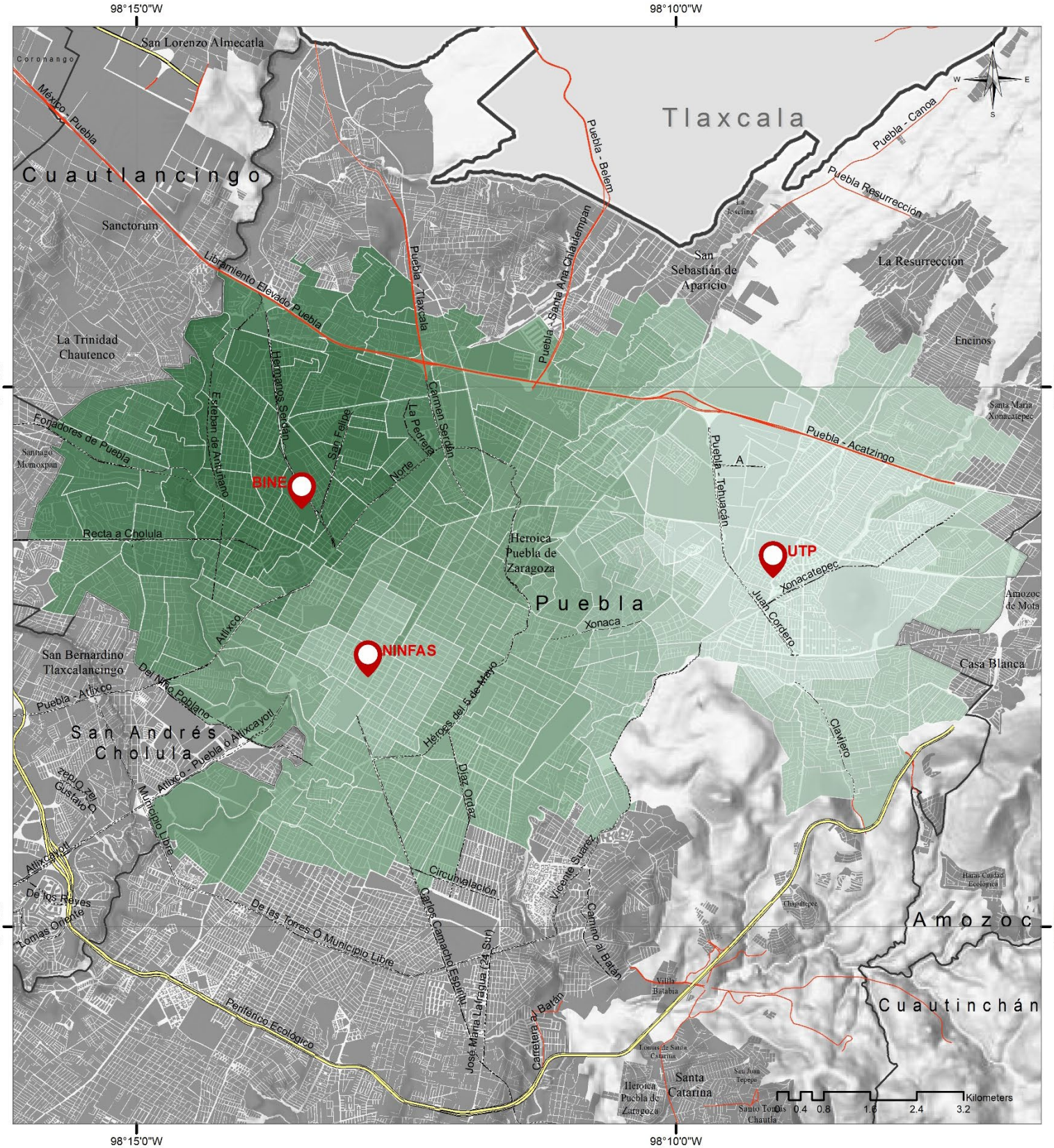
La concentración anual del escenario base estimada para el municipio de Puebla se presenta en la Tabla 56, estos valores se tomaron directamente de los indicadores de exposición crónica de $PM_{2.5}$ generados en el capítulo de calidad del aire, y en el caso de la estación BINE se estimó el valor a partir del promedio de los indicadores de los tres años anteriores a 2019.

TABLA 56. VALORES ANUALES DE $PM_{2.5}$ DE LOS ESCENARIOS DE MODELACIÓN DE LOS IMPACTOS EN LA SALUD

ESTACIONES DE MONITOREO	VALOR ANUAL EN EL ESCENARIO BASE, µg/m³	VALOR ANUAL EN EL ESCENARIO DE CONTROL, µg/m³
Benemérito Instituto Normal del Estado	25	12
Parque de la Ninfas	21	12
Universidad Tecnológica de Puebla	20	12

Fuente: Elaboración propia con información de SMADSOT y NOM 025-SSA1-2021.

La selección del área geográfica de la evaluación tomó en cuenta el radio de influencia de 3 km de las ubicaciones de las estaciones de monitoreo, de acuerdo con la representatividad espacial de las estaciones de monitoreo especificadas por la SMADSOT.



Simbología

- Estaciones de monitoreo consideradas

Concentración de exposición crónica 2019

PM 2.5 (ug/m3)

- 20.0 - 20.3
- 20.4 - 20.8
- 20.9 - 21.3
- 21.4 - 21.8
- 21.9 - 22.5
- 22.6 - 23.3
- 23.4 - 24.0
- 24.1 - 24.9
- Límite del Estado de Puebla
- Límite
- Mancha urbana
- Límite

Red Vial

- Boulevard



M216. Concentración de exposición Crónica PM 2.5 en el 2019

Mapa Base: Marco Geoestadistico diciembre 2021, Estado de Puebla, INEGI.

Coordinate System: MEXICO ITRF 2008 LCC
Projection: Lambert Conformal Conic 2SP
Datum: ITRF 2008

Posteriormente, la asignación de la concentración de exposición en cada Área Geoestadística Básica Urbana (AGEB) se realizó aplicando el método geográfico de interpolación espacial de distancia inversa cuadrada. La población por AGEB considerada en esta evaluación fueron los adultos de más de 15 y 30 años de cada AGEB de 2020. En el Mapa M216, se presenta tanto la localización de las estaciones de monitoreo del municipio de Puebla como el área a la que se asignó la exposición (áreas en verde).

El área de estudio se circunscribió al municipio de Puebla, por lo anterior las estimaciones se hicieron solamente para los AGEB seleccionados que pertenecen a este municipio.

Otro insumo para esta evaluación, fueron las tasas basales de mortalidad que indican la ocurrencia base de casos de defunciones o enfermedades por las causas estudiadas en un periodo específico del año (INEGI, 2019) En la Tabla 57 se presentan la tasa de mortalidad por enfermedades cardiovasculares, cardiopulmonares, cáncer de pulmón e isquémicas del corazón por cada 100,000 habitantes del municipio de Puebla para 2019.

TABLA 57. TASAS DE MORTALIDAD POR CAUSAS DE ENFERMEDAD EN 2019 PARA EL MUNICIPIO DE PUEBLA

CAUSA DE MORTALIDAD CIE-10 OMS	GRUPO ETARIO	TASAS BASALES DE MORTALIDAD CASOS X 100,000 HAB.
Cardiovasculares (CV) (I00-I99)	>15 años	247
Cardiopulmonares (CP) (I10-I70 y J00-J98)	>15 años	405
Cáncer de pulmón (CAP) (C33–C34)	>30 años	10
Enfermedades isquémicas del corazón (EIC) (I20–I25)	>30 años	188

Fuente: Elaboración propia con información del INEGI y del Gobierno del estado de Puebla

Las tasas basales y la población se utilizaron para estimar los casos de mortalidad basal por las causas de enfermedad estudiadas que se presentaron en 2019. Es oportuno comentar que los datos de población corresponden al censo de población y vivienda de 2020, por ser el año más cercano al año base de cálculo 2019 (INEGI, 2020a).

La caracterización o cuantificación de los casos evitados por impacto identificado.

La cuarta etapa corresponde a la estimación del exceso de los casos de mortalidad atribuible al exceso de las concentraciones anuales de $PM_{2.5}$ en el área de estudio, para cada causa de mortalidad y en cada AGEB, es decir, a los casos de mortalidad potencialmente evitables si se cumpliera con la NOM-025-SSA1-2014, vigente en 2019, para las $PM_{2.5}$, mediante la siguiente ecuación:

$$\sum I_{ij} = \Delta C_j \cdot FER_i \cdot Pj \cdot T_i \qquad \text{Ecuación 1}$$

En donde:

- I_{ij} [número de casos]. Número de casos del impacto en la salud i [donde i es mortalidad cardiovascular, cardiopulmonar, isquémicas del corazón y cáncer de pulmón] asociada con el cambio en la concentración de $PM_{2.5}$, en el AGEB j
- ΔC_j [µg/m³]. Cambio de la exposición del contaminante de $PM_{2.5}$ si el nivel de este contaminante cumpliera con límite anual de la NOM-025-SSA1-2014, ponderado por la población que está expuesta en el AGEB j
- FER_{ij} [%/1µg/m³]. Función exposición-respuesta (FER) expresada como el incremento relativo del riesgo para el efecto i por un cambio en una unidad en la concentración de $PM_{2.5}$.
- P_j [número de personas]. Población expuesta a $PM_{2.5}$, en el AGEB j.
- Ti [número de casos/personas/año]. Tasa basal de mortalidad municipal asociada con el impacto i para la población P.

Los resultados de la evaluación de la mortalidad evitables se presentan en la Figura 104. En el municipio de Puebla se podrían evitar 224 casos por enfermedades cardiopulmonares (8% de los casos basales), 216 casos por enfermedades cardiovasculares (13% de los casos basales), 123 casos por enfermedades isquémicas del corazón (15% de los casos basales) y 12 casos por cáncer de pulmón en 2019 (26% de los casos basales), dando un total conjunto de 575 casos de mortalidad evitables.

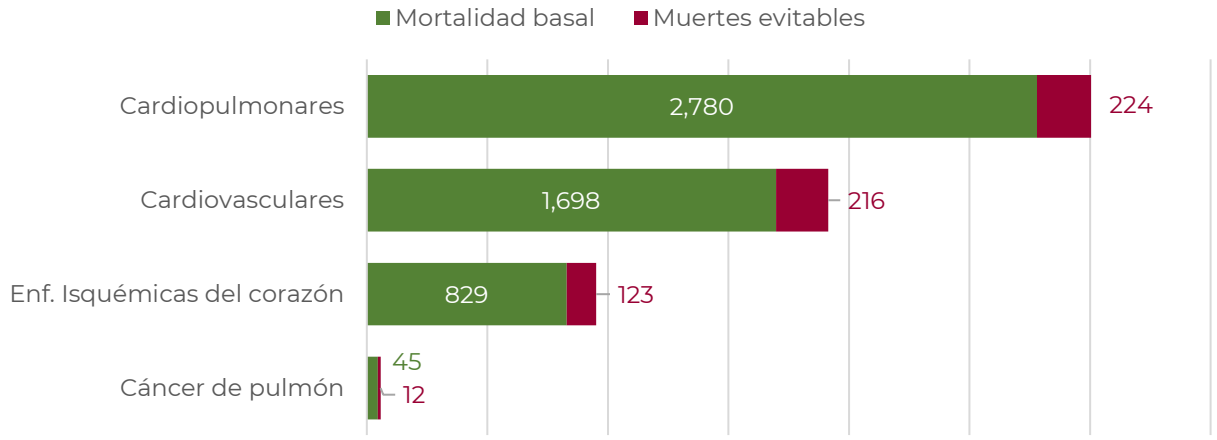


FIGURA 104. CASOS DE MUERTES EVITABLES POR CAUSA ESPECÍFICA DE ENFERMEDAD EN EL MUNICIPIO DE PUEBLA, Y SU CONTRIBUCIÓN A LA INCIDENCIA BASAL DE ACUERDO CON LA NOM VIGENTE EN 2019

Los resultados de los dos escenarios adicionales: a) considerando el límite de la NOM de $PM_{2.5}$ actualizada en 2021 (NOM-025-SSA1-2021), cuyo límite para exposición crónica es 10 µg/m³, y b) considerando el valor correspondiente recomendado por la OMS de 5 µg/m³ se presentan en la figura 105.

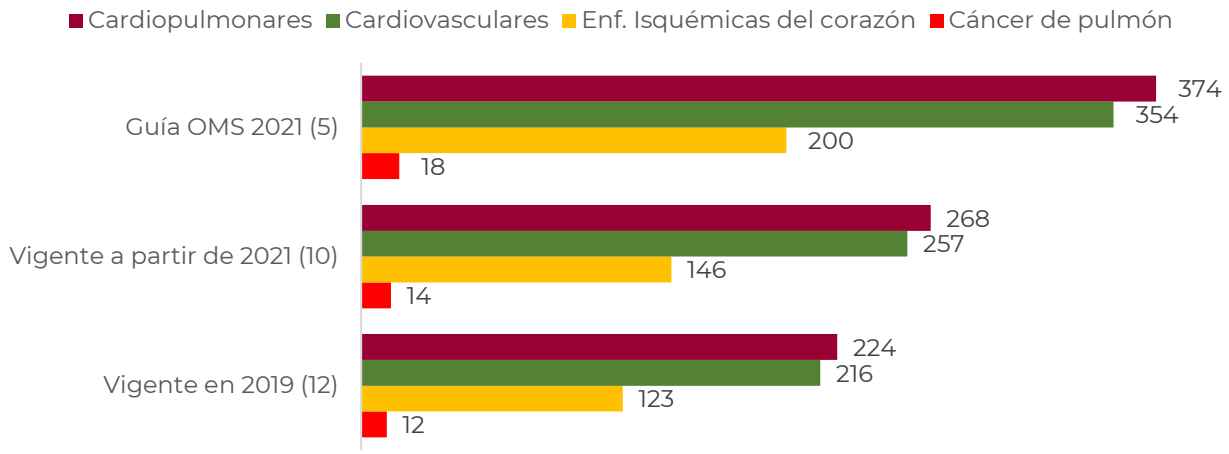


FIGURA 105. CASOS DE MUERTES EVITABLES POR CAUSA ESPECÍFICA DE ENFERMEDAD EN EL MUNICIPIO DE PUEBLA DE ACUERDO CON LA NOM VIGENTE EN 2019, LA NOM ACTUALIZADA EN 2021 Y LA RECOMENDACIÓN DE LA OMS

Los casos de mortalidad evitable por las cuatro causas de enfermedad estudiadas, en el escenario de la NOM actualizada en 2021, ascenderían a 683, mientras que en el escenario de la recomendación de la OMS alcanzarían los 947 casos, esto representa en términos relativos un incremento del 19% y 65 % de los casos de mortalidad evitable respecto al escenario del cumplimiento de la NOM vigente.

La quinta etapa evalúa monetariamente los casos evitados del impacto identificado, aunque esta es opcional, pero importante en los análisis costo-beneficio.

La evaluación económica de los casos de mortalidad evitable en el municipio de Puebla únicamente se contabilizaron los casos de enfermedades cardiopulmonares y de cáncer de pulmón. Los casos de mortalidad por enfermedades cardiovasculares, isquémicas del corazón y cáncer de pulmón no se cuentan debido a que éstas comparten códigos de enfermedad con las cardiopulmonares, por lo que se contaría doble.

La valoración económica de los casos de mortalidad evitables se realizó utilizando un valor estadístico de la vida de un metaanálisis de Estados Unidos ajustado por ingreso a México. El valor utilizado en esta evaluación fue de $ 33, 898, 679 pesos de 2019. Para mayor detalle de la metodología utilizada, referirse a (López-Villegas & Pérez-Rivas, 2014).

Tomando en cuenta lo anterior, la valoración económica consideró 236 casos de mortalidad evitable en el municipio de Puebla, lo que resulta en un valor económico alrededor de $ 8,000 millones de pesos (mdp). Estos resultados se complementan con datos proporcionados por la Dirección de Calidad del Aire de la SMADSOT en la que se estimó el costo de tratamiento de las infecciones respiratorias agudas (IRAs) anualmente en la ZMVP, el que asciende a 670 millones anuales por exposición a las PM_{10} (SMADSOT, 2021a).

5.1.2. Otros Impactos en la salud relevantes por exposición a contaminantes del aire

Uso de leña en los hogares poblanos. Principalmente mujeres y niños se exponen a altas concentraciones de contaminantes del aire provenientes de combustión incompleta de leña en los hogares rurales. estado de Puebla se sitúa con un alto consumo de leña (23,014 petajoules para el año 2010) respecto a la producción y consumo a nivel nacional (Portugal et al., 2015).

La leña, en las zonas indígenas campesinas, es un recurso que se utiliza principalmente en el ámbito del hogar, para la cocción de alimentos y el calentamiento de los hogares. Los miembros del hogar que realizan esta actividad se exponen constantemente a altos niveles de partículas suspendidas y a otros contaminantes: como el monóxido de carbono, hidrocarburos aromáticos policíclicos y otros compuestos tóxicos (US EPA, 2022).

La exposición crónica al humo de leña se ha asociado principalmente con enfermedades respiratorias agudas, bronquitis crónica o la enfermedad pulmonar obstructiva crónica (EPOC) y al cáncer de pulmón (Shupler et al., 2018).

Exposición a contaminantes del aire por la producción de ladrillo artesanal.

El estado tiene el mayor número de hornos ladrilleros a nivel nacional (Quiroz Carranza et al., 2021). La producción de ladrillo artesanal es una actividad familiar en la que hombres, mujeres, infantes y jóvenes se exponen a elevadas concentraciones de contaminantes, alguno de ellos muy tóxicos: monóxido de carbono (CO), de material particulado menor a 2.5 y 10 micro- metros ($PM_{2.5}$ y PM_{10}), compuestos orgánicos volátiles (COV), dióxido de nitrógeno (NO_2), dióxido de azufre (SO_2), metales pesados, dióxido de carbono (CO_2), hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), bifenilos policlorados (BPC), dioxinas, entre otros, (Berumen-Rodríguez et al., 2020).

Estos contaminantes se emiten durante la cocción de ladrillo en hornos artesanales que queman aceites, llantas, residuos de madera, ropa, basura, e incluso residuos peligrosos, para abaratar los costos de producción. La exposición al humo de las ladrilleras se ha asociado con el desencadenamiento de enfermedades pulmonares con efectos agudos como tos y flema crónica, opresión del pecho, sibilancias en el pecho, y efectos crónicos como disnea, asma, bronquitis, EPOC, neumoconiosis y problemas cardiovasculares (Berumen-Rodríguez et al., 2020; Bhat et al., 2014).

5.2. Impactos en la distribución espacial de las enfermedades zoonóticas por el cambio climático

En esta sección se presentan las zonas de vulnerabilidad de alto consenso para dos enfermedades zoonóticas, la enfermedad de Dengue y la enfermedad de Chagas (tripanosomiasis americana) en el estado de Puebla. Este análisis se llevó a cabo a partir variables geolocalizadas, seleccionadas de la literatura, relacionadas con la sensibilidad, la exposición y la capacidad adaptativa que se modelaron en ocho escenarios derivados de la combinación de cuatro proyecciones de población y dos proyecciones de cambio climático.

5.2.1. Zoonosis

El dengue y la tripanosomiasis americana son enfermedades zoonóticas relevantes en México, para las cuales se prevé un aumento de los riesgos asociados debido al cambio climático (Tidman et al. 2021).

La enfermedad del dengue es una de las más importante a nivel mundial, clasificándolo como una enfermedad reemergente en regiones tropicales y subtropicales y es endémica en más de 100 países por lo que ha originado un incremento en tasas de morbilidad y mortalidad ya que cada año se reportan aproximadamente 100 millones de infecciones en diversos países y se estima que la mitad de la población ubicada en regiones de los trópicos se encuentra en riesgo(Calderón-Hernández, 2018).Los países más afectados por el dengue en América Latina han sido Costa Rica, Honduras y México para el 2013 (OMS, 2022a). Los casos de dengue acumulados en la semana epidemiológica 29 de 2022 ascienden a 159 en el estado de Puebla (Secretaría de salud, 2022).

Por su parte, la enfermedad de Chagas, también llamada tripanosomiasis americana, se encuentra sobre todo en zonas endémicas de 21 países de América Latina, donde se transmite a los seres humanos y otros mamíferos principalmente por las heces o la orina de insectos triatominos (vía vectorial) conocidos como vinchucas, chinches o con muchos otros nombres, según la zona geográfica (OMS, 2022b). En México se considera un problema de salud pública ya que se estima 1.1 millones de personas infectadas (Rojo-Medina et al., 2018). En lo que va del 2022 no ha habido casos de la enfermedad de Chagas en el estado de Puebla, la cual se trasmite por la picadura de la “chinche besucona” y causa padecimientos degenerativos como alteraciones motoras del esófago y cardiacas (Secretaría de Salud de Puebla, 2022).

En ambos casos, la vulnerabilidad de la población por el contagio de estas zoonosis se calculó mediante la misma aproximación usada para los sectores agrícola, biodiversidad, forestal e hídrico. Ésta corresponde a la definición establecida por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio

Climático (IPCC) (IPCC, 2007), considerando tres componentes: a) exposición, b) sensibilidad y c) capacidad adaptativa mediante la fórmula:

Vulnerabilidad = (Exposición + Sensibilidad) - Capacidad adaptativa

Las variables usadas para construir los tres componentes de la vulnerabilidad se seleccionaron mediante una revisión de la literatura especializada en el tema. Si bien en algunos de los documentos revisados no necesariamente se identificó o calculó la relación entre las variables y los elementos del riesgo o vulnerabilidad abordados, fueron consideradas por los autores como relevantes para explicar el fenómeno estudiado, asociado a estas zoonosis.

Métodos

Dengue. La vulnerabilidad se calculó considerando las variables de la Tabla 58.

TABLA 58. VARIABLES SELECCIONADAS PARA CALCULAR LA VULNERABILIDAD AL DENGUE.

COMPONENTE	VARIABLE	JUSTIFICACIÓN	REFERENCIAS
Sensibilidad	Población menor a 11 años y mayor a 60.	Los niños y adultos mayores tienen un mayor riesgo de hospitalización y mortalidad por dengue.	Fonseca-Portilla et al. 2021; Rocklöv y Dubrow, 2020; Zafar et al. 2021; Cabrera et al. 2022.
	Índice de rezago social.	Variables socioeconómicas son consideradas para explicar distintas aristas de esta zoonosis. Las deficiencias físicas de las viviendas, los servicios de abastecimiento de agua y saneamiento están asociadas a un riesgo alto.	Causa et al. 2020; Rocklöv y Dubrow, 2020; Zafar et al. 2021; Cabrera et al. 2022.
Exposición	Idoneidad climática de los vectores de acuerdo con proyecciones de cambio climático.	El cambio climático tendrá efectos en la distribución geográfica de los vectores, así como en los patrones de transmisión de zoonosis.	Lubinda et al. 2019; Henry y Mendonça, 2020; Khan et al. 2020; Xu et al. 2020.
	Tamaño poblacional por SSP.	Las proyecciones espacialmente explícitas de la población, de acuerdo con diferentes escenarios de cambio climático, permiten conocer la disponibilidad de hospederos y la cantidad de personas expuestas a futuro.	Wu et al. 2021.
Capacidad adaptativa	Distancia a servicios de salud.	El acceso a servicios de salud es un factor que permite explicar las tasas de mortalidad y es un indicador de la capacidad adaptativa de las comunidades.	Henry y Mendonça, 2020; Rocklöv y Dubrow, 2020; Zafar et al. 2021.

Fuente: Elaboración propia con información de diversos autores.

Mientras que para Chagas (tripanosomiasis americana) se calculó considerando las variables de la Tabla 59. En el caso específico de la variable de exposición se construyeron de la siguiente manera:

Dengue. Aunque el proceso de expansión de las distribuciones de los vectores en el futuro es complejo y multifactorial, las proyecciones se realizan generalmente con base en variables ambientales (Botello et al. 2022). Para conocer el cambio en la distribución de los vectores en el Estado se calculó la idoneidad climática actual y de acuerdo con ocho proyecciones de cambio climático, para las especies de mosquitos: *Aedes aegypti* y *Aedes albopictus*, mediante modelos de distribución de especies. Este método, usado también para calcular la vulnerabilidad del sector biodiversidad, y cuya descripción en extenso se presenta en la sección correspondiente, permite ajustar modelos extrapolando la distribución espacial y temporal, a partir de la observación de la presencia de las especies y las variables ambientales que se presume influyen en la idoneidad del hábitat (Franklin, 2010).

Chagas. La exposición se construyó mediante dos variables: a) la riqueza de especies de vectores de acuerdo con ocho proyecciones de cambio climático y b) El tamaño poblacional por SSP.

TABLA 59. VARIABLES SELECCIONADAS PARA CALCULAR LA VULNERABILIDAD A LA TRIPANOSOMIASIS AMERICANA.

COMPONENTE	VARIABLE	JUSTIFICACIÓN	REFERENCIAS
Sensibilidad	Índice de rezago social.	Las condiciones físicas de las viviendas, como pisos de tierra, así como del ambiente periurbano están asociadas a un riesgo alto.	Catala et al. (2004); Melo et al. (2018); Vasquez et al. (2019); Ledien et al. (2022); Fernández et al. (2019); Pérez et al (2011); Hurtado et al. (2014); Rojas (2015); Grijalva et al (2015).
Exposición	Riqueza de vectores de acuerdo con proyecciones de cambio climático.	El cambio climático tendrá efectos en la distribución geográfica de los vectores, así como en los patrones de transmisión de zoonosis.	Garza et al. 2014; Medone et al. 2015; Carmona-Castro et al. 2018; Tapia-Garay et al. 2018.
	Tamaño poblacional por SSP.	Las proyecciones espaciales de la población, de acuerdo con diferentes escenarios de cambio climático, permiten conocer la disponibilidad de hospederos y la cantidad de personas expuestas a futuro.	Wu et al. 2021.
Capacidad adaptativa	Distancia a servicios de salud.	El acceso a servicios de salud es un factor que permite explicar el riesgo.	Fernández et al. (2019); Vasquez et al. (2019).
	Viviendas particulares habitadas que disponen de radio.	La exposición a campañas de información y prevención en medios contribuye a la prevención y disminución del riesgo de contagio.	Rojas (2015); Fernández et al. (2019).

Fuente: Elaboración propia con información de diversos autores.

Para conocer la riqueza de especies de vectores proyectada a futuro se generaron modelos de distribución para ocho especies de chinches mediante el mismo método descrito para las especies del sector biodiversidad. Los datos de presencia de las especies se obtuvieron de la Infraestructura Mundial de Información en Biodiversidad (GBIF) y de la base de datos de especies de triatominos en América DataTri (Ceccarelli et al. 2018). Las especies consideradas son: a) *Dipetalogaster máxima*, b) *Rhodnius prolixus*, c) *Triatoma barberi*, d) *Triatoma gerstaeckeri*, e) *Triatoma mexicana*, f) *Triatoma nítida*, g) *Triatoma protracta* y h) *Triatoma rubida*.

Los modelos obtenidos se proyectaron al espacio geográfico correspondiente al estado de Puebla, para las ocho proyecciones de cambio climático. Posteriormente se transformaron a proyecciones binarias, i.e. zonas idóneas-no idóneas, usando el umbral que maximiza el valor del TSS (Allouche et al. 2006; Zhang et al. 2019).

A partir de las proyecciones binarias de las especies individuales, se construyó un mapa de riqueza de especies apilado, cuyos valores indican la cantidad de especies de chinches cuya distribución potencial coincide en una celda determinada, de acuerdo con la proyección de cambio climático correspondiente. Éstos se agruparon por horizonte temporal y SSP para obtener cuatro capas de riqueza.

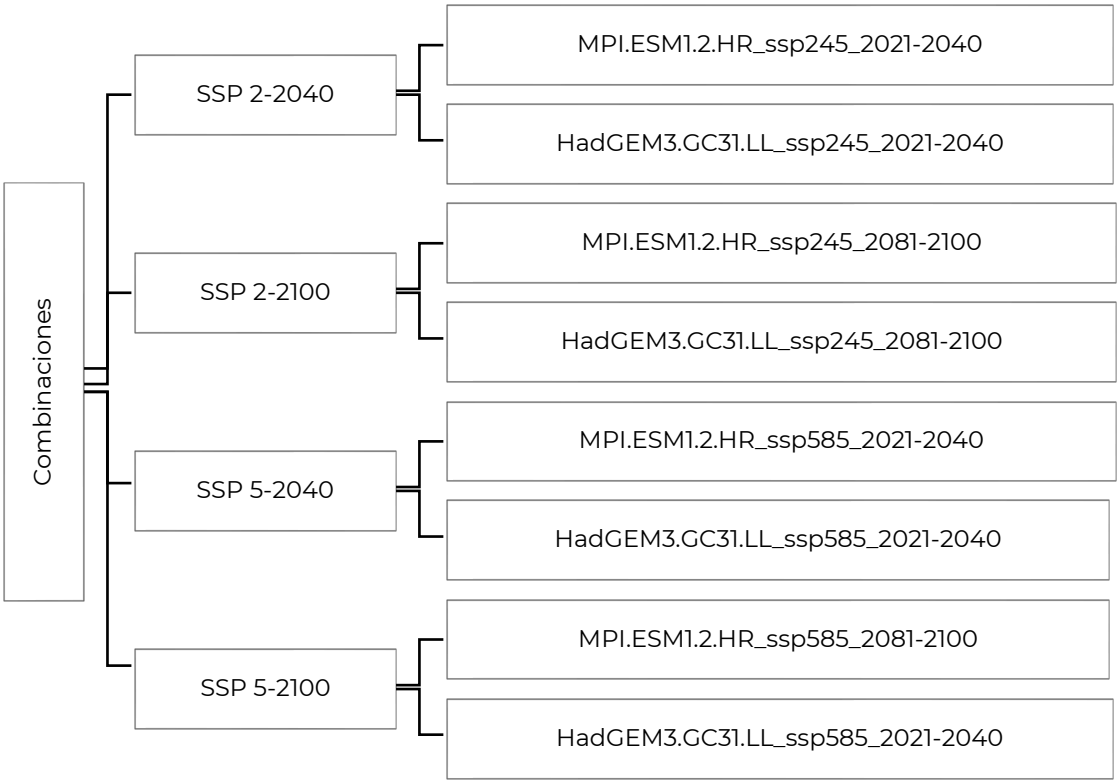


FIGURA 106. COMBINACIONES DE LAS CUATRO PROYECCIONES POBLACIONALES POR SSP (DERECHA) Y LAS OCHO PROYECCIONES DE CAMBIO CLIMÁTICO.

En ambos casos, las ocho proyecciones de idoneidad climática obtenidas están representadas por valores continuos en formato raster, con una resolución espacial de 1 km. La población proyectada a futuro se construyó con información del conjunto de datos de cuadrículas reducidas de la proyección de la población global basadas en las trayectorias socioeconómicas compartidas (SSP), revisión 01 (Gao, 2020), que consta de datos sobre la población global para el año base 2000, y las proyecciones a intervalos de diez años para el periodo 2010-2100 a una resolución espacial de 1 km, consistente tanto cuantitativa como cualitativamente con los SSP. Se consideraron cuatro proyecciones conformadas por los SSP 2 y 5, y los horizontes temporales cercano (2040 y lejano 2100), que correspondientes a los mismos SSP y horizontes temporales de las ocho proyecciones de cambio climático usadas para generar los modelos de idoneidad climática (Figura 106).

Resultados para Dengue

En las siguientes figuras se muestra la superficie y el porcentaje de las regiones del Estado bajo las tres clases de vulnerabilidad de acuerdo con las ocho proyecciones de cambio climático. Para todas las proyecciones del horizonte temporal cercano (hc), i.e. 2021-2040, la Mixteca y la Sierra Nororiental presenta mayor proporción de su territorio con vulnerabilidad alta.

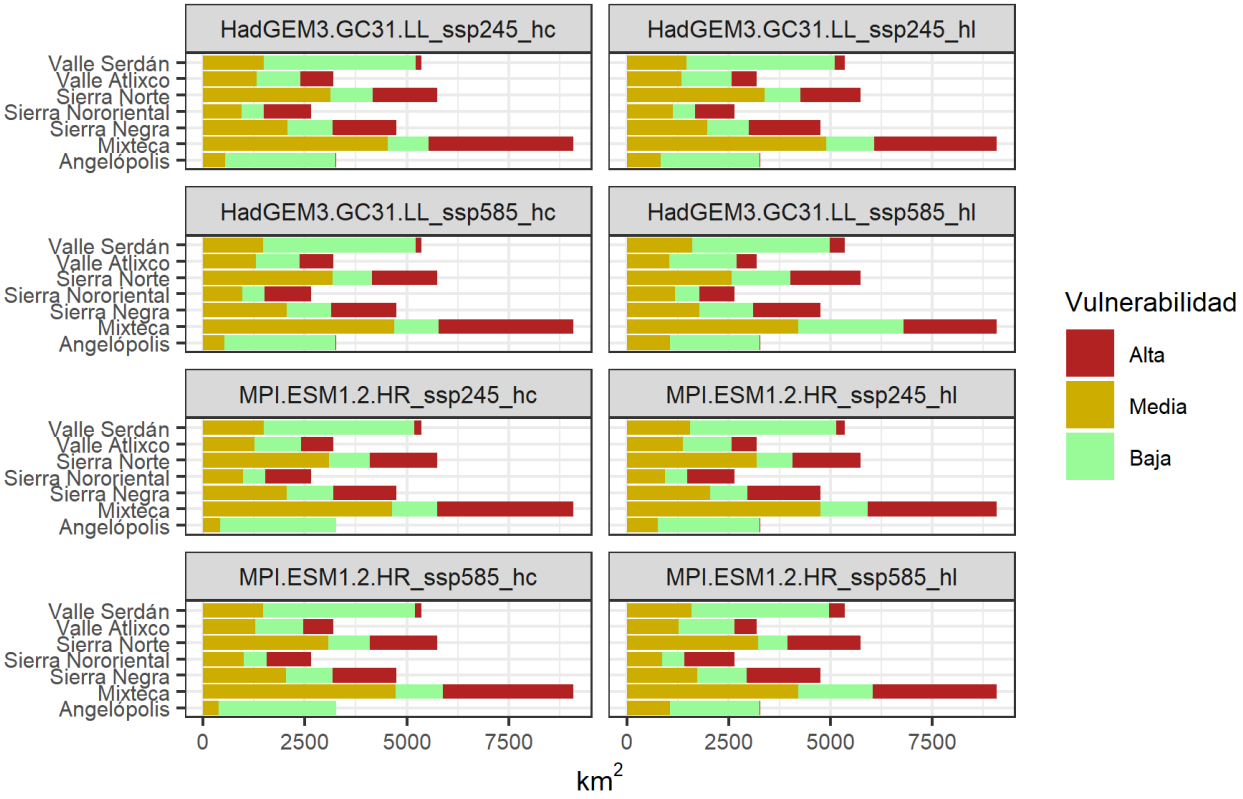


FIGURA 107. SUPERFICIE POR CLASE DE VULNERABILIDAD AL DENGUE PARA LAS REGIONES DEL ESTADO DE ACUERDO CON LAS OCHO PROYECCIONES DE CAMBIO CLIMÁTICO.

Las proyecciones correspondientes al horizonte temporal lejano, i.e. 2081-2100, no son consistentes en todas las regiones; de acuerdo con el modelo de circulación general HadGEM3 y el SSP 245, la Mixteca y la Sierra Negra son las que presentan mayor proporción de su superficie con vulnerabilidad alta, mientras que, de acuerdo con el SSP 585 de este modelo, la Sierra Nororiental y la Sierra Negra son las que presentan esta condición.

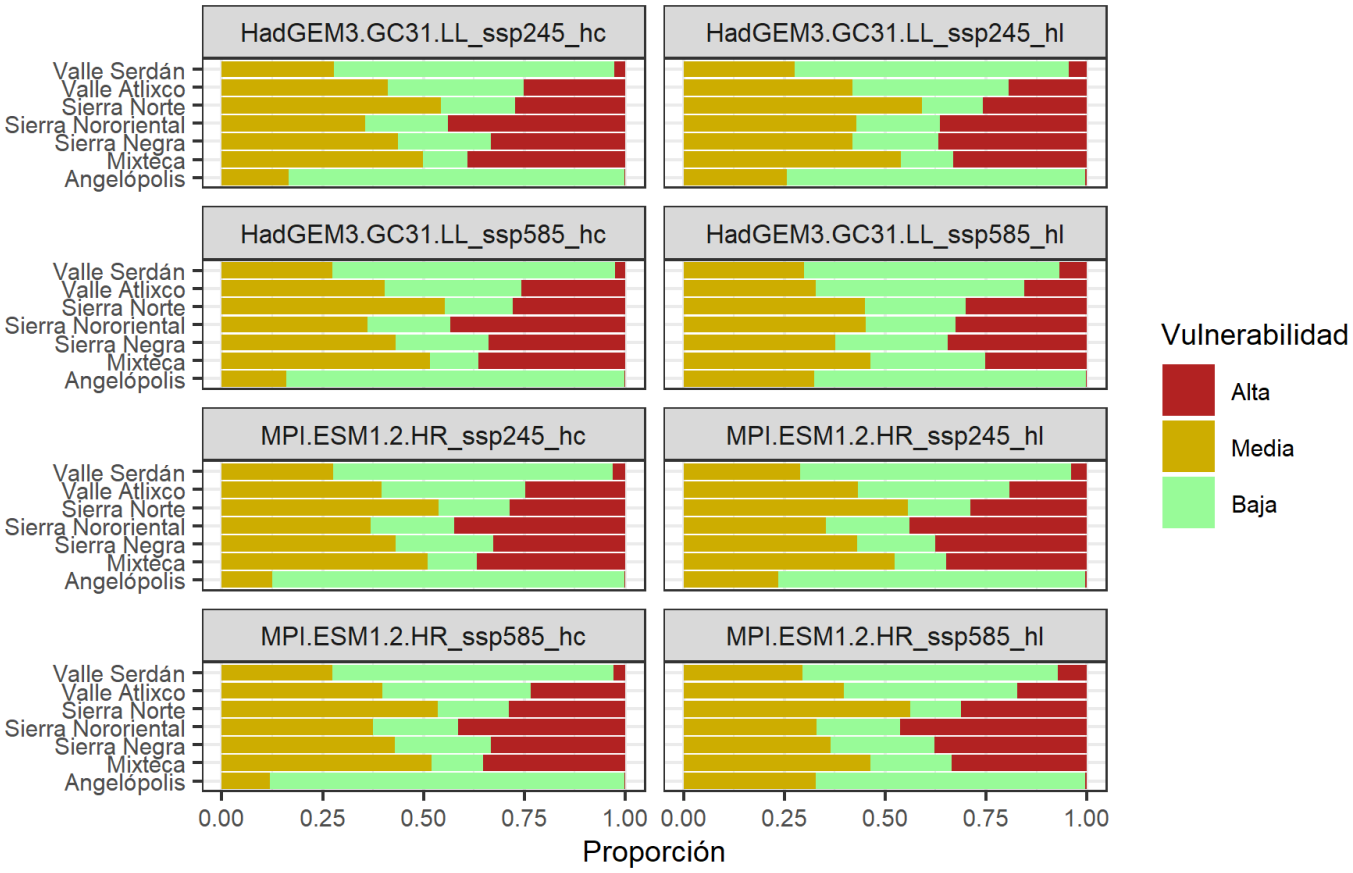


FIGURA 108. PROPORCIÓN POR CLASE DE VULNERABILIDAD AL DENGUE PARA LAS REGIONES DEL ESTADO DE ACUERDO CON LAS OCHO PROYECCIONES DE CAMBIO CLIMÁTICO.

PUEBLA Un gobierno presente

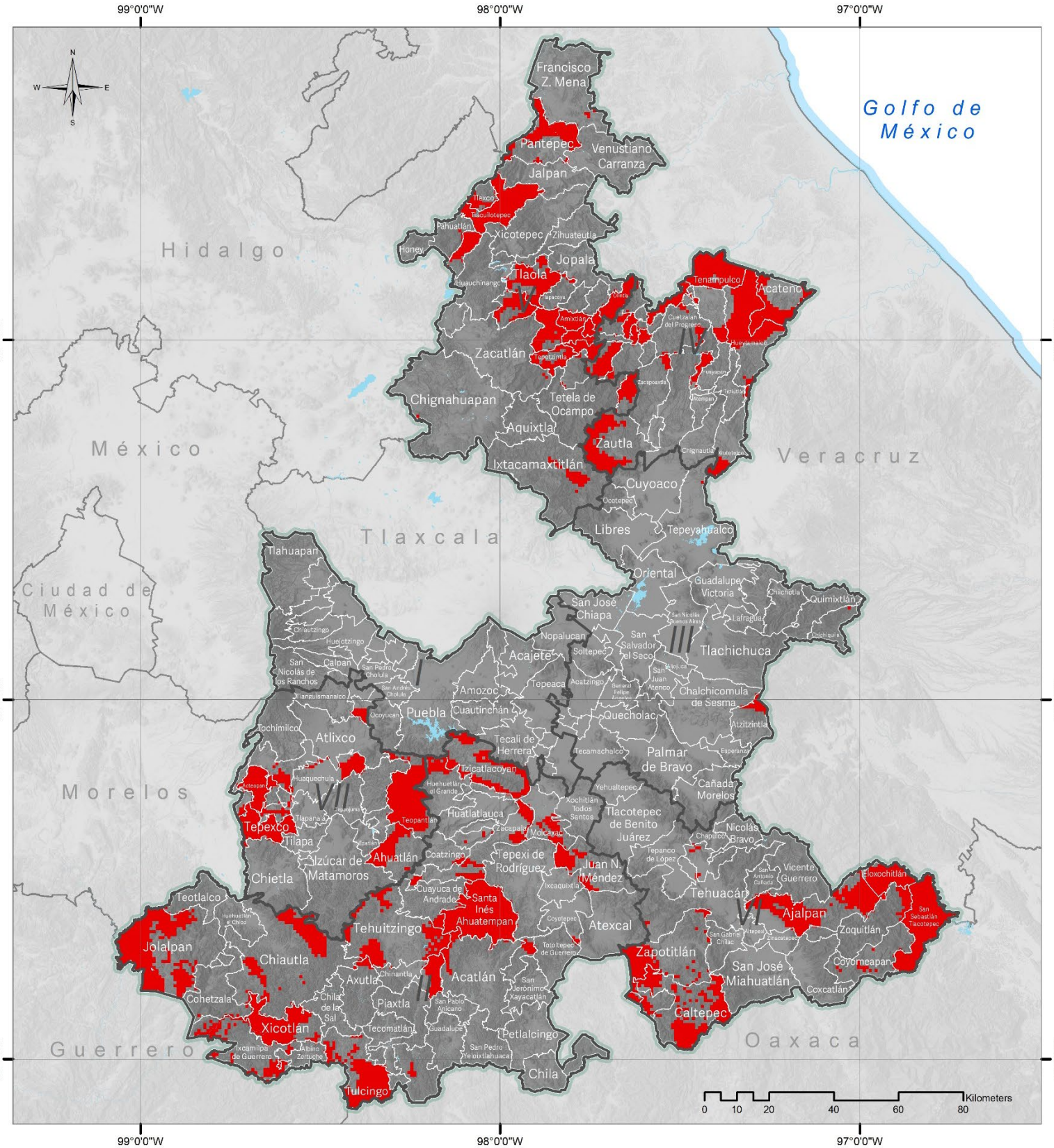
Secretaría de Medio Ambiente, Desarrollo Sustentable y Ordenamiento Territorial

MEDIO AMBIENTE

INECC

COMISIÓN AMBIENTAL DE LA MEGALÓPOLIS

PROGRAMA DE GESTIÓN DE CALIDAD DEL AIRE Y DE ACCIÓN ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO 2021-2030



Simbología

- Límite municipal
- Cuerpos de agua
- Límite del Estado de Puebla
- Límite estatal

Vulnerabilidad

Dengue

- Alta consenso

Regiones Puebla

- I, Angelópolis
- II, Mixteca
- III, Serdán y Valles Centrales
- IV, Sierra Nororiental
- V, Sierra Norte
- VI, Tehuacán y Sierra Negra
- VII, Valle Atlixco y Matamoros



M162. Vulnerabilidad por Dengue

Fuente: Elaboración Propia
Mapa Base: Marco Geoestadistico diciembre 2021, Estado de Puebla, INEGI.

Coordinate System: MEXICO ITRF 2008 LCC
Projection: Lambert Conformal Conic 2SP
Datum: ITRF 2008

La Sierra Nororiental, de acuerdo con todas las proyecciones de cambio climático, la que presenta mayor porcentaje de superficie con vulnerabilidad alta, seguida por la Sierra Negra y la Mixteca. Por el contrario, Angelópolis es la región con menor proporción de vulnerabilidad alta consenso al dengue.

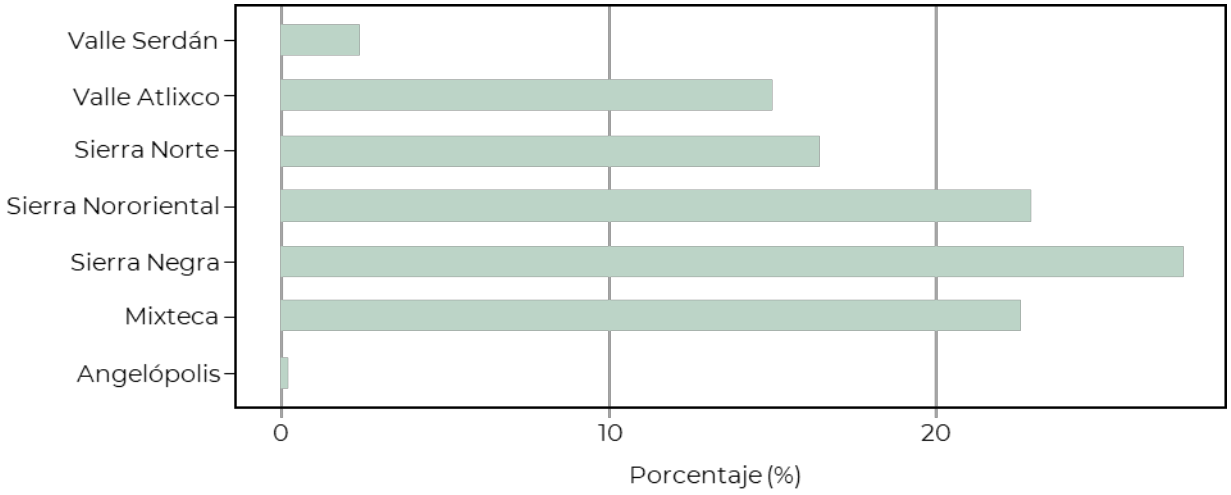


FIGURA 109. PORCENTAJE DE LA SUPERFICIE DE LAS REGIONES DEL ESTADO CON VULNERABILIDAD AL DENGUE ALTA CONSENSO.

A nivel municipal, el 63 % de los municipios (137) presentan vulnerabilidad alta de acuerdo con todas las proyecciones de cambio climático en alguna parte de su territorio; en 14 de ellos se presenta esta clase de vulnerabilidad en el 90% o más de su superficie. Santa Inés Ahuatempan, Tepango de Rodríguez, Camocuautla y Amixtlán son los municipios con mayor área altamente vulnerable. En 29 municipios la vulnerabilidad alta consenso está representada en menos del 1 % de su superficie; de ellos, Tepanco de López, Cuautinchán, Coxcatlán y Chignahuapan son el los que está representada en menor proporción.

Resultados para Chagas

Para todos los horizontes temporales y SSP, la Sierra Negra es la región cuya superficie presenta una mayor proporción de vulnerabilidad alta, mientras que Angelópolis es la que presenta menor proporción bajo esta clase.

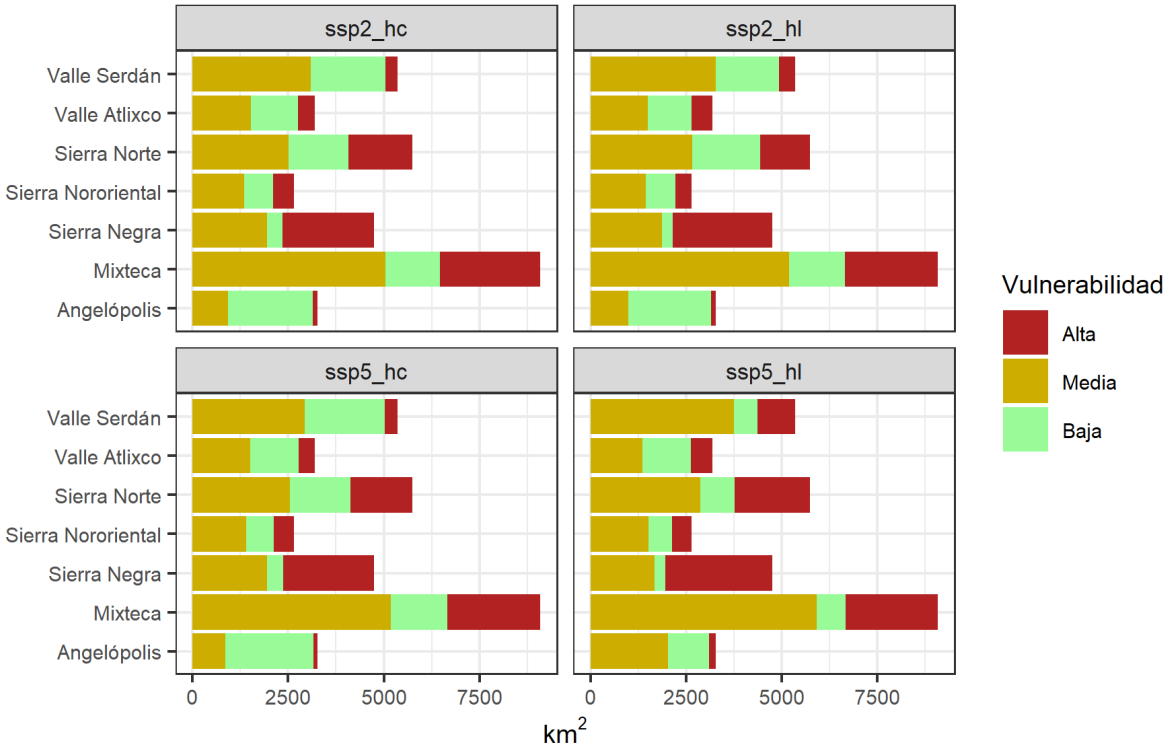


FIGURA 110. SUPERFICIE POR CLASE DE VULNERABILIDAD A LA TRIPANOSOMIASIS AMERICANA PARA LAS REGIONES DEL ESTADO.

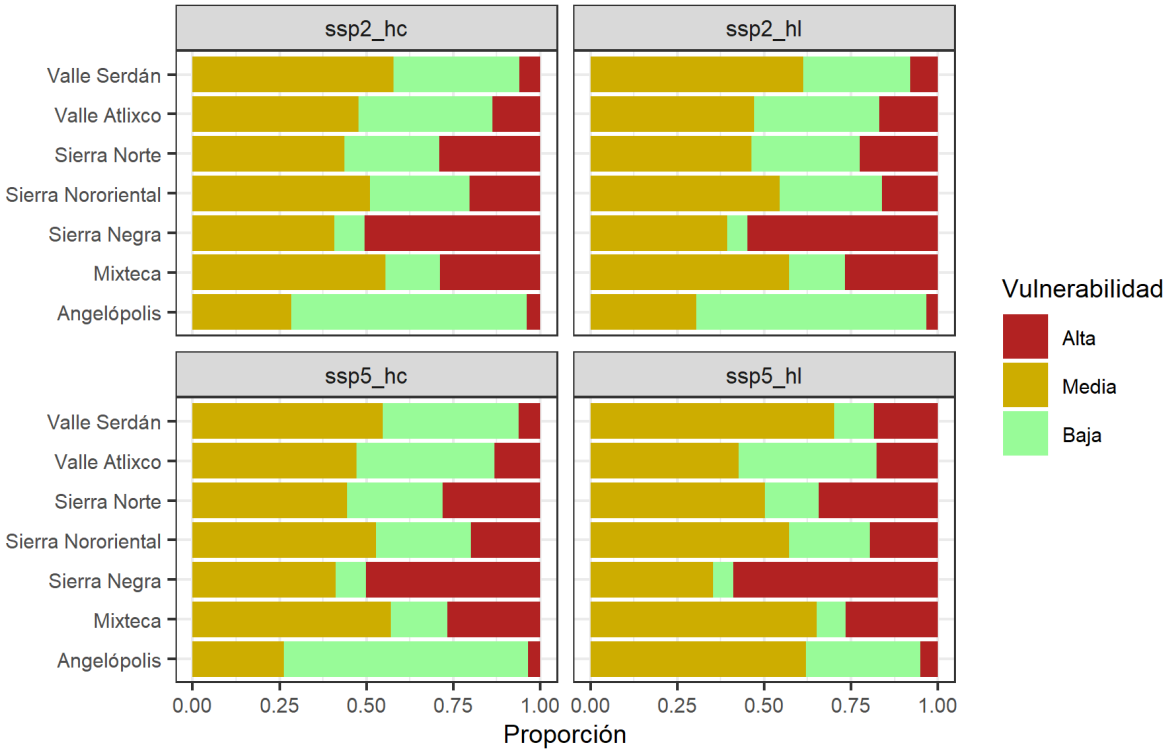
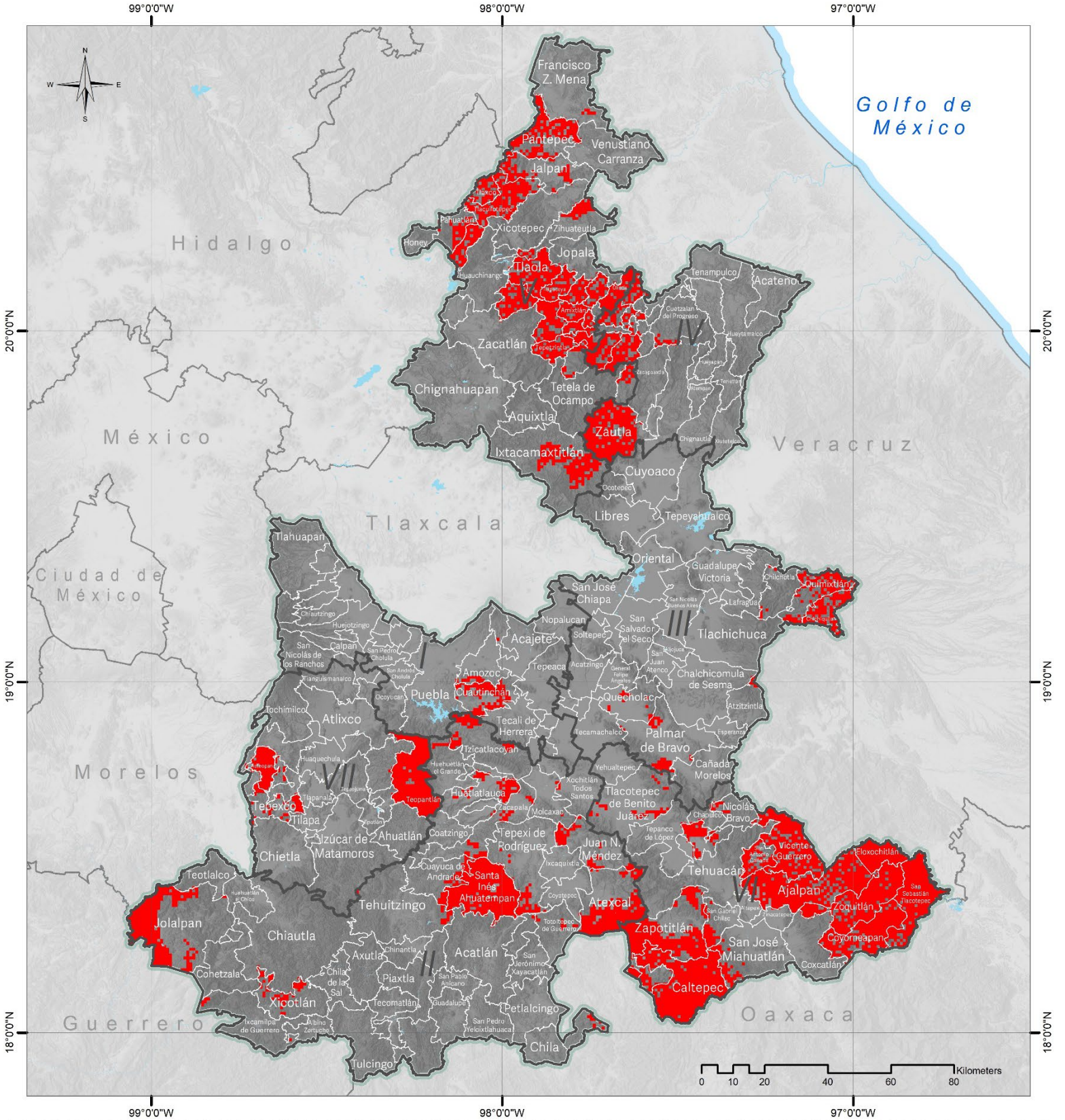


FIGURA 111. PROPORCIÓN POR CLASE DE VULNERABILIDAD A LA TRIPANOSOMIASIS AMERICANA PARA LAS REGIONES DEL ESTADO.



Simbología

- Límite municipal
- Cuerpos de agua
- Límite del Estado de Puebla
- Límite estatal

Vulnerabilidad

Chagas

- Alta consenso

Regiones Puebla

- I, Angelópolis
- II, Mixteca
- III, Serdán y Valles Centrales
- IV, Sierra Nororiental
- V, Sierra Norte
- VI, Tehuacán y Sierra Negra
- VII, Valle Atlixco y Matamoros



M163. Vulnerabilidad por Chagas

Fuente: Elaboración Propia
Mapa Base: Marco Geoestadistico diciembre 2021, Estado de Puebla, INEGI.

Coordinate System: MEXICO ITRF 2008 LCC
Projection: Lambert Conformal Conic 2SP
Datum: ITRF 2008

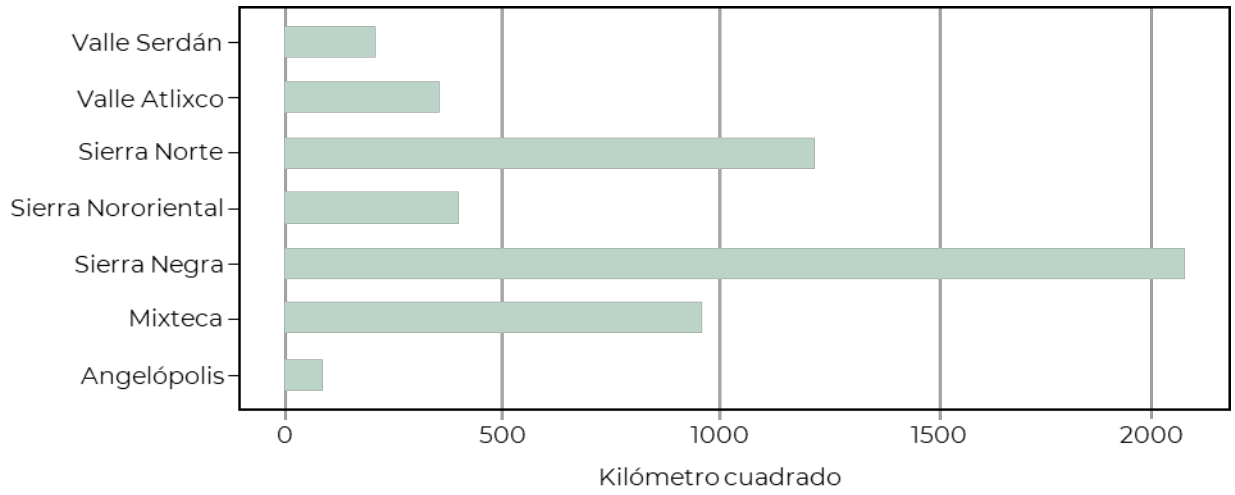


FIGURA 112. PORCENTAJE DE LA SUPERFICIE DE LAS REGIONES DEL ESTADO CON VULNERABILIDAD A LA TRIPANOSOMIASIS AMERICANA ALTA CONSENSO.

A nivel municipal, 129 municipios presentan vulnerabilidad alta consenso en su territorio. Eloxochitlán, Santa Inés Ahuatempan, Teopantlán y Caltepec presentan esta clase en más del 90% de su territorio. Por el contrario, 31 municipios tienen menos del 1% de su superficie con valores altos.

5.3. EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD Y RIESGO DE LOS SECTORES CLAVE DEL ESTADO DE PUEBLA ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO.

5.3.1. VULNERABILIDAD DEL SECTOR BIODIVERSIDAD ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO

El cambio climático y la pérdida de biodiversidad son dos de los problemas más apremiantes del antropoceno (Pörtner et al., 2021) a los cuales se enfrenta la humanidad. Los impactos en la diversidad biológica del cambio climático, que junto con otras amenazas de origen antropogénico con las que actúa en sinergia (Lovejoy y Hannah, 2019), ya han sido observados y los daños y pérdidas causadas en los ecosistemas terrestres son considerables y mayores que los estimados anteriormente.

Se han presentado alteraciones en todos los ecosistemas del planeta; la pérdida de especies, el aumento de las enfermedades y los eventos de mortandad masiva de plantas y animales han conducido a un evento de extinción impulsada por el clima. Se prevé que el incremento de 1.5 °C en el futuro cercano provocaría un aumento de múltiples peligros climáticos y presentaría múltiples riesgos para los ecosistemas y los seres humanos.

También, se han presentado alteraciones en la fenología, en los eventos estacionales, así como cambios en las distribuciones geográficas de plantas y

animales continuarán presentándose en todo el planeta. Ecosistemas únicos y amenazados estarán en alto riesgo en el corto plazo, a niveles de calentamiento globales de 1.2°C, el cual se incrementará con cada décima de grado de calentamiento (IPCC, 2022).

Caracterización biológica

El estado de Puebla cuenta con una alta diversidad biológica (CONABIO, 2013). En él se encuentran aproximadamente 6,114 especies, 1,274 animales, 4,514 plantas, 131 hongos, 165 protistas y 30 bacterias (CONABIO, 2011), lo que lo coloca en el lugar número 12 en biodiversidad de plantas a nivel nacional (Villaseñor, 2003) y posee aproximadamente el 2.1 % de la diversidad de animales que se distribuyen en México (CONABIO, 2011).

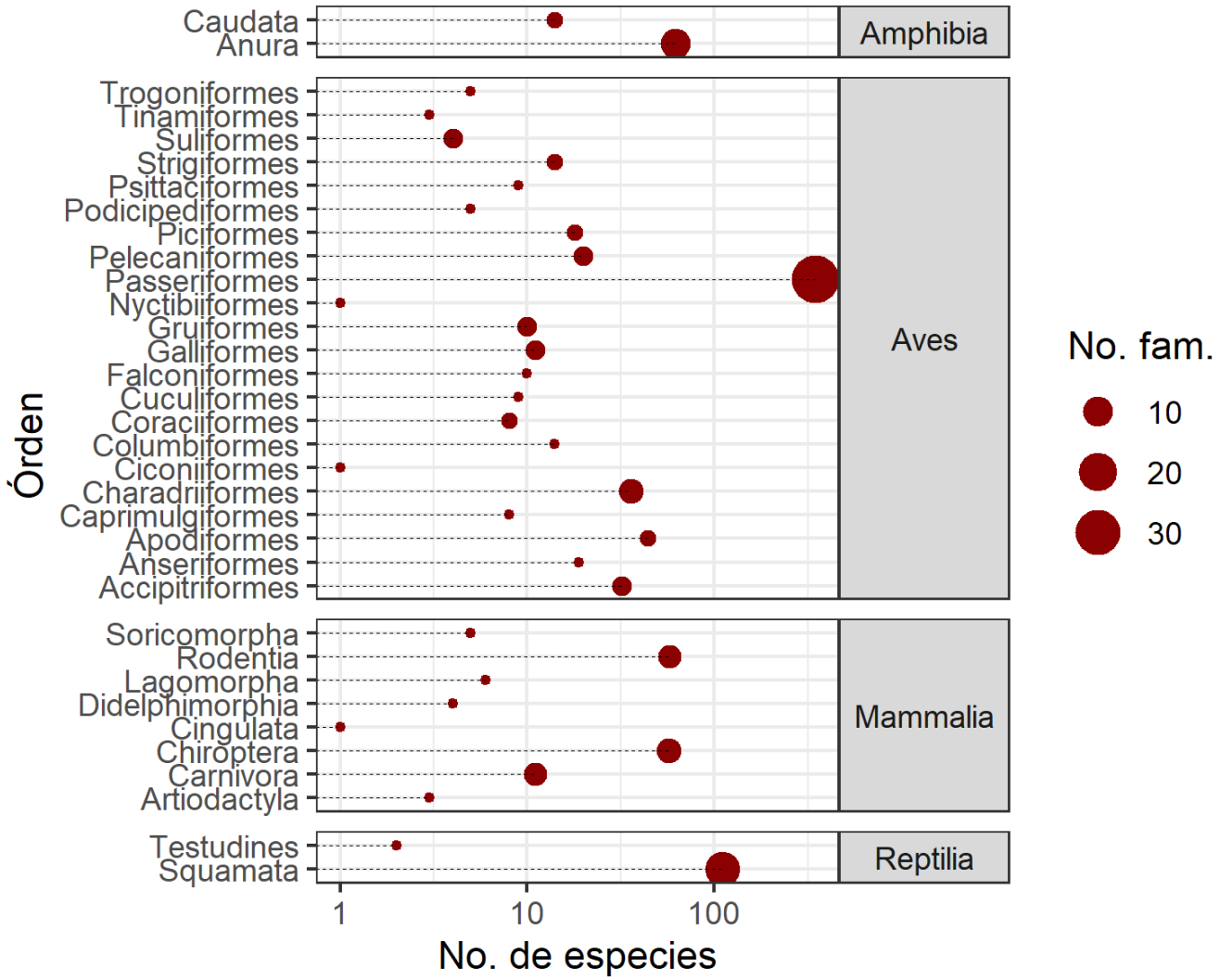


FIGURA 113. NÚMERO DE ESPECIES POR CLASE, ORDEN Y FAMILIA DE VERTEBRADOS TERRESTRES OBTENIDOS DE LA GBIF.

Fuente: elaboración propia con información de CONABIO.

Para conocer la riqueza de especies del estado, su distribución, y contar con insumos para evaluar la vulnerabilidad del sector biodiversidad ante el cambio climático, se obtuvieron datos de presencia de especies de vertebrados terrestres y plantas vasculares de la Infraestructura Mundial de Información en Biodiversidad (GBIF), localizados en el estado, así como en una zona de amortiguamiento de 20 km. La GBIF es un repositorio abierto de datos biológicos, financiado por gobiernos de todo el mundo, que cuenta con millones de registros georreferenciados de especies en el planeta.

Se obtuvieron registros de 962 especies de vertebrados terrestres agrupadas en 34 órdenes, 125 familias y 490 géneros. Las aves son el grupo con mayor riqueza, con 628 especies, seguido por los mamíferos con 145 especies, los reptiles y los anfibios, con 113 y 76 especies respectivamente (figura 114).

5,054 especies de plantas vasculares agrupadas en siete clases, 67 órdenes, 251 familias y 1,592 géneros se obtuvieron de la GBIF. La clase magnoliopsida (dicotiledóneas) es la que presenta la mayor riqueza de especies, con 3,769, seguida por las monocotiledóneas (liliopsida), con 948. Los helechos de la clase polypodiopsida están representados por 276 especies, las coníferas (pinopsida) por 30, los licopodios (lycopodiopsida) por 23, las cícadas por 7 y la clase gnetopsida por una especie (Figura 114).

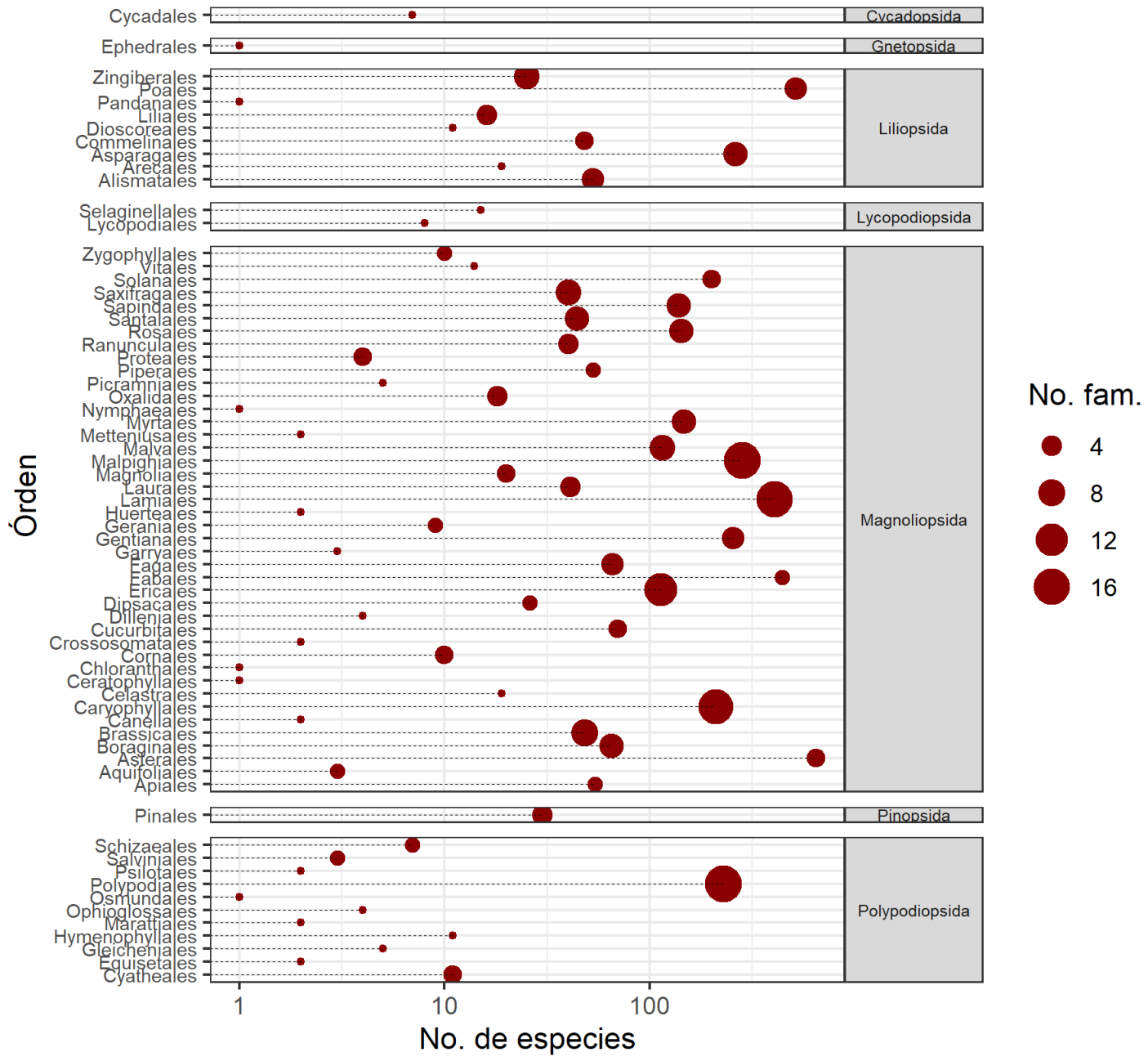


FIGURA 114. NÚMERO DE ESPECIES POR CLASE, ORDEN Y FAMILIA DE PLANTAS VASCULARES OBTENIDOS DE LA GBIF.

Fuente: Elaboración propia con información de CONABIO.

Métodos

Dada la extensión geográfica del estado, los diferentes elementos que determinan la vulnerabilidad de las especies y ecosistemas al cambio climático se presentan de forma diferencial en el espacio. Los cambios en el clima no serán uniformes en las masas terrestres, las coincidencias geográficas entre las áreas de distribución de las especies y los patrones espaciales de las anomalías

climáticas generarán patrones de cambio particulares en la distribución de las especies en el futuro (Broennimann et al., 2006).

Existen diferentes marcos conceptuales y formas de calcular la vulnerabilidad de diferentes sectores ante el cambio climático. Para el caso de la vulnerabilidad de las especies no existe un consenso en la literatura científica sobre su definición y métodos para determinarla (Pacifici et al., 2015; Wheatley et al., 2017), además de ser difícil de conceptualizar (Dunford et al., 2015).

Para evaluar la vulnerabilidad actual y ante el cambio climático del sector biodiversidad, se consideraron seis criterios para construir los tres componentes que la conforman. En la Tabla 60 se indican los componentes, los criterios, así como la contribución de los valores de estos para el cálculo de la vulnerabilidad, p.ej. -:+ indica que, a menor valor del criterio, mayor es el aporte.

TABLA 60. CRITERIOS CONSIDERADOS PARA CALCULAR LA VULNERABILIDAD DEL SECTOR BIODIVERSIDAD.

Componente	Criterio	Contribución
Sensibilidad	Diversidad de hábitats	-:+
	% del área del estado con idoneidad climática actual	-:+
	Categoría de riesgo	+:+
	Endemismo	+:+
Exposición	Pérdida de idoneidad climática	+:+
Capacidad adaptativa	Instrumentos de conservación territorial	+:+

Fuente: Elaboración propia con información de Pacifici, Wheatley, Dunford.

Como Elementos Clave del Territorio (ECT) representativos del sector biodiversidad se identificaron 399 especies distribuidas en el estado, pertenecientes a 17 grupos biológicos. Estas especies fueron consideradas como relevantes dadas las amenazas climáticas y no climáticas a las que podrían estar sujetos, por su nivel de conservación, por los servicios ecosistemas que prestan, por su importancia en los medios de vida y por aspectos ecológicos y biológicos (CONANP y PNUD, 2020). Los grupos biológicos a los que pertenecen son: a) colibríes, b) reptiles, c) cactáceas, d) rapaces, e) epifitas, f) murciélagos, g) anfibios, h) agaves, i) orquídeas, j) psitácidos, k) abejas, l) forestal, m) cícadas, n) sorícidos, o) felinos, p) momotos y q) trogones (Figura 115).

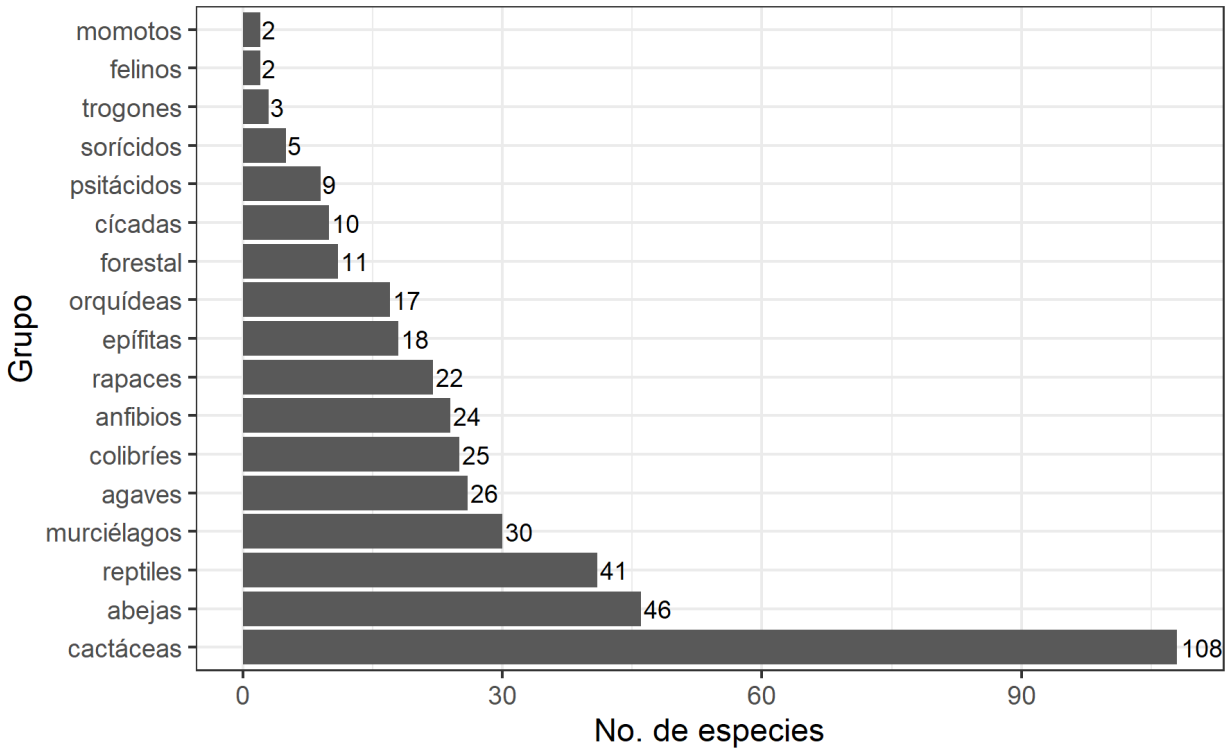


FIGURA 115. NÚMERO DE ESPECIES EVALUADAS POR GRUPO.

Fuente: Elaboración propia con datos de CONANP y PNUD.

Construcción de los criterios

A continuación, se describen de forma sucinta los criterios considerados y la forma en la que fueron construidos.

A partir de los registros de las especies obtenidos de la GBIF, se ajustaron modelos de distribución para cada una de ellas. Estos modelos se construyen extrapolando la distribución espacial y temporal, basándose en modelos estadísticos, a partir de la observación de la presencia de las especies y las variables ambientales que se presume influyen en la idoneidad del hábitat (Franklin, 2010). Como variables ambientales predictoras se usaron 10 variables bioclimáticas del conjunto de datos WorldClim 2.1 (Fick y Hijmans 2017) a una resolución de 30 segundos de arco (~1 km). Al proyectar los modelos al espacio geográfico, se obtuvieron mapas de idoneidad en los que se identifican las regiones donde actualmente se presentan las condiciones climáticas adecuadas para la presencia de la especie evaluada. A partir de los mapas resultantes se calculó el porcentaje que representan de la superficie estatal, como uno de los criterios que conforman la sensibilidad.

El criterio diversidad de hábitats se construyó identificando el número de ecosistemas diferentes intersecados por las superficies de idoneidad climática actual de las especies, a partir del conjunto de datos de Ecosistemas Terrestres del Mundo (Sayre et al. 2020).

El criterio categoría de riesgo se construyó asignando un valor numérico a las categorías de riesgo a la que pertenecen las especies seleccionadas, establecidas en la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010 (sujeta a protección especial (Pr), amenazada (A), en peligro (P)) de tal manera que la contribución a la sensibilidad sea: Pr < A < P. El criterio de endemismo se construyó asignando un valor numérico de 1 a aquellas especies identificadas como endémicas en la NOM-059-SEMARNAT-2010 y la plataforma Enciclovida[25] de la CONABIO.

Con los modelos de distribución de especies ajustados, se calculó el posible cambio (pérdida) en la idoneidad climática a futuro, usando las variables ambientales predictoras proyectadas de acuerdo con las ocho proyecciones de cambio climático consideradas (*Ver apartado actualización del análisis de vulnerabilidad, riesgo y resiliencia)*, obteniendo así el mismo número de valores para el componente de exposición.

El componente de capacidad adaptativa se construyó uniendo los polígonos que delimitan a las áreas Naturales Protegidas (ANP) de los ámbitos federal, estatal y municipal, y a las Áreas Destinadas Voluntariamente para la Conservación (ADVC) del Estado. Estos fueron intersectados con las áreas de idoneidad climática actual de las especies y se calculó el porcentaje de superficie correspondiente.

Los valores de los criterios se normalizaron y se invirtieron para aquellos cuya contribución al componente respectivo es negativa, es decir, el valor del componente aumenta mientras menor es el valor de la variable. Los tres componentes de la vulnerabilidad se construyeron mediante la agregación aditiva de los criterios que los conforman, sumando los valores normalizados de los criterios individuales para obtener un valor general (Birkmann et al., 2022).

Cálculo de vulnerabilidad

La vulnerabilidad actual y ante al cambio climático de los ECT se calculó mediante la fórmula:

Vulnerabilidad = (Exposición + Sensibilidad) - Capacidad adaptativa

Esta aproximación no considera cambios proyectados en la sensibilidad y la capacidad adaptativa a futuro, las cuales mantienen los valores actuales. Dado que para cada especie se calcularon ocho valores diferentes de exposición, i.e. uno por cada proyección de cambio climático, se obtuvieron ocho valores diferentes de vulnerabilidad para cada especie. En la figura 116 se presenta un resumen gráfico del cálculo de la vulnerabilidad de los ECT del sector biodiversidad.

[25] https://enciclovida.mx/

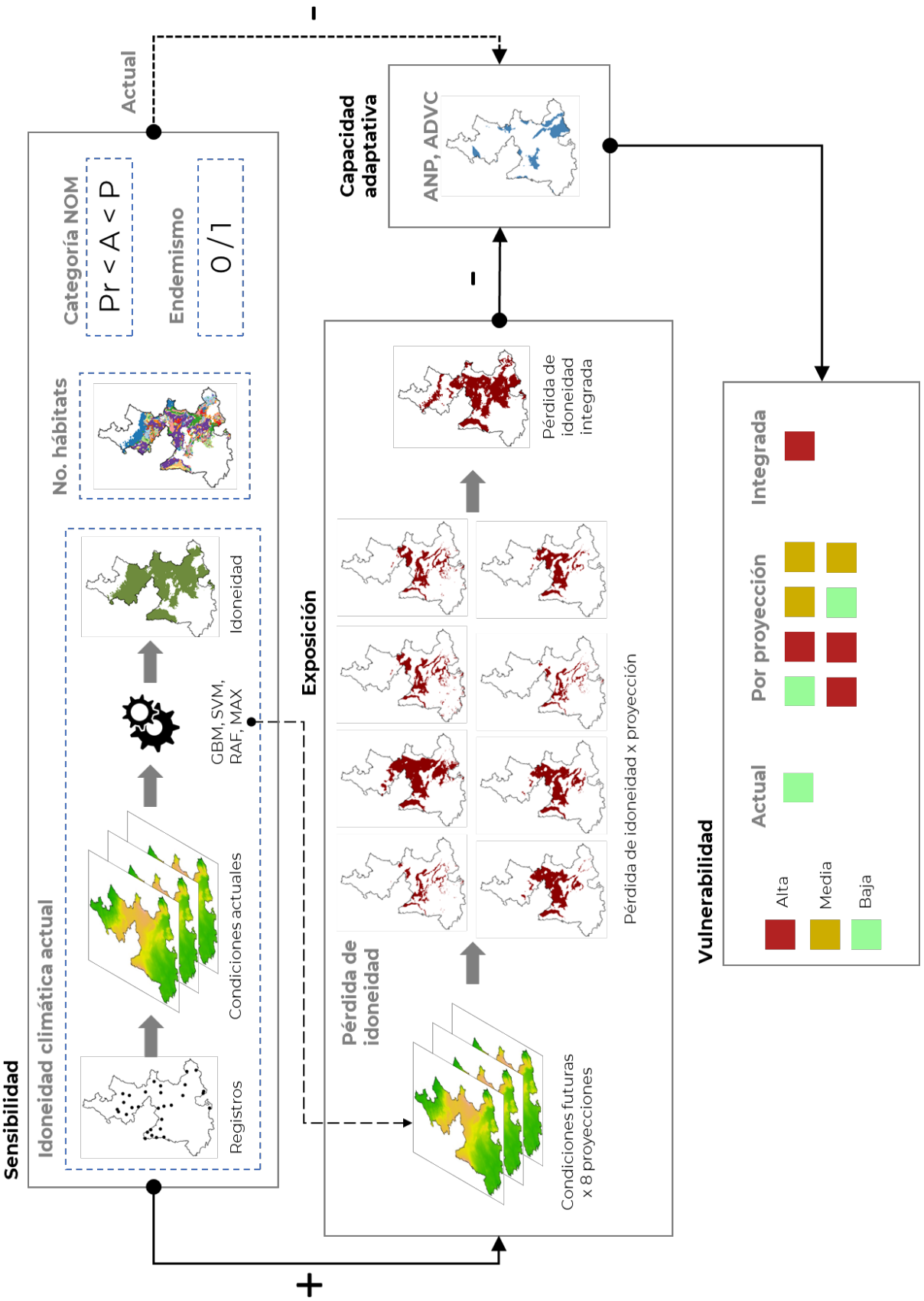


FIGURA 116. RESUMEN GRÁFICO DEL PROCESO PARA CALCULAR LA VULNERABILIDAD.

Fuente: Elaboración propia con datos de WorldClim.

Para calcular la vulnerabilidad actual, de acuerdo con la aproximación utilizada (IPCC, 2007), se asignó un valor constante de 0 al componente de exposición al cambio climático. Los valores cuantitativos de vulnerabilidad obtenidos se clasificaron mediante el método de k-medias para obtener tres clases de vulnerabilidad: 1=Baja, 2=Media 3=Alta.

Las proyecciones de cambio climático no son pronósticos, y cada una de ellas representa un escenario igualmente plausible y válido que el resto, con diferentes niveles de incertidumbre asociada. Esto imposibilita el uso directo de una sola proyección como insumo para los análisis o la toma de decisiones (Hallegatte, 2009). Existen diferentes métodos para agregar múltiples proyecciones de cambio climático, así como los análisis derivados, como las proyecciones consenso, en el que se combinan los resultados de diferentes modelos de distribución de especies y proyecciones de cambio climático en un solo resultado (Coetzee et al., 2009), o ensambles multi-escenario, en los que se promedian diferentes modelos de circulación por escenario de emisiones (Russell et al., 2015; Fitzpatrick y Dunn, 2019).

Para facilitar la interpretación y visualización de los resultados, se construyó una vulnerabilidad integrada, en la cual, la exposición está representada por la unión de los valores de pérdida de idoneidad climática de las ocho proyecciones consideradas; i.e. una zona es considerada como de pérdida de idoneidad cuando así resulte en al menos una de las ocho proyecciones. Esta vulnerabilidad integrada, que puede ser considerada como apegada a un principio precautorio, se usó para agregar los resultados en forma tabular y gráfica a nivel estatal y regional.

Resultados

En general, las proyecciones del horizonte temporal lejano (2018-2100) bajo el escenario ssp585 son las que presentan un mayor número de especies consideradas altamente vulnerables, mientras que las correspondientes al Modelo de Circulación General (MGC) MPI-ESM1-2-HR para el horizonte temporal cercano (2021-2040) son las que presentan más especies con vulnerabilidad alta, independientemente del SSP (Tabla 61 y figura 117).

TABLA 61. NÚMERO DE ESPECIES POR CLASES DE VULNERABILIDAD Y PROYECCIÓN.

PROYECCIÓN	ALTA	MEDIA	BAJA
HadGEM3-GC31-LL_ssp245_2021-2040	39	175	188
HadGEM3-GC31-LL_ssp245_2081-2100	90	185	127
HadGEM3-GC31-LL_ssp585_2021-2040	38	176	188
HadGEM3-GC31-LL_ssp585_2081-2100	182	165	55
MPI-ESM1-2-HR_ssp245_2021-2040	23	160	219
MPI-ESM1-2-HR_ssp245_2081-2100	66	201	135
MPI-ESM1-2-HR_ssp585_2021-2040	28	152	222
MPI-ESM1-2-HR_ssp585_2081-2100	116	205	81

Fuente: Elaboración propia con información del IPCC.

De acuerdo con la vulnerabilidad integrada, el 26.3% de las especies presentan vulnerabilidad alta (105), 45.1% media (180) y 28.6% (114) vulnerabilidad baja. Las rapaces y los psitácidos son los grupos animales con mayor proporción de especies con vulnerabilidad alta, mientras que las cícadas son el grupo de plantas más vulnerable (Figura 117). Las especies de sorícidos, momotos y felinos únicamente presentan vulnerabilidad media, mientras que los trogones, rapaces y psitácidos no presentan especies con vulnerabilidad baja

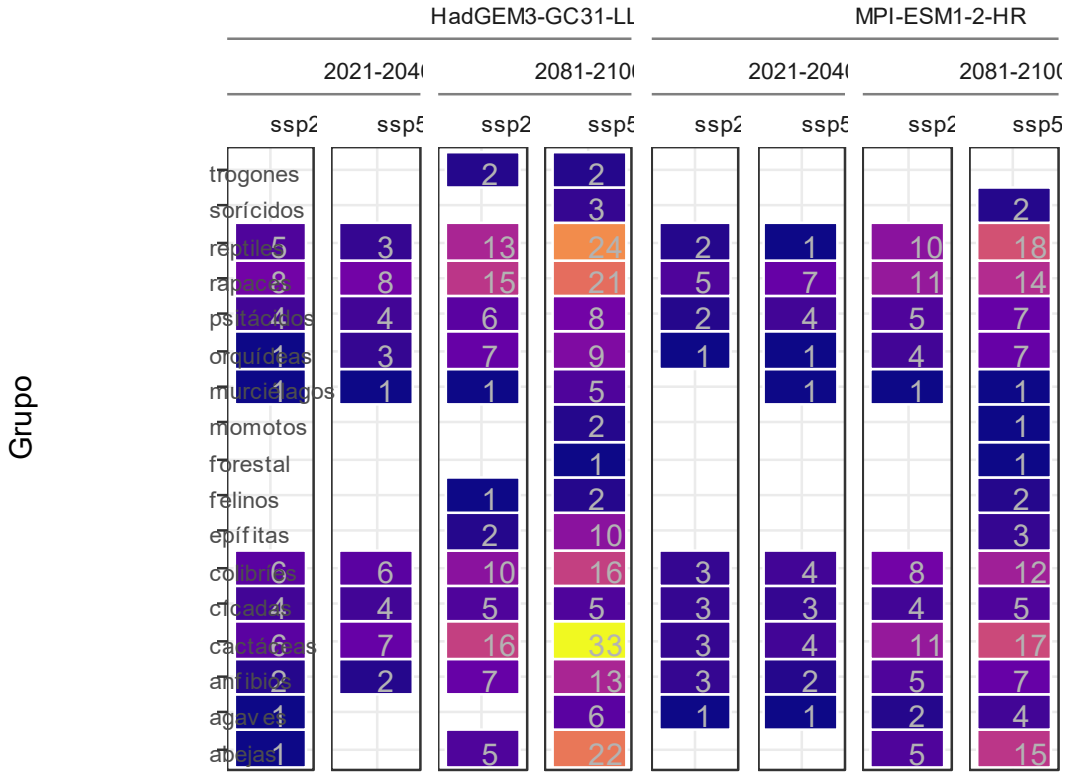


FIGURA 117. NÚMERO DE ESPECIES POR GRUPO CLASIFICADAS COMO DE ALTA VULNERABILIDAD POR PROYECCIÓN.

Fuente: Elaboración propia con información del IPCC.

Agregando los resultados de vulnerabilidad integrada por región, la Sierra Norte, Sierra Nororiental y Sierra Negra son las regiones que presentan una mayor proporción de especies con vulnerabilidad alta (Tabla 62, Figura 118), con 79, 77 y 94 especies, respectivamente.

TABLA 62. NÚMERO DE ESPECIES POR CLASES DE VULNERABILIDAD Y REGIÓN.

REGIÓN	ALTA	BAJA	MEDIA
Angelópolis	35	98	123
Mixteca	39	110	150
Sierra Negra	94	114	177
Sierra Nororiental	77	96	148
Sierra Norte	9	**99**	153
Valle Atlixco	9	101	139
Valle Serdán	71	105	159

Fuente: Elaboración propia.

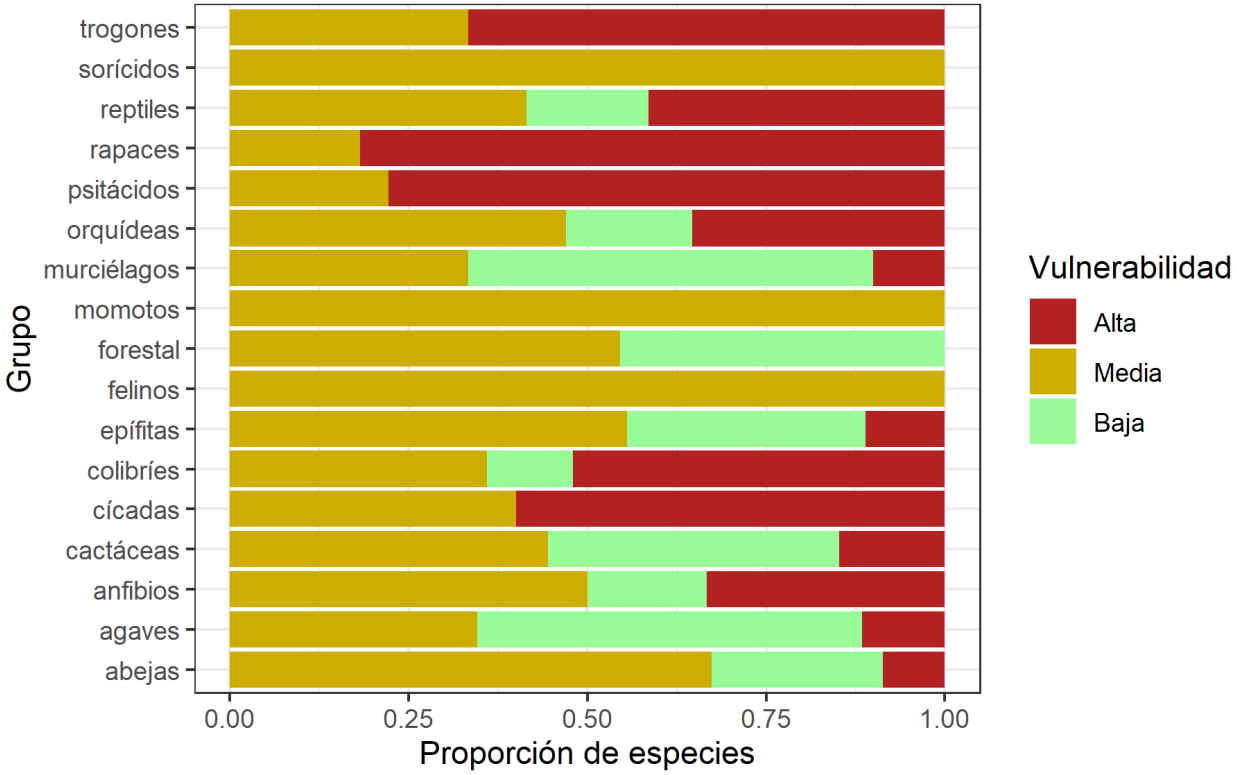


FIGURA 118. PROPORCIÓN DE ESPECIES POR CLASE DE VULNERABILIDAD Y GRUPO.

Fuente: Elaboración propia.

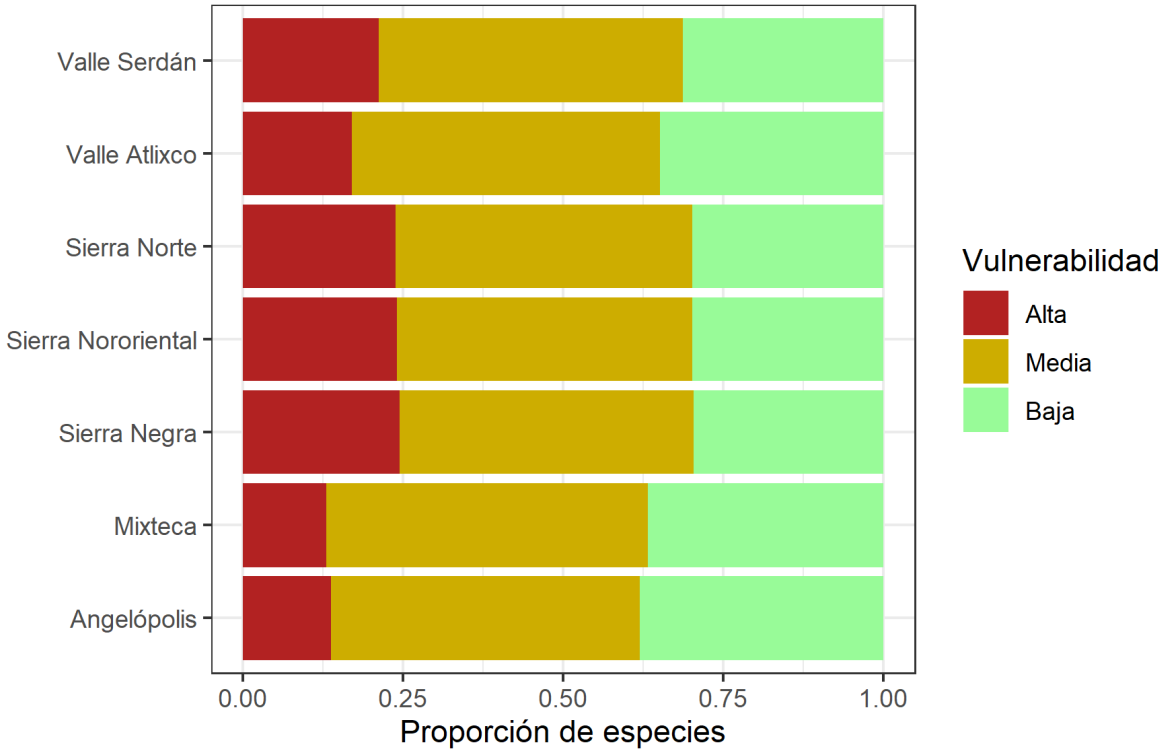


FIGURA 119. PROPORCIÓN DE ESPECIES POR CLASE DE VULNERABILIDAD Y REGIÓN.

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con las capas de pérdida de idoneidad climática integrada, la Mixteca, las Sierra Negra y el Valle de Atlixco son las regiones en las que los grupos de las cactáceas y las abejas presentan un promedio mayor de especies cuyas condiciones climáticas a futuro no serán propicias (Figura 120).

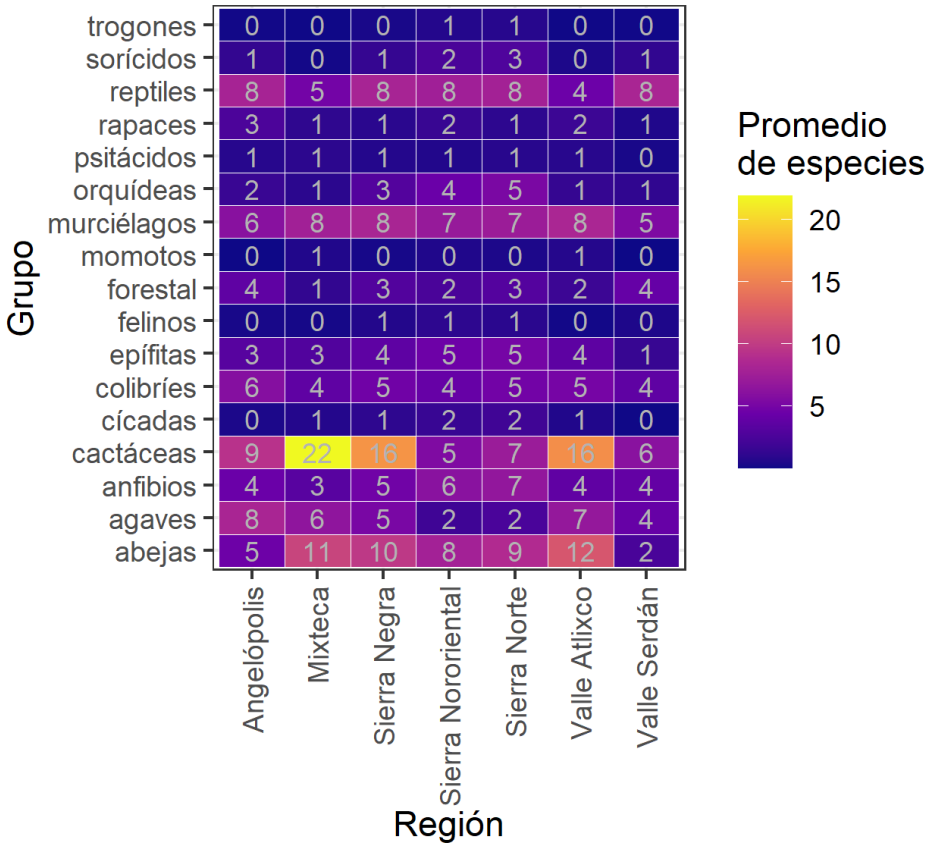
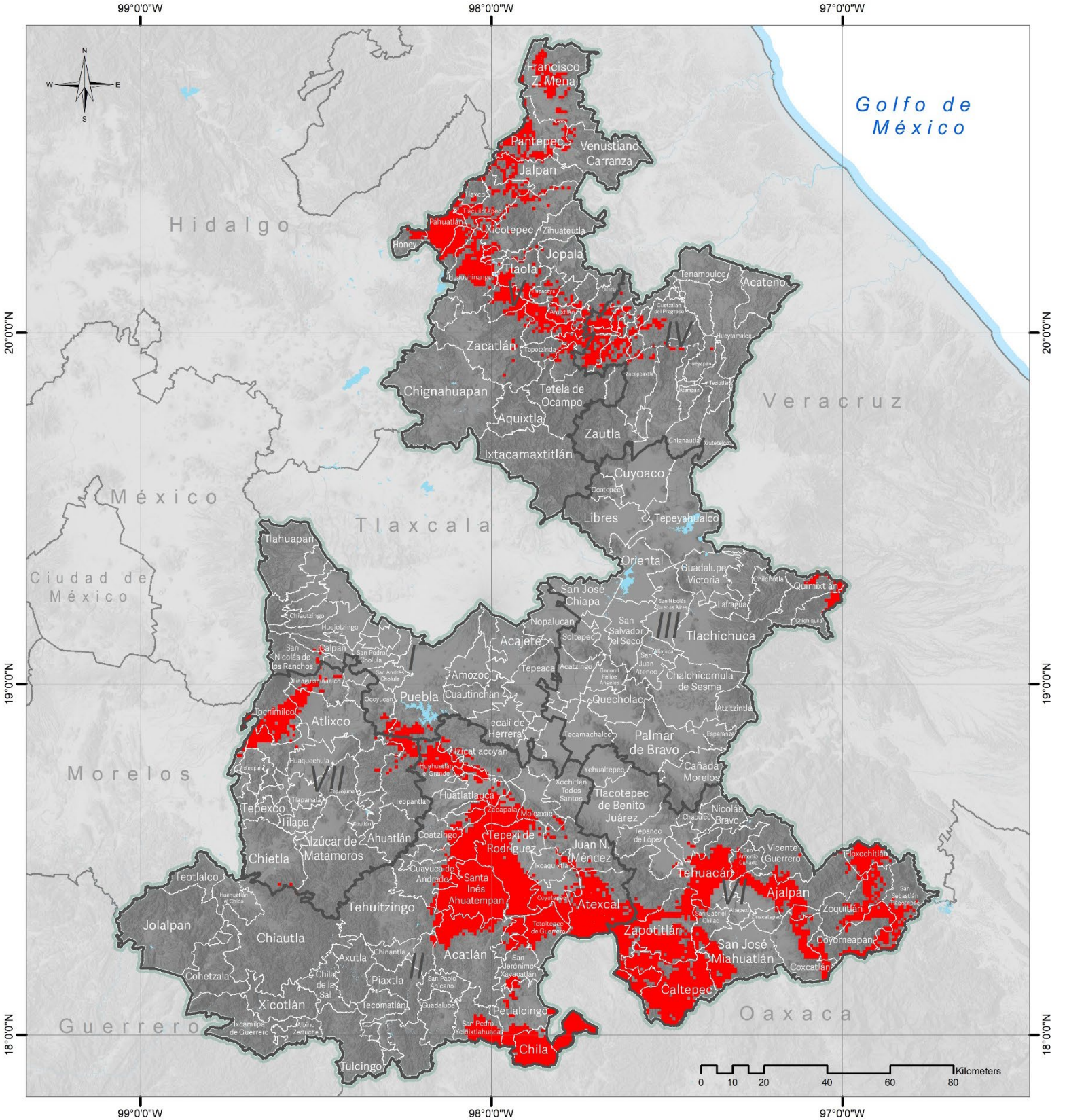


FIGURA 120. PROMEDIO DE ESPECIES CON PÉRDIDA DE IDONEIDAD CLIMÁTICA A FUTURO POR GRUPO Y REGIÓN.

Fuente: Elaboración propia.

Al agrupar los datos de idoneidad climática integrada de las especies individuales se pueden identificar zonas con valores de pérdida altos. De acuerdo con las ocho proyecciones de cambio climático consideradas, aproximadamente 4800 km^2 de la superficie del estado de Puebla perderán idoneidad climática para entre 86 y 162 especies. La Mixteca, la Sierra Negra y la Sierra Norte son las regiones con más superficie de zonas de pérdida de idoneidad climática (aproximadamente 1906, 1452 y 913 km^2 respectivamente) (Tabla 63). Estas zonas, mostradas en el Mapa 215, son relevantes para la conservación de las especies evaluadas, ya que representan un insumo importante para el diseño y establecimiento de instrumentos de conservación territorial con un enfoque de cambio climático, así como para el aumento de la conectividad mediante corredores que permitan la dispersión de éstas hacia zonas determinadas, idealmente bajo algún esquema de protección, con condiciones climáticas idóneas en el futuro.



Simbología

- Límite municipal
- Cuerpos de agua
- Límite del Estado de Puebla
- Límite estatal
- Gremios pérdida HotsPot Clases

Regiones Puebla

- I, Angelópolis
- II, Mixteca
- III, Serdán y Valles Centrales
- IV, Sierra Nororiental
- V, Sierra Norte
- VI, Tehuacán y Sierra Negra
- VII, Valle Atlixco y Matamoros



M215. Pérdida de Gremios HotsPot Clases

Fuente: Elaboración Propia
Mapa Base: Marco Geoestadistico diciembre 2021, Estado de Puebla, INEGI.

Coordinate System: MEXICO ITRF 2008 LCC
Projection: Lambert Conformal Conic 2SP
Datum: ITRF 2008

TABLA 63. SUPERFICIE CON PÉRDIDA DE IDONEIDAD CLIMÁTICA PROYECTADA PARA LA MAYOR CANTIDAD DE ESPECIES POR REGIÓN.

REGIÓN	Km²
Angelópolis	50.0
Mixteca	1906.0
Sierra Negra	1452.0
Sierra Nororiental	191.0
Sierra Norte	913.0
Valle Atlixco	225.0
Valle Serdán	37.9

Fuente: Elaboración propia.

5.3.2. VULNERABILIDAD SECTOR FORESTAL ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO

Los bosques juegan un papel crucial en la regulación del clima debido a la capacidad que tienen para absorber y fijar CO_2. El Gobierno de México estimó que, en 2019, las tierras forestales fungieron como sumidero, almacenando alrededor de 191,483.32 Gg CO_2e (Gobierno de México et al., 2022). Adicionalmente, los bosques ofrecen importantes servicios ambientales como la remoción de material particulado, ser hábitat y refugio para la biodiversidad, favorecer la infiltración y captación de agua de lluvia, evitar la erosión del suelo, proveer a los seres humanos de materias primas y alimento, así como de espacios de esparcimiento y recreación. Su disminución, producto de la deforestación, degradación o incendios forestales, favorece las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI), comprometiendo no solo la calidad del aire, también los acuerdos nacionales, estatales y municipales en materia de mitigación y adaptación al cambio climático.

Aunado a los problemas que enfrentan los ecosistemas forestales producto de la actividad humana, los cambios en las condiciones climáticas impondrán mayor estrés para algunas especies, como *Abies* y *Pinus (ver apartado de Vulnerabilidad del sector biodiversidad ante el cambio climático)*, lo que puede aumentar la probabilidad de decrecimiento en su área de distribución (Araiza-Olivare, 2020; Sáenz-Romero et al., 2016; Castellanos-Acuña et al., 2015; Guitérrez y Trejo, 2014). El aumento en la frecuencia de eventos extremos asociados al cambio climático, como sequías, también se relaciona con el incremento en la frecuencia de incendios y plagas, que ocasionan reducción en la edad y productividad de los ecosistemas forestales (Araiza-Olivare, 2020).

Conocer la vulnerabilidad al cambio climático de la cobertura forestal permite, por un lado, proyectar la pérdida de superficie por cambio en las condiciones climáticas, y por el otro, identificar medidas que puedan atenuar los impactos del cambio climático en función de la sensibilidad y capacidad adaptativa de cada comunidad vegetal.

El estado de Puebla tiene una superficie forestal equivalente a poco más del 45% de su territorio: ~1,573,464 ha (CONAFOR, 2022). El resto de la superficie estatal está ocupada por agricultura de temporal, agricultura de riego, pastizales cultivados e inducidos, asentamientos humanos, cuerpos de agua, áreas desprovistas de vegetación, y otras asociaciones (Mapa 215). La superficie forestal estatal se encuentra distribuida, principalmente en tres grandes grupos: bosques, selvas y matorrales (Tabla 64).

TABLA 64. SUPERFICIE FORESTAL, ARBOLADA Y NO ARBOLADA, DEL ESTADO DE PUEBLA.

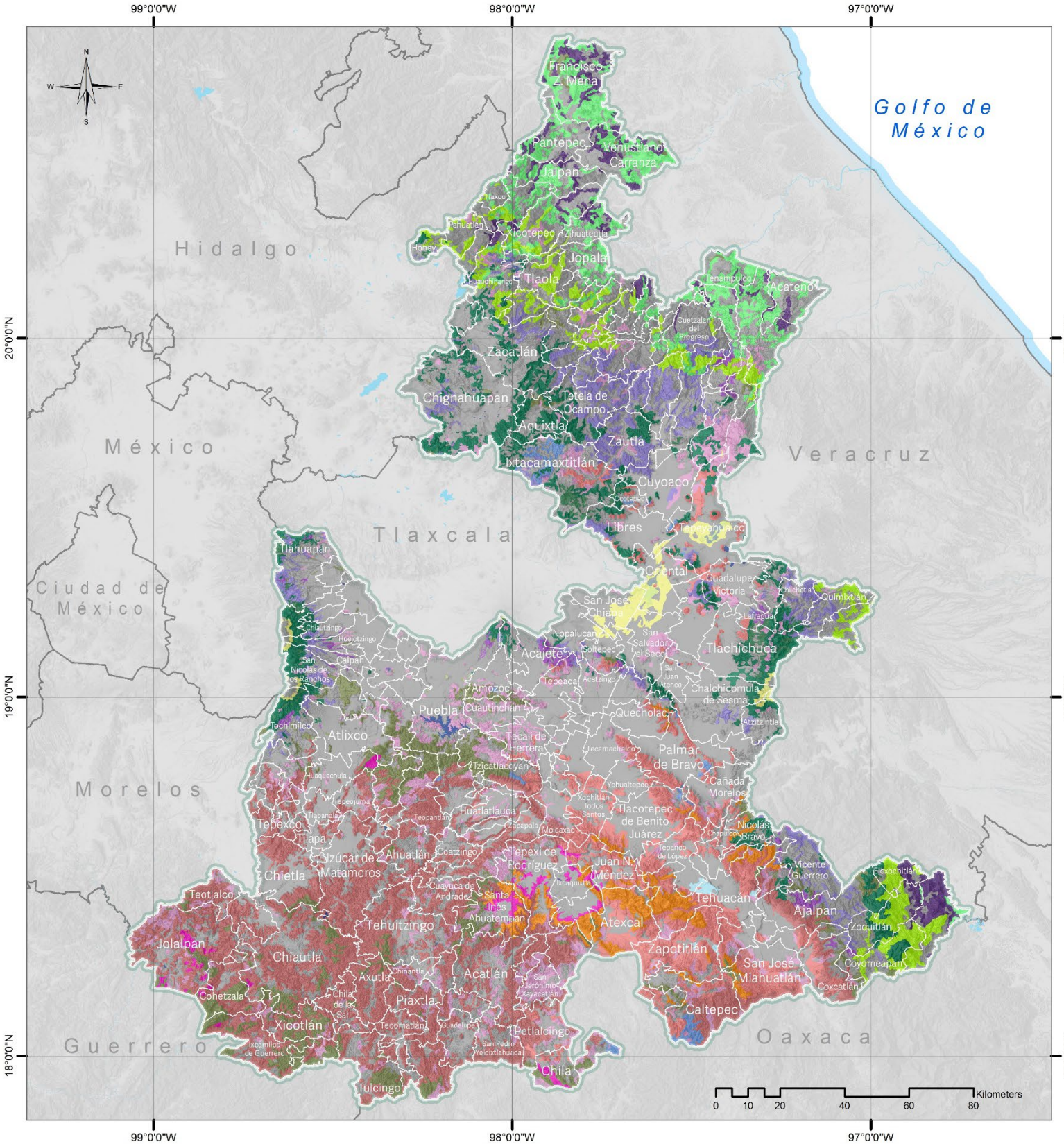
ECOSISTEMA	SUPERFICIE (ha)	%
Bosque	620,601.1	39.4
Selva	622,179.8	39.5
Matorral xerófilo	280,642.3	17.8
Otras asociaciones	50,130.98	3.19

Fuente: Elaboración propia con información de CONAFOR, 2020a.

La localización, topografía y climatología han sido determinantes en la presencia y distribución de los distintos ambientes forestales que existen en la entidad. Puebla es el quinto estado con mayor diversidad del género *Quercus*, después de Nuevo León, Veracruz, Oaxaca y Jalisco. De igual forma, 17 de las 54 especies del género *Pinus* reportadas en México están presentes en el estado de Puebla (CONABIO, 2011). Sin embargo, de acuerdo con datos del propio estado, Puebla ocupa el sexto lugar nacional en deforestación, la causa es el cambio de uso de suelo, principalmente para convertir los bosques en potreros o zonas agrícolas (CONAFOR, 2020a; LX Legislatura del Honorable Congreso del estado de Puebla, 2019).

A pesar de la amplia diversidad y extensión de tierras forestales, la participación de Puebla en la producción forestal nacional es reducida, menos del 4%. De hecho, estadísticas de la Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) muestran que la producción forestal maderable en 2018 decreció respecto al año anterior. Por el contrario, el aprovechamiento de productos forestales no maderables ha incrementado, artículos manufacturados a partir del ixtle, fibra natural extraída de la yuca (*Yucca carnerosana*), han encontrado nuevas cadenas de distribución y comercialización (CONAFOR, 2022). Si bien esta producción no iguala la derrama económica que genera la producción forestal maderable, emplea a un sector de la población rural muy vulnerable.

La mayoría de los productos no maderables que se generan en la región, provienen del conocimiento tradicional de las comunidades rurales y población de pueblos originarios, por lo que la pérdida y degradación de la superficie forestal, como consecuencia de las condiciones cambiantes del clima, representa una amenaza importante en el bienestar y calidad de vida de quienes dependen del sector forestal.



Simbología

- Límite municipal
- Cuerpos de agua
- Límite estatal
- Límite del Estado de Puebla

UsoSuelo

Tipo

- Bosque cultivado
- Latifoliadas
- Bosque de encino-pino
- Bosque de oyamel
- Coníferas
- Coníferas y latifoliadas
- Bosque de tascate
- Bosque mesofilo de montana
- Zona semiárida, Chaparral
- Cuerpo de agua
- Zonas áridas
- Mezquital
- Otras asociaciones
- Pastizal cultivado
- Otras áreas forestales
- Pastizal inducido
- Selva alta y mediana
- Selva baja
- Tular
- Otros



M012. Uso de Suelo y Vegetación

Fuente: Mapa Base: Marco Geoestadistico diciembre 2021, Estado de Puebla, INEGI.Elaboración propia con información de Principales Indicadores forestales para el Estado de Puebla (Ciclo 2015-2020)

Coordinate System: MEXICO ITRF 2008 LCC
Projection: Lambert Conformal Conic 2SP
Datum: ITRF 2008

De acuerdo con datos oficiales, 488 ejidos y comunidades viven de los bosques, selvas y matorrales de la entidad; la población proveniente de pueblos originarios que habitan en ecosistemas forestales de Puebla es de 339,356 hab., lo que representa 55% del total estatal (COESPO, 2022) y 9.9% del total nacional (CONAFOR, 2019).

Métodos

Existen diferentes marcos conceptuales y formas de calcular la vulnerabilidad ante el cambio climático, para calcular la vulnerabilidad del sector forestal del estado de Puebla se usó la aproximación que la define como una función del carácter, la magnitud, la tasa de cambio y variación climática a los que está expuesto un sistema, la sensibilidad y capacidad de adaptación que presenta el sistema (Parry et al., 2007).

Como elementos clave del territorio (ECT) representativos del sector forestal, se seleccionaron seis comunidades vegetales:

a) Bosque de oyamel (BA)
b) Bosque mesófilo de montaña (BM)
c) Bosque de pino, encino, pino-encino y encino-pino (BPQP)
d) Matorral crasicaule (MC)
e) Matorral desértico rosetófilo (MDR)
f) Selva baja caducifolia (SBC)

Para construir los tres elementos de la vulnerabilidad del sector forestal ante el cambio climático se consideraron 10 criterios. En la Tabla 65 se presentan los componentes, criterios y la contribución de los valores de estos para el cálculo de la vulnerabilidad, p.ej. -:+ indica que, a menor valor del criterio mayor es el aporte.

TABLA 65. CRITERIOS CONSIDERADOS PARA CALCULAR LA VULNERABILIDAD DEL SECTOR FORESTAL DEL ESTADO DE PUEBLA ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO

COMPONENTE	CRITERIO	CONTRIBUCIÓN
Sensibilidad	Tamaño del parche	-:+
	Rango altitudinal del parche	-:+
	Índice de proximidad	-:+
	Índice de forma	+:+
	Riesgo de incendios	+:+
	Densidad de carreteras	+:+
Exposición	Pérdida de superficie de idoneidad ambiental	+:+
Capacidad adaptativa	Áreas Naturales Protegidas (ANP)	+:+
	Áreas Destinadas Voluntariamente a la Conservación (ADVC)	+:+
	Pago por Servicios Ambientales (PSA)	+:+

Fuente: Elaboración propia.

Construcción de los criterios

A continuación, se describen de forma sucinta los criterios considerados y la forma en la que fueron construidos.

La delimitación espacial de las comunidades vegetales corresponde a los polígonos (PDCV) de la carta de Uso del Suelo y Vegetación Serie VII del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) (INEGI, 2018), para cuya selección se consideraron todos los estadios sucesionales y estratos (primario, secundario, arbóreo, arbustivo, etc.).

La sensibilidad se calculó considerando seis criterios, los cuales se pueden agrupar, de forma general, en a) métricas del paisaje y b) elementos de perturbación (Thorne et al., 2018; Kumar et al., 2021).

El criterio tamaño del parche, el cual está relacionado con la probabilidad de pérdida por efecto del cambio climático (Collingham y Huntley, 2000; Xu et al., 2017), se calculó a partir de los PDCV, y corresponde al área de cada parche. El rango altitudinal del parche se construyó calculando el rango de valores de altitud a partir del modelo digital de elevación del estado, a una resolución espacial de 1 km, intersectados por los PDCV. El criterio índice de proximidad, que permite distinguir entre distribuciones dispersas de parches pequeños y conglomerados de parches grandes (Gustafson y Parker, 1994), se calculó a partir de los PDVC mediante el paquete spatialEco (Evans, 2021), del lenguaje y ambiente de programación estadístico R (R Core Team, 2022). El índice de forma, criterio que brinda información sobre la complejidad de la geometría de los parches (McGarigal y Marks, 1995), se calculó mediante la fórmula:

$$S = \frac{P_{ij}}{2\sqrt{\pi * a_{ij}}}$$

donde P es el perímetro del parche ij y a corresponde al área del parche ij.

El criterio riesgo de incendios se construyó mediante la sobreposición cartográfica entre los PDCV y la cartografía de riesgo por incendios forestales, obtenida de la Infraestructura de Datos Espaciales Forestales (IDEFOR) de la CONAFOR. La densidad de carreteras se construyó a partir de la cartografía de la Red Nacional de Caminos (INEGI, 2021c).

La exposición se determinó identificando la superficie de pérdida de idoneidad ambiental proyectada a futuro (Thorne et al., 2016; Kling et al., 2019) mediante modelos de distribución de especies (SDM por sus siglas en inglés). Estos modelos se construyeron extrapolando la distribución espacial de las comunidades vegetales y las variables ambientales predictoras que se presume influyen en la idoneidad del hábitat (Franklin, 2010).

Las variables predictoras usadas se clasifican en dos grupos: 1) topográficas y 2) climáticas. Las variables topográficas consideradas fueron: 1.1) altitud, 1.2) pendiente (Forzieri et al., 2021) y 1.3) el índice de rugosidad del terreno (Defossez et al., 2021); mientras que las climáticas están conformadas por 10 variables bioclimáticas del conjunto de datos WorldClim 2.1 (Fick y Hijmans, 2017) a una resolución de 30 segundos de arco (~1 km).

Con los modelos de distribución de especies ajustados se identificaron las zonas con posible pérdida de idoneidad climática a futuro, usando las variables ambientales climáticas predictoras proyectadas de acuerdo con las ocho proyecciones de cambio climático consideradas (*ver apartado Actualización del análisis de vulnerabilidad, riesgo y resiliencia)*, obteniendo así ocho diferentes representaciones espaciales para el componente de exposición, mismas que se intersectaron con los PDCV.

La capacidad adaptativa se construyó uniendo los polígonos que delimitan a las Áreas Naturales Protegidas (ANP) de los ámbitos federal, estatal y municipal, las Áreas Destinadas Voluntariamente para la Conservación (ADVC) y las zonas sujetas a Pago por Servicios Ambientales (PSA), e intersectando la geometría resultante con los PDCV.

Como resultado del proceso de construcción de los criterios se obtuvieron ocho geometrías para cada comunidad vegetal, conformadas por polígonos cuyos valores, ya sean calculados directamente o trasferidos mediante la sobreposición cartográfica, fueron normalizados para hacerlos intercomparables. Para los componentes de exposición y capacidad adaptativa se asignó un valor de 1 a aquellos polígonos para los que se calculó pérdida de idoneidad climática y a aquellos que corresponden a instrumentos de conservación territorial o PSA, respectivamente.

Finalmente, se invirtieron los valores para aquellos criterios cuya contribución al componente respectivo es negativa, es decir, el valor del componente aumenta mientras menor es el valor del criterio.

Los tres componentes de la vulnerabilidad se construyeron mediante la agregación aditiva de los criterios que los conforman, sumando los valores normalizados de los criterios individuales para obtener un valor general (Birkmann et al., 2022).

Cálculo de vulnerabilidad

La vulnerabilidad actual y ante al cambio climático de los ECT se calculó mediante la fórmula:

Vulnerabilidad = (Exposición + Sensibilidad) - Capacidad adaptativa

Esta aproximación no considera cambios proyectados en la sensibilidad y la capacidad adaptativa a futuro, las cuales mantienen los valores actuales. Dado que para cada comunidad vegetal se calcularon ocho versiones diferentes de exposición, i.e. una por cada proyección de cambio climático, se obtuvieron ocho representaciones diferentes de vulnerabilidad por comunidad.

Para calcular la vulnerabilidad actual, de acuerdo con la aproximación utilizada (IPCC, 2007), se asignó un valor constante de 0 al componente de exposición al cambio climático. Los valores cuantitativos de vulnerabilidad obtenidos se clasificaron mediante el método de k-medias para obtener tres clases de vulnerabilidad: 1=Baja, 2=Media 3=Alta.

Las proyecciones de cambio climático no son pronósticos, y cada una de ellas representa un escenario igualmente plausible y válido que el resto, con diferentes niveles de incertidumbre asociada. Esto imposibilita el uso directo de una sola proyección como insumo para los análisis o la toma de decisiones (Hallegatte, 2009).

Existen diferentes métodos para agregar múltiples proyecciones de cambio climático, así como los análisis derivados, como las proyecciones consenso, en el que se combinan los resultados de diferentes modelos de distribución de especies y proyecciones de cambio climático en un solo resultado (Coetzee et al., 2009), o ensambles multi-escenario, en los que se promedian diferentes modelos de circulación por escenario de emisiones (Russell et al., 2015; Fitzpatrick y Dunn, 2019).

Para facilitar la interpretación y visualización de los resultados, se construyó una vulnerabilidad integrada, en la cual, la exposición está representada por la unión de los valores de pérdida de idoneidad climática de las ocho proyecciones consideradas; i.e. una zona es considerada como de pérdida de idoneidad cuando así resulte en al menos una de las ocho proyecciones. Esta vulnerabilidad integrada, que puede ser considerada como apegada a un principio precautorio, se usó para agregar los resultados en forma tabular y gráfica a nivel estatal y regional.

En la figura 121 se presenta un resumen gráfico del cálculo de la vulnerabilidad de los ECT del sector.

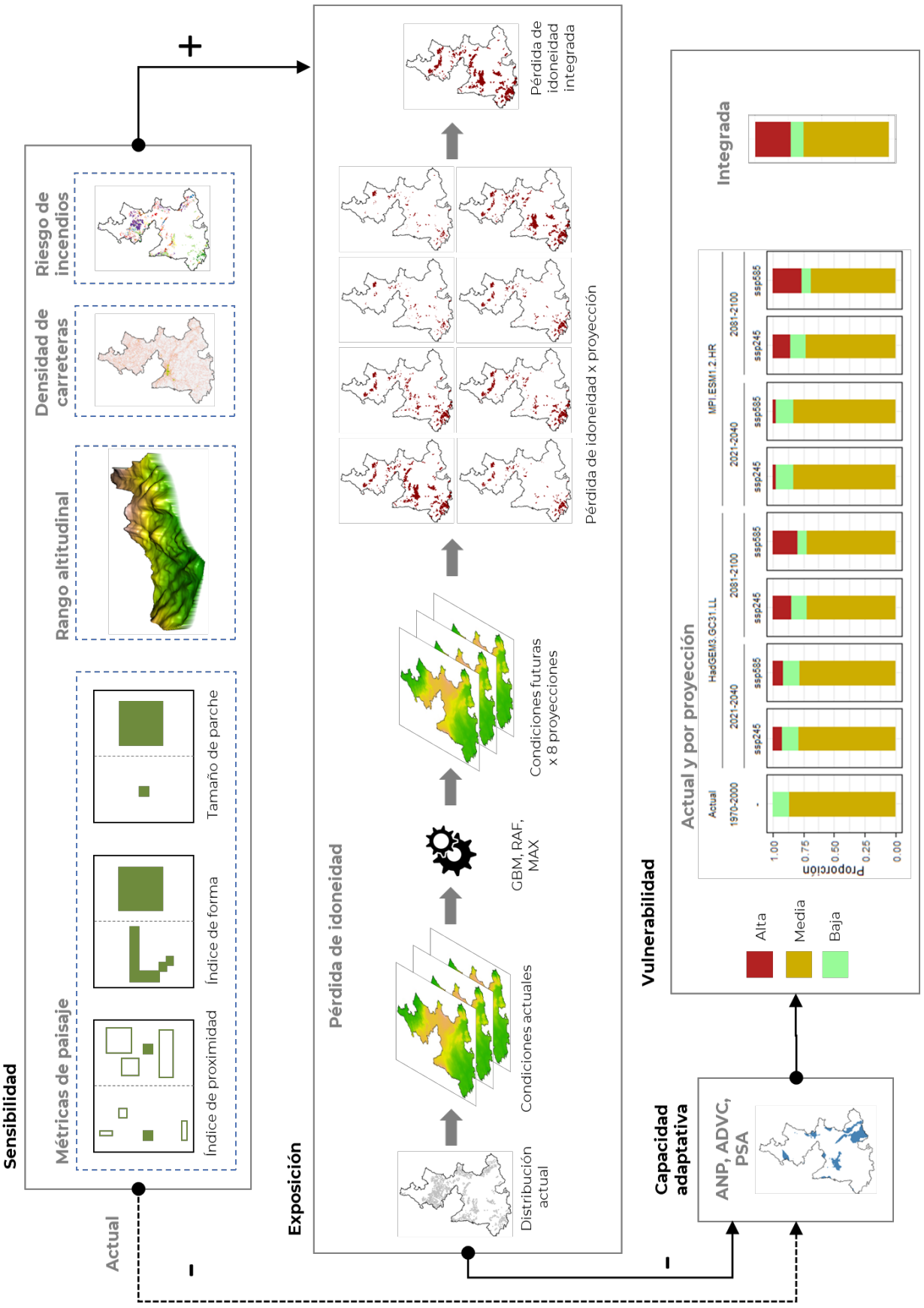


FIGURA 121. RESUMEN GRÁFICO DEL PROCESO PARA CALCULAR LA VULNERABILIDAD.

Fuente: Elaboración propia

Resultados

En la figura 122 se muestra la proporción de la superficie de las comunidades vegetales por clase de vulnerabilidad actual y de acuerdo con las ocho proyecciones de cambio climático.

A excepción del matorral crasicaule, la mayoría de la superficie de las comunidades vegetales está representada por vulnerabilidad media, de acuerdo con todas las proyecciones de cambio climático. La mayoría de la superficie del matorral crasicaule está representada por vulnerabilidad baja en todas las proyecciones consideradas, lo que la posiciona como la comunidad menos vulnerable ante el cambio climático.

Las selvas bajas caducifolias presenten un nivel de exposición muy bajo en todas las proyecciones consideradas, por lo que el aporte de este componente para la vulnerabilidad por proyección es negligible al momento de clasificar los valores continuos en las tres clases. Por ello es la única comunidad vegetal que no presenta vulnerabilidad alta en ninguna de las proyecciones, y mantiene la misma proporción de las clases media y baja en todas las proyecciones.

El matorral desértico rosetófilo prácticamente no presenta vulnerabilidad alta de acuerdo con la proyección MPI-ESM1-2-HR_ssp585_2021-2040, mientras que una tercera parte de su superficie es considerada de alta vulnerabilidad bajo la proyección HadGEM3-GC31-LL_ssp585_2081-2100.

Los bosques de pino, encino, encino-pino y pino-encino presentan vulnerabilidad alta en todas las proyecciones; para el ssp585 y horizonte temporal lejano (2081-2100) los dos modelos de circulación proyectan que aproximadamente una quinta parte de su superficie tendrá vulnerabilidad alta.

En general, la mayoría de la superficie del bosque mesófilo está representada por un nivel de vulnerabilidad medio, a pesar de que en la proyección HadGEM3-GC31-LL_ssp585_2081-2100 se prevé la mayor proporción de vulnerabilidad alta (37%).

Los bosques de *Abies* son la comunidad vegetal con mayor proporción de superficie altamente vulnerable, alcanzando los mayores valores (~48 y 81 %) para el horizonte temporal lejano y la ssp585.

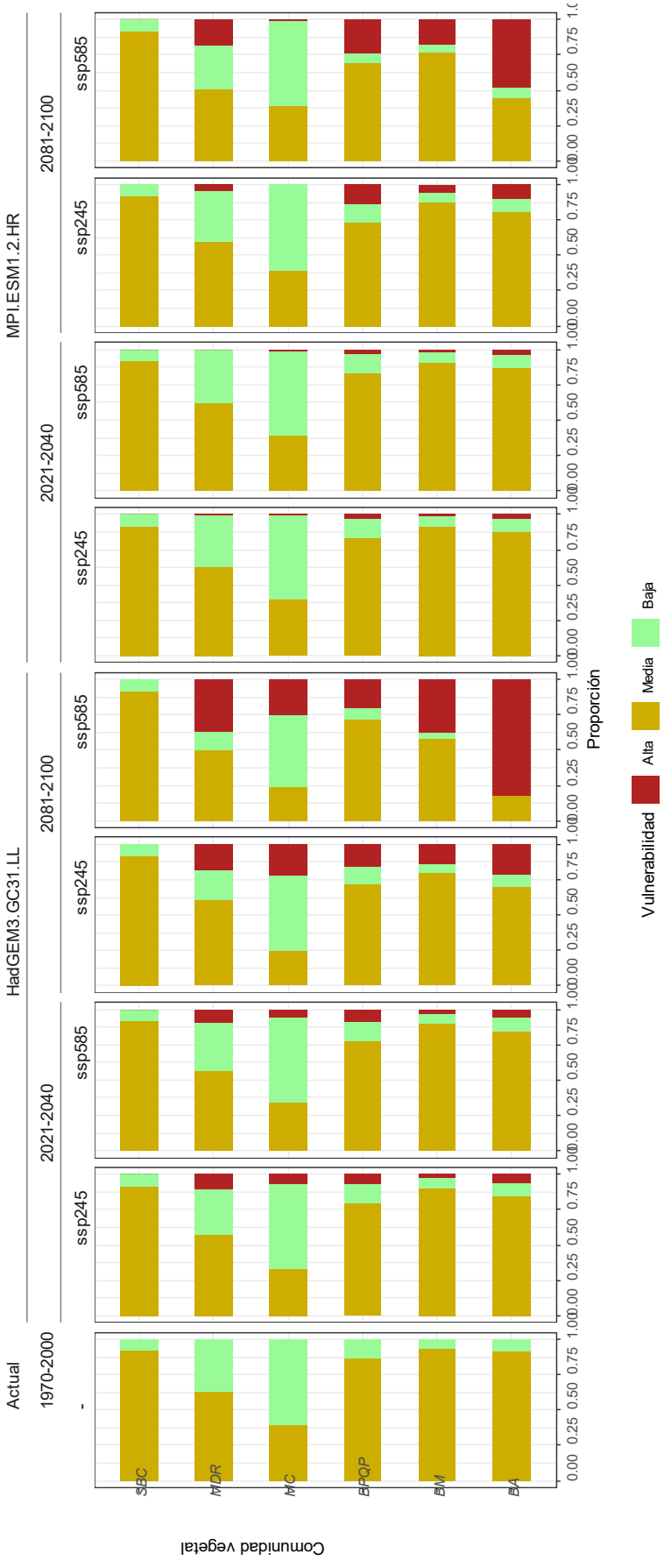


FIGURA 122. PROPORCIÓN DE LA SUPERFICIE DE LAS COMUNIDADES VEGETALES POR CLASE DE VULNERABILIDAD Y PROYECCIÓN.

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo con los resultados de la vulnerabilidad integrada, el 18% de la superficie forestal del estado tiene una vulnerabilidad alta, 68% vulnerabilidad media y 14% vulnerabilidad baja. La Tabla 66 y la figura 123 presentan la vulnerabilidad integrada de cada comunidad vegetal. La Tabla 67 y la Figura 124 muestran la vulnerabilidad integrada de las comunidades vegetales presentes en las siete regiones del estado.

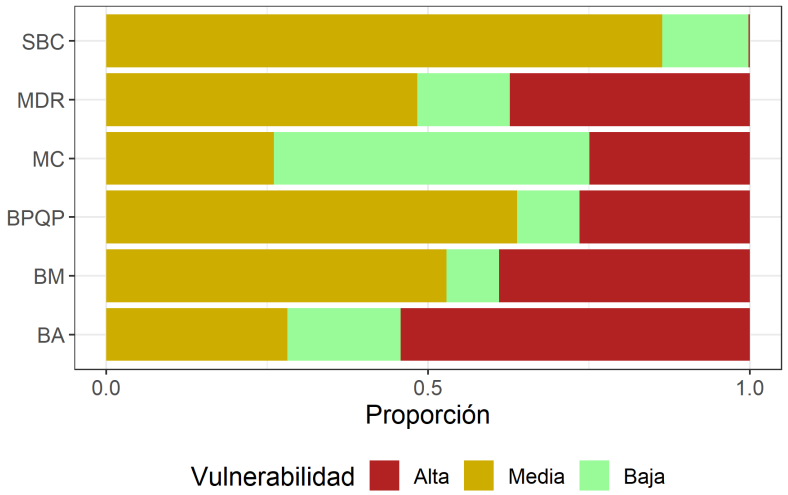


FIGURA 123. PROPORCIÓN DE LA SUPERFICIE DE LAS COMUNIDADES VEGETALES POR CLASE DE VULNERABILIDAD INTEGRADA.

Fuente: Elaboración propia.

TABLA 66. SUPERFICIE Y PORCENTAJE DE LAS COMUNIDADES VEGETALES POR CLASE DE VULNERABILIDAD INTEGRADA

COMUNIDAD	VULNERABILIDAD						
	ALTA		MEDIA		BAJA		TOTAL
	km²	%	km²	%	km²	%	km²
BA	97.44	**54**	50.59	28	31.59	18	179.63
BM	416.57	39	5,64.97	**53**	87.35	8	1,068.88
BPQP	1,242.71	26	3,003.33	**64**	456.53	10	4,702.57
SBC	11.74	0	4,964.95	**86**	770.85	13	5,747.55
MC	218.41	25	228.35	26	429.14	**49**	8,75.90
MDR	475.15	37	614.97	**48**	183.22	14	1,273.34

Fuente: Elaboración propia.

TABLA 67. SUPERFICIE DE LAS COMUNIDADES VEGETALES POR REGIÓN Y CLASE DE VULNERABILIDAD INTEGRADA

REGIÓN	COMUNIDAD	VULNERABILIDAD [km²]		
		ALTA	MEDIA	BAJA
Angelópolis	BA	30.3	0.3	7.5
	BM	-	-	-
	BPQP	111.4	343.2	103.0
	MC	23.1	0.0	0.0
	MDR	25.8	0.3	0.0
	SBC	0.2	2.0	0.2
Mixteca	BA	-	-	-
	BM	-	-	-
	BPQP	666.6	140.6	4.6

REGIÓN	COMUNIDAD	VULNERABILIDAD [km²]		
		ALTA	MEDIA	BAJA
	MC	162.0	59.4	4.4
	MDR	184.1	24.3	1.4
	SBC	10.0	3878.6	333.2
Sierra Negra	BA	-	-	-
	BM	25.1	246.2	43.3
	BPQP	15.2	400.5	70.4
	MC	33.4	164.8	423.0
	MDR	140.2	285.3	127.1
	SBC	1.6	62.6	328.4
Sierra Nororiental	BA	3.2	0.0	0.9
	BM	124.5	65.7	1.5
	BPQP	92.4	389.8	31.6
	MC	-	-	-
	MDR	0.7	1.1	0.0
	SBC	-	-	-
Sierra Norte	BA	10.9	37.0	6.3
	BM	257.9	194.1	42.6
	BPQP	102.8	982.6	168.8
	MC	-	-	-
	MDR	35.9	4.6	0.0
	SBC	0.0	0.0	3.4
Valle Atlixco	BA	6.6	0.0	0.8
	BM	-	-	-
	BPQP	77.7	284.4	8.6
	MC	-	-	-
	MDR	-	-	-
	SBC	0.0	1021.8	105.6
Valle Serdán	BA	46.4	13.3	16.2
	BM	9.0	59.0	0.0
	BPQP	176.7	462.2	69.5
	MC	0.0	4.1	1.8
	MDR	88.4	299.4	54.7
	SBC	-	-	-

Fuente: Elaboración propia.

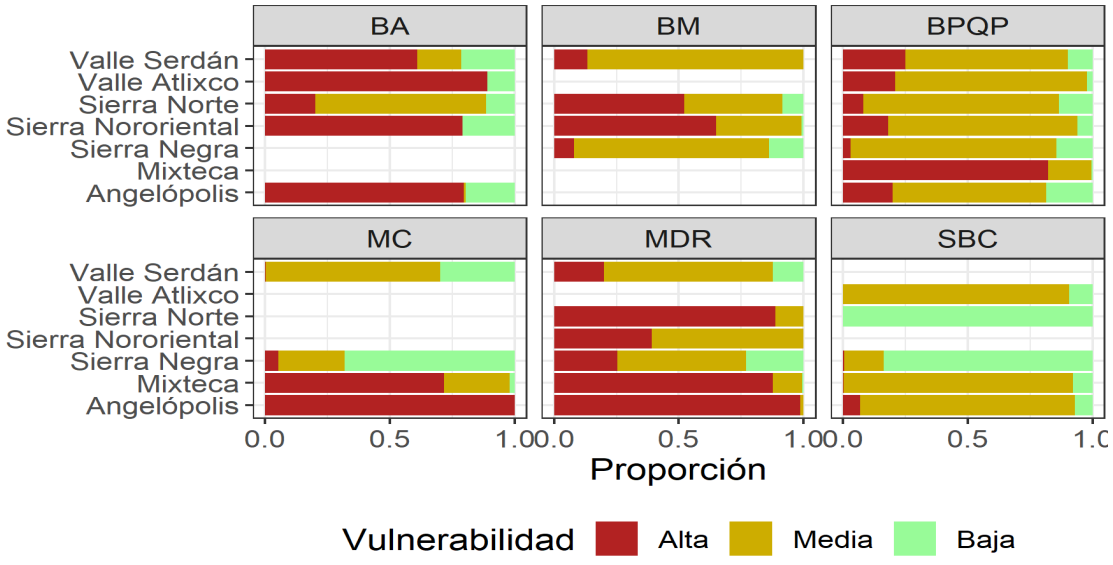


FIGURA 124. PROPORCIÓN DE LA SUPERFICIE DE LAS COMUNIDADES VEGETALES POR CLASE DE VULNERABILIDAD INTEGRADA PARA LAS REGIONES DEL ESTADO.

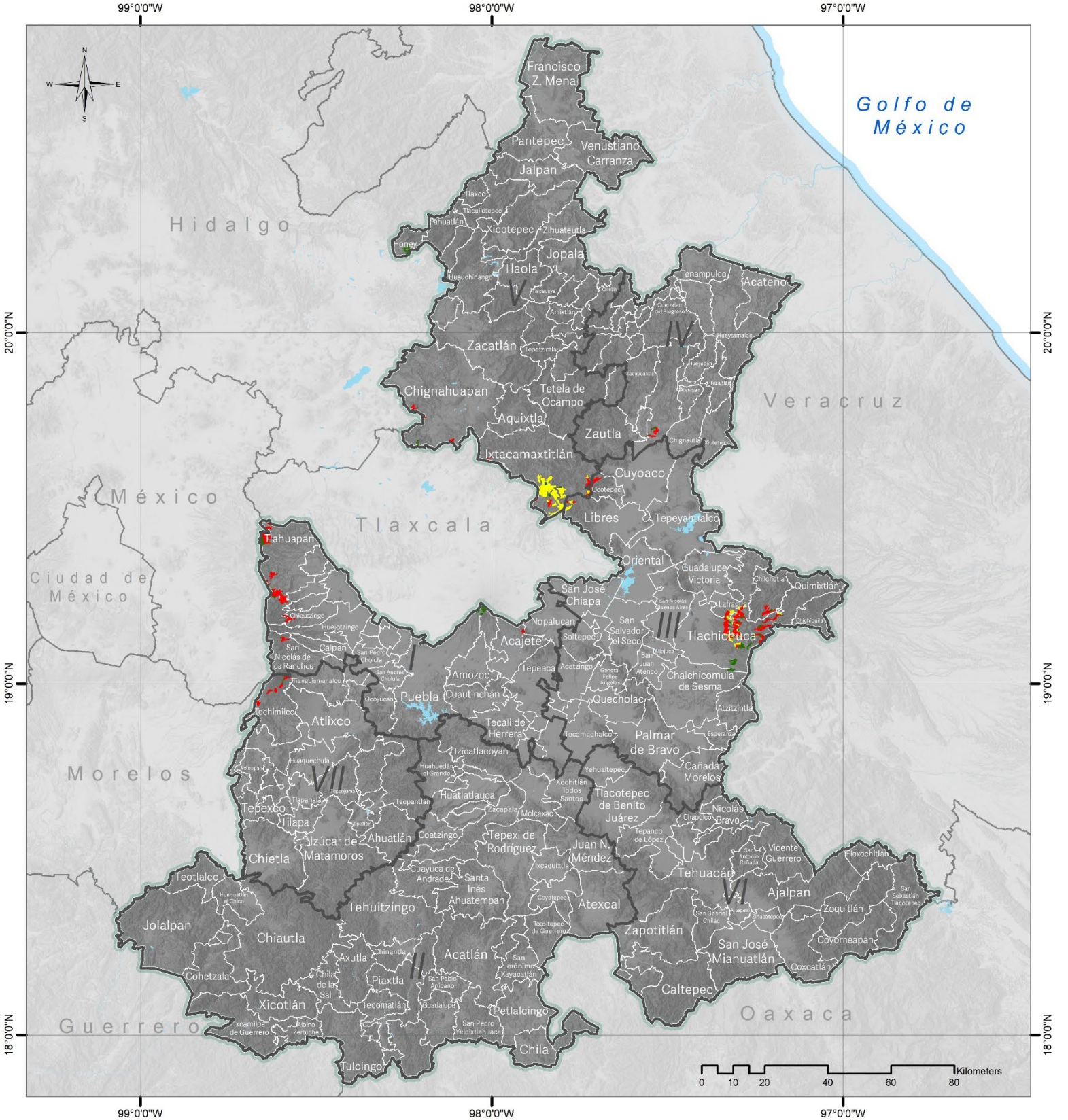
Fuente: Elaboración propia.

El bosque de oyamel es la comunidad vegetal con menor presencia en el Estado, sin embargo, 54% de su superficie tiene una vulnerabilidad alta al cambio climático. Esto podría significar la pérdida de más de 9,000 hectáreas de bosque de oyamel, la segunda madera más importante a nivel estatal para la producción maderable (CONAFOR, 2019). Los bosques de oyamel de la región Angelópolis son los únicos que se localizan dentro de predios con certificación forestal, lo que implica que si bien no hay instrumentos gubernamentales que aseguren la protección de estos bosques, sí existen capacidades locales para la protección, restauración y conservación de estos ecosistemas y los servicios ambientales que proveen, disminuyendo así su vulnerabilidad (Mapa 183).

Un poco más de la mitad de la superficie del **bosque mesófilo de montaña** presenta valores de vulnerabilidad media. La mayor proporción de superficie con vulnerabilidad alta se localiza en la Sierra Nororiental y la Sierra Norte (Mapa 184). En general, es considerado uno de los ecosistemas terrestres más susceptibles al cambio climático debido a lo restringido de su distribución y las condiciones climáticas tan particulares que requiere para su establecimiento y supervivencia. En la entidad, los bosques mesófilos de montaña bajo esquema de protección y manejo están en la Zona Protectora Forestal Vedada de la Cuenca Hidrográfica del Río Necaxa, un ANP Federal que conserva menos del 1% del total de la superficie de bosque mesófilo de montaña en Puebla.

La mayor parte de superficie de **bosques de pino, encino, pino-encino y encino-pino** presenta valores de vulnerabilidad media, a excepción de los bosques de la región Mixteca que presentan valores altos de vulnerabilidad (Mapa 185). En la región Angelópolis, más de 11,000 hectáreas de bosques de pino, encino, pino-encino y encino-pino tienen alta vulnerabilidad al cambio climático, se suma a esta condición la expansión urbana de la capital poblana y su área conurbada, la cual representa una fuerte amenaza hacia los bosques no solo por el cambio de uso de suelo, también por la contaminación ambiental y atmosférica, y los impactos que esta tiene en la salud, crecimiento y capacidad de almacenamiento de CO_2 de los bosques.

Los árboles de pino son la base de la producción forestal de la entidad, y una fuente importante de suministro de leña para los hogares rurales, por lo que disminuir su vulnerabilidad al cambio climático conlleva beneficios ambientales y sociales. Esta comunidad vegetal se encuentra distribuida en todas las regiones del Estado, aunque su mayor extensión se ubica en la Sierra Norte, seguida por la región Mixteca y Valle Serdán. En la región Sierra Norte y Sierra Nororiental esta vegetación cubre las zonas alta y media de la cuenca del Río Tecolutla, a pesar de los servicios ambientales que proporcionan no hay instrumentos de protección que aseguren su conservación y manejo sustentable.



Simbología

- Límite municipal
- Cuerpos de agua
- Límite del Estado de Puebla
- Límite estatal

Vulnerabilidad

- Baja
- Media
- Alta

Regiones Puebla

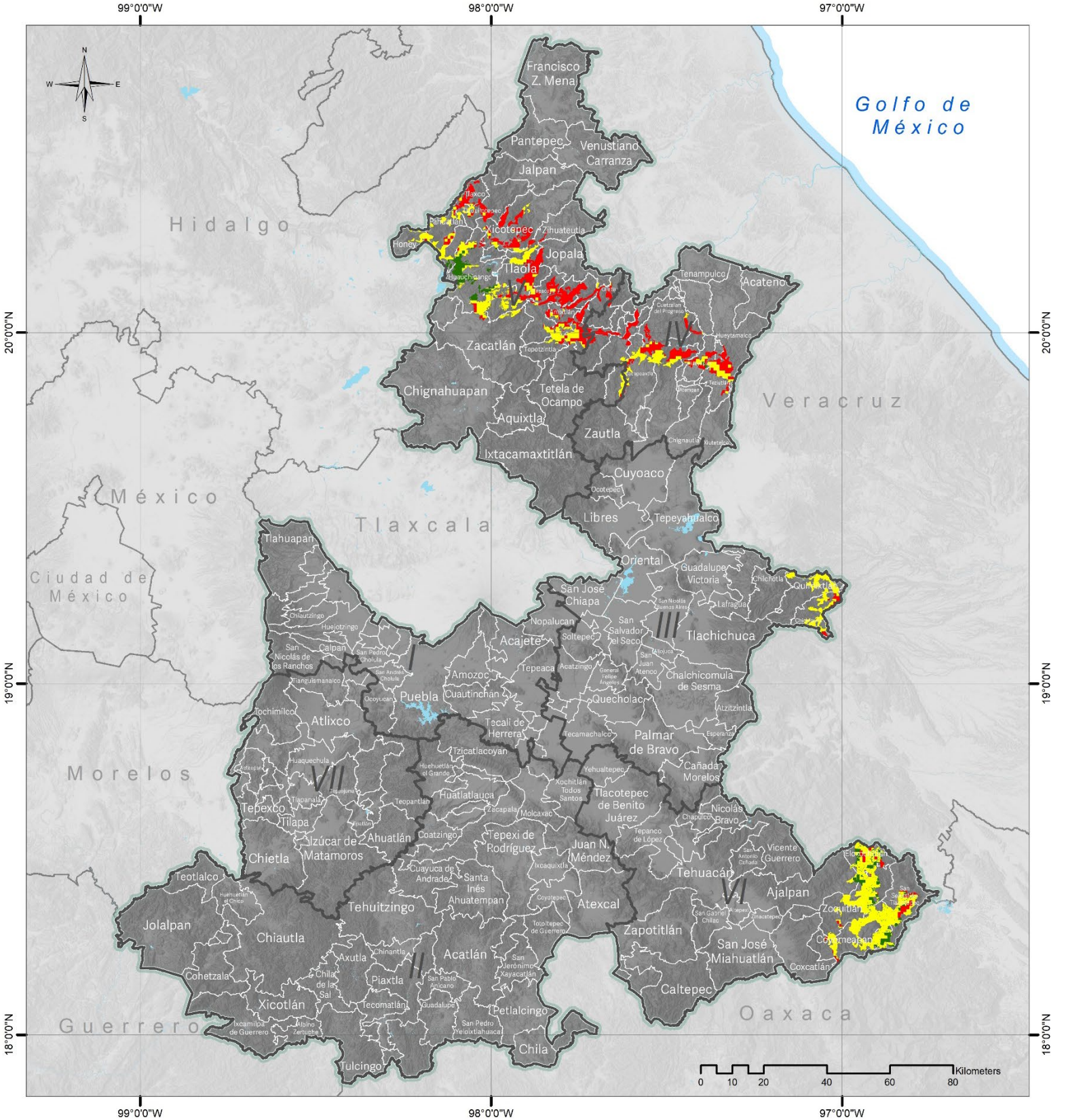
- I, Angelópolis
- II, Mixteca
- III, Serdán y Valles Centrales
- IV, Sierra Nororiental
- V, Sierra Norte
- VI, Tehuacán y Sierra Negra
- VII, Valle Atlixco y Matamoros



M183. Vulnerabilidad del Bosque de Oyamel (BA).

Fuente: Elaboración Propia
Mapa Base: Marco Geoestadistico diciembre 2021, Estado de Puebla, INEGI.

Coordinate System: MEXICO ITRF 2008 LCC
Projection: Lambert Conformal Conic 2SP
Datum: ITRF 2008



Simbología

- Límite municipal
- Cuerpos de agua
- Límite del Estado de Puebla
- Límite estatal

Vulnerabilidad

- Baja
- Media
- Alta

Regiones Puebla

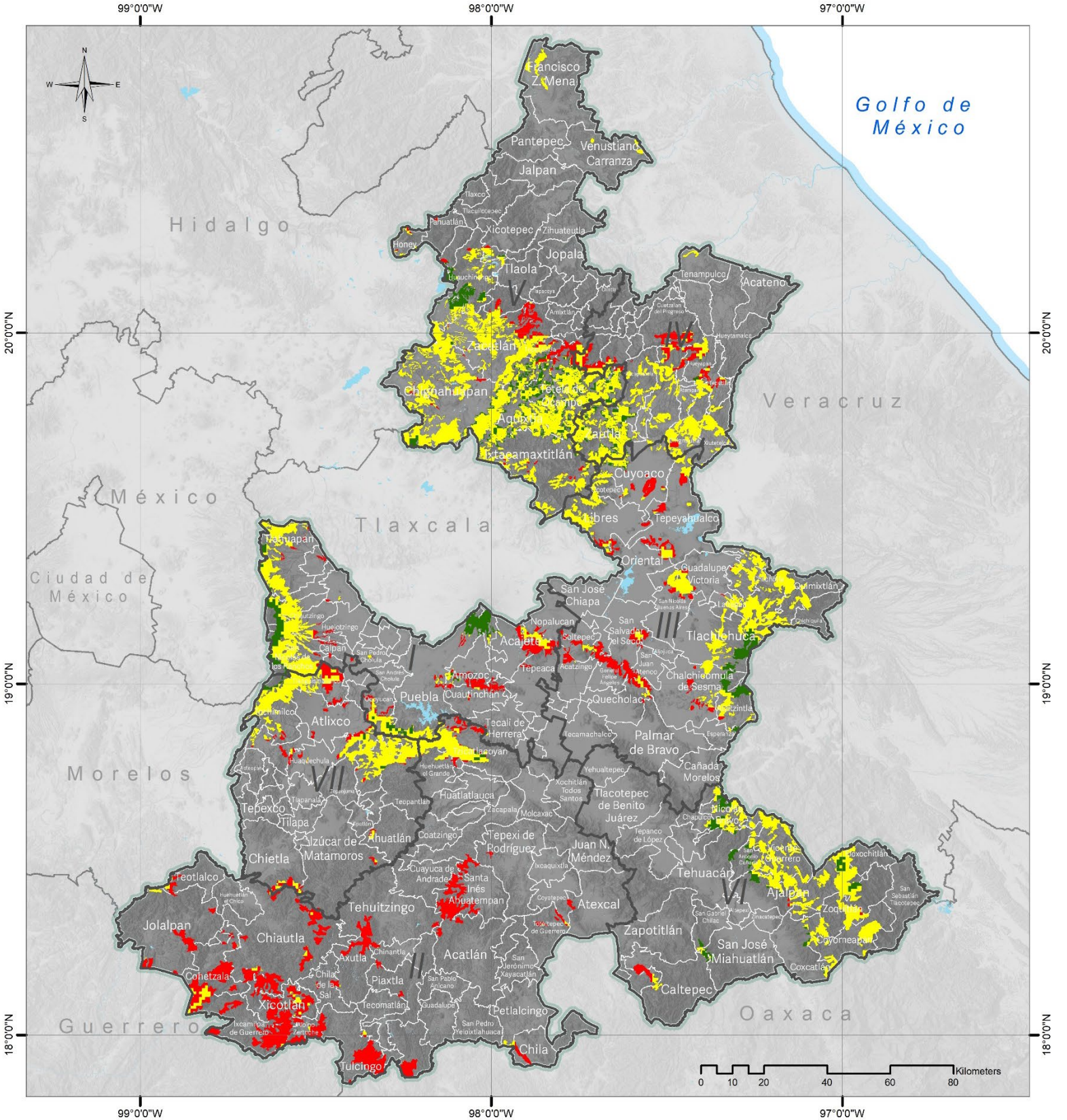
- I, Angelópolis
- II, Mixteca
- III, Serdán y Valles Centrales
- IV, Sierra Nororiental
- V, Sierra Norte
- VI, Tehuacán y Sierra Negra
- VII, Valle Atlixco y Matamoros



M183. Vulnerabilidad del bosque mezofilo de montañal (BM).

Fuente: Elaboración Propia
Mapa Base: Marco Geoestadistico diciembre 2021, Estado de Puebla, INEGI.

Coordinate System: MEXICO ITRF 2008 LCC
Projection: Lambert Conformal Conic 2SP
Datum: ITRF 2008



Simbología

- Límite municipal
- Cuerpos de agua
- Límite del Estado de Puebla
- Límite estatal

Vulnerabilidad

- Baja
- Media
- Alta

Regiones Puebla

- I, Angelópolis
- II, Mixteca
- III, Serdán y Valles Centrales
- IV, Sierra Nororiental
- V, Sierra Norte
- VI, Tehuacán y Sierra Negra
- VII, Valle Atlixco y Matamoros



M185. Vulnerabilidad del bosque de Pino, Encino, Pino-Encino y Encino-Pino (BPQP).

Fuente: Elaboración Propia
Mapa Base: Marco Geoestadistico diciembre 2021, Estado de Puebla, INEGI.

Coordinate System: MEXICO ITRF 2008 LCC
Projection: Lambert Conformal Conic 2SP
Datum: ITRF 2008

Las selvas bajas caducifolias son la comunidad vegetal con mayor representación estatal, la conectividad de la selva baja caducifolia es muy alta, lo que en parte explica que 86% de la superficie tenga vulnerabilidad media, 13% vulnerabilidad baja y solo 1,174 hectáreas vulnerabilidad alta (Mapa 188).

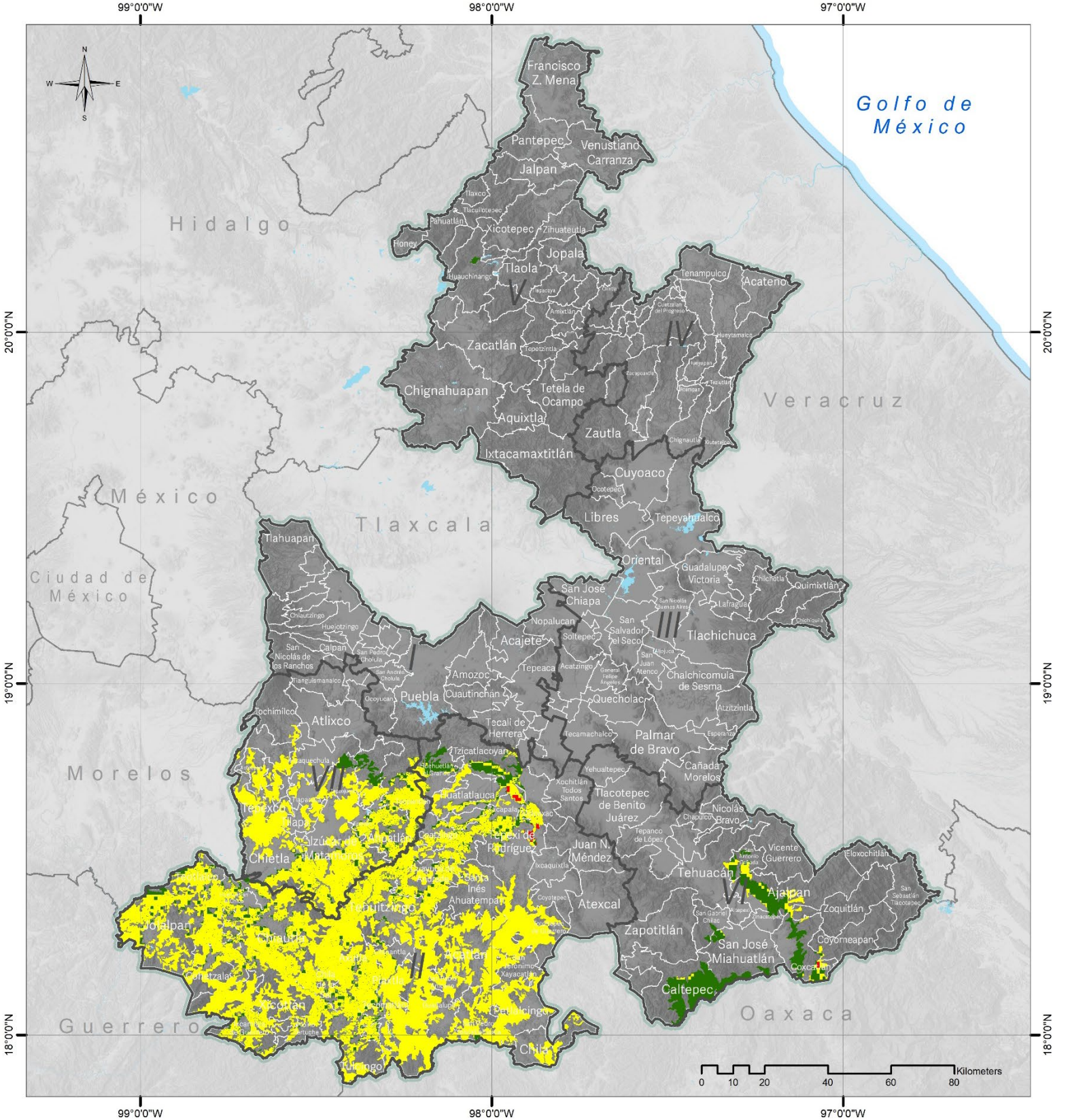
De acuerdo con los resultados, la selva baja caducifolia no proyecta tener impactos significativos en cuanto a pérdida de superficie por cambio en las condiciones climáticas, sin embargo, el aumento de la temperatura puede incrementar la incidencia de incendios y, por lo tanto, la emisión de GEI, la pérdida de biomasa aérea y stock de carbono. Esta comunidad vegetal es altamente sensible a incendios, por lo que es recomendable incrementar su vigilancia y monitoreo, particularmente en años con pronóstico de sequía, estableciendo brigadas permanentes contra incendios y campañas periódicas de prevención de incendios forestales.

Los matorrales ocupan poco menos del 18% de la superficie del Estado, de ese porcentaje **el matorral crasicaule (MC)** ocupa el 6%. Si bien es la comunidad vegetal con la mayor proporción de superficie clasificada con vulnerabilidad baja (49%), la totalidad de la superficie localizada en la región Angelópolis presenta vulnerabilidad alta (Mapa 186).

En las zonas de matorral crasicaule, al igual que en las zonas de selva baja caducifolia, es importante mantener una vigilancia constante y consolidar una brigada permanente contra incendios y plagas debido a su alta sensibilidad a estos dos factores.

El matorral desértico rosetófilo (MDR) se distribuye en seis de las siete regiones del Estado, solo ausente en el Valle de Atlixco. Aproximadamente la mitad de su superficie presenta valores de vulnerabilidad media; en las regiones Angelópolis, Mixteca y Sierra Norte presenta la mayor proporción de superficie con vulnerabilidad alta (Mapa 187).

Como en el caso del matorral crasicaule y las selvas bajas caducifolias, el aumento en la incidencia de incendios y plagas representa la amenaza por cambio climático más importante para este tipo de vegetación, por lo que las medidas a adoptar tienen que ir dirigidas a prevenir, monitorear y atender de manera rápida y oportuna estos fenómenos.



Simbología

- Límite municipal
- Cuerpos de agua
- Límite del Estado de Puebla
- Límite estatal

Vulnerabilidad

- Baja
- Media
- Alta

Regiones Puebla

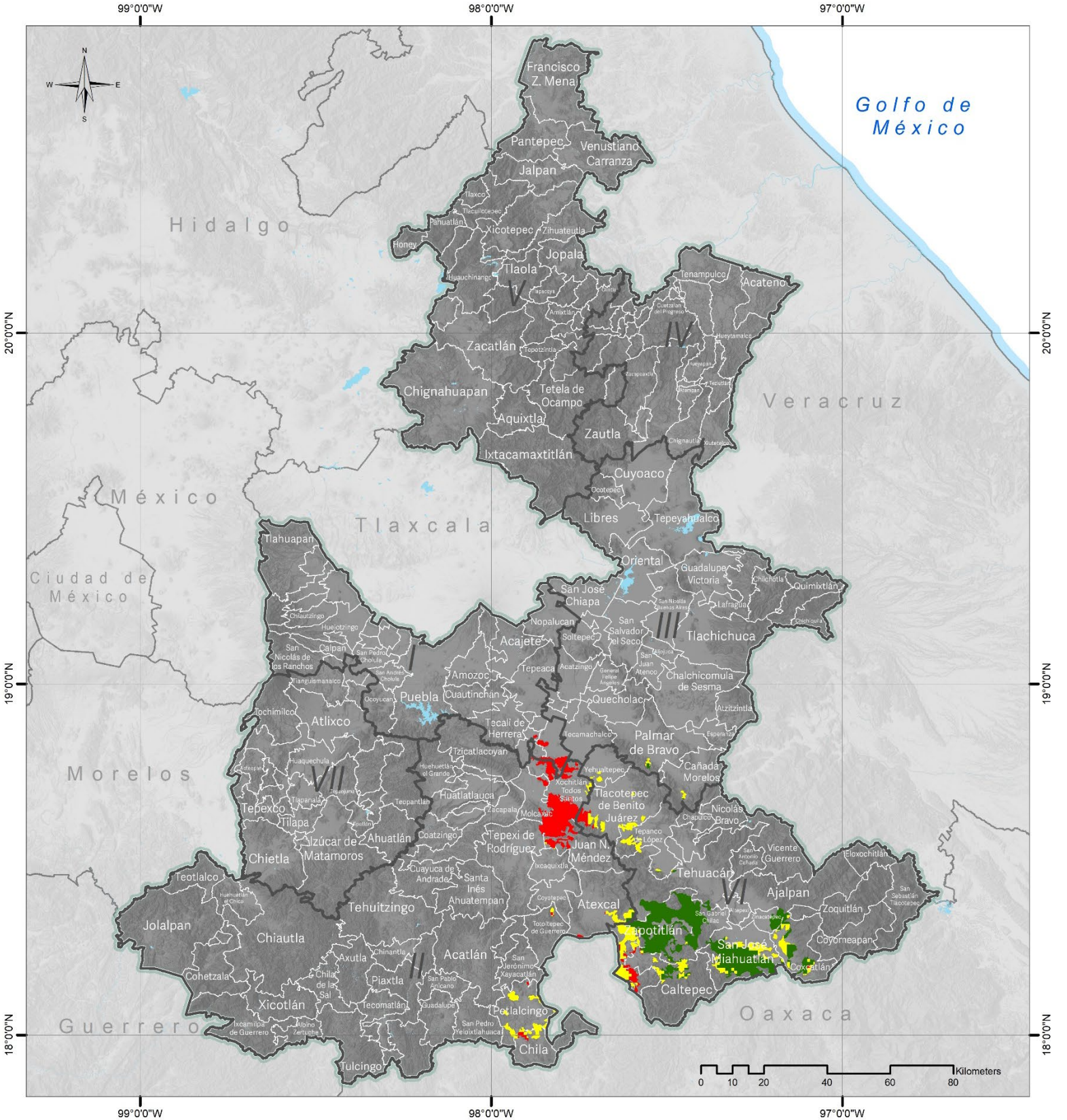
- I, Angelópolis
- II, Mixteca
- III, Serdán y Valles Centrales
- IV, Sierra Nororiental
- V, Sierra Norte
- VI, Tehuacán y Sierra Negra
- VII, Valle Atlixco y Matamoros



M188 Vulnerabilidad de las Selvas Bajas Caducifolias (SBC).

Fuente: Elaboración Propia
Mapa Base: Marco Geoestadistico diciembre 2021, Estado de Puebla, INEGI.

Coordinate System: MEXICO ITRF 2008 LCC
Projection: Lambert Conformal Conic 2SP
Datum: ITRF 2008



Simbología

- Límite municipal
- Cuerpos de agua
- Límite del Estado de Puebla
- Límite estatal

Vulnerabilidad

- Baja
- Media
- Alta

Regiones Puebla

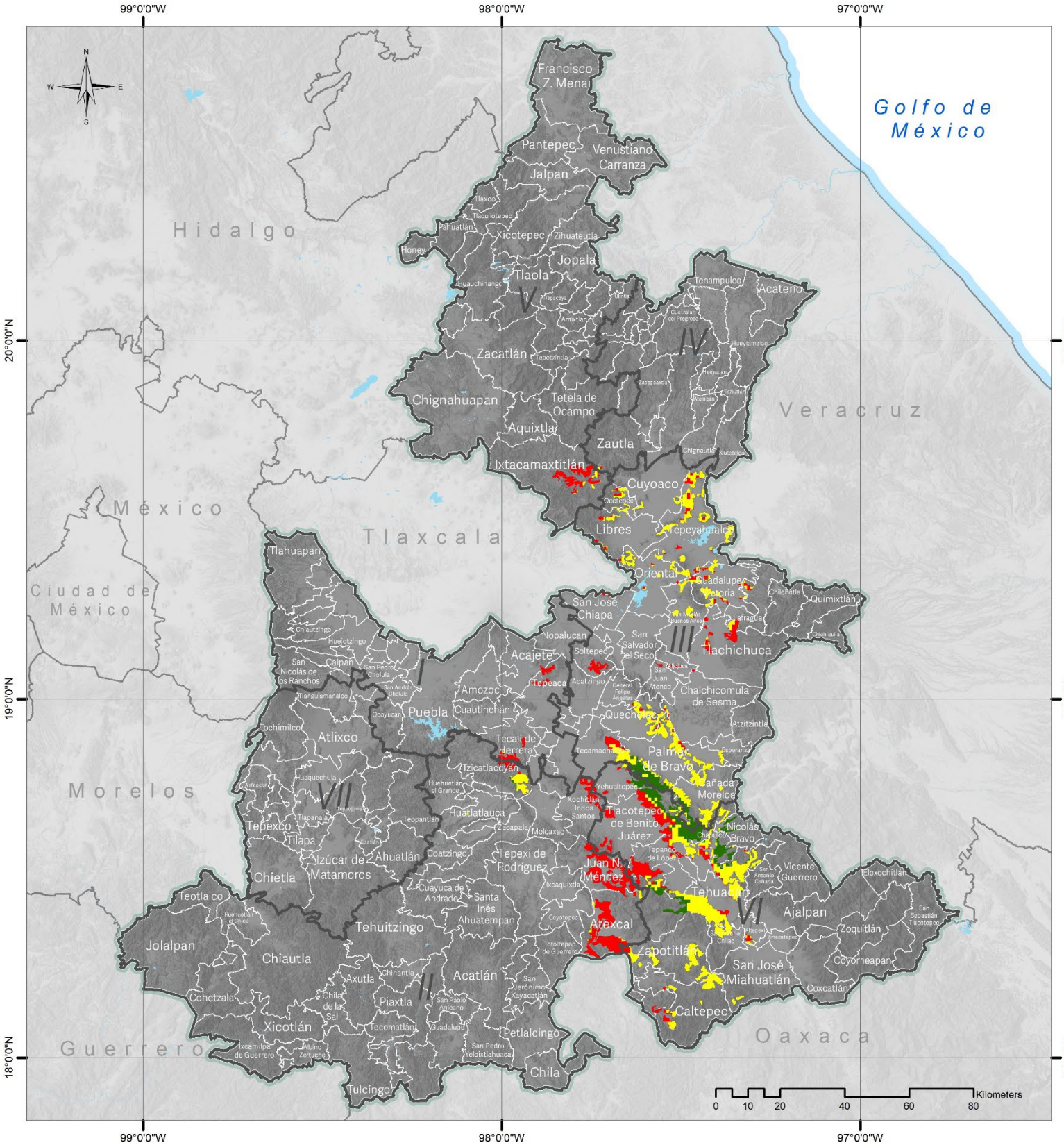
- I, Angelópolis
- II, Mixteca
- III, Serdán y Valles Centrales
- IV, Sierra Nororiental
- V, Sierra Norte
- VI, Tehuacán y Sierra Negra
- VII, Valle Atlixco y Matamoros



M186 Vulnerabilidad del Matorral Casicaule (MC).

Fuente: Elaboración Propia
Mapa Base: Marco Geoestadistico diciembre 2021, Estado de Puebla, INEGI.

Coordinate System: MEXICO ITRF 2008 LCC
Projection: Lambert Conformal Conic 2SP
Datum: ITRF 2008



Simbología

- Límite municipal
- Cuerpos de agua
- Límite del Estado de Puebla
- Límite estatal

Vulnerabilidad

- Baja
- Media
- Alta

Regiones Puebla

- I, Angelópolis
- II, Mixteca
- III, Serdán y Valles Centrales
- IV, Sierra Nororiental
- V, Sierra Norte
- VI, Tehuacán y Sierra Negra
- VII, Valle Atlixco y Matamoros



M187 Vulnerabilidad del Matorral Desértico Rosétofilo (MDR).

Fuente: Elaboración Propia
Mapa Base: Marco Geoestadistico diciembre 2021, Estado de Puebla, INEGI.

Coordinate System: MEXICO ITRF 2008 LCC
Projection: Lambert Conformal Conic 2SP
Datum: ITRF 2008

A continuación, se enlistan algunas recomendaciones para el diseño e implementación de medidas adaptación al cambio climático, dirigidas a disminuir la vulnerabilidad del sector forestal del estado de Puebla:

- Impulsar la restauración de ecosistemas forestales vulnerables para aumentar la resistencia y resiliencia de las comunidades vegetales ante los impactos del cambio climático.
- Fortalecer y diversificar los sistemas agrosilvopastoriles, para frenar o disminuir los cambios de uso de suelo y su impacto en la emisión de GEI y material particulado.
- Mantener la diversidad genética vegetal del estado de Puebla estableciendo un nuevo banco de germoplasma vegetal.
- Fortalecer el Programa Estatal de Manejo del Fuego, consolidando la relación interinstitucional e intermunicipal, y otorgando más recursos para capacitación y adquisición de nuevos equipos y tecnología para la detección oportuna de incendios.
- Aumentar la superficie bajo esquemas de Pago por Servicios Ambientales.
- Impulsar el manejo forestal sostenible y la gestión y organización comunitaria.
- Establecer, a nivel estatal, un sistema permanente de monitoreo de la salud de los bosques, selvas y matorrales.
- Establecer campañas de reforestación, control de incendios y plagas en zonas de alta vulnerabilidad al cambio climático.

5.3.3. VULNERABILIDAD DEL SECTOR AGRÍCOLA ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO

Actualmente el 43.2% del territorio del estado de Puebla tiene uso de suelo agrícola, 84% de temporal y 16% de riego (INEGI,2017b).

De acuerdo al Atlas agroalimentario 2012-2018 publicado por el Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) (SIAP,2018) Puebla destaca a nivel nacional, en la producción de ajonjolí, alfalfa verde, amaranto, arándano, avena grano, berenjena, brócoli, café cereza, calabacita, caña de azúcar, cebada, cebolla, coliflor, durazno, frambuesa, fresa, jitomate, lechuga, maíz forrajero, maíz grano, naranja, nopalitos, papa, pera, plátano, rosa, sorgo grano, tomate verde, toronja y uva fruta.

Cambio climático y el sector agrícola

El cambio climático es un fenómeno y sus efectos ponen en riesgo a la producción mundial de cultivo y en consecuencia el riesgo de una menor disponibilidad de alimentos a nivel local y global. De acuerdo con la Convención de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, la alteración del clima en la tierra se vincula directamente con el aumento de la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera, producto de actividades humanas relacionadas con el uso intensivo de combustibles fósiles y la deforestación.

En este contexto, el incremento en las temperaturas genera efectos negativos como la escasez de agua, olas de calor, precipitaciones pluviales, daños por inundaciones y sequías, que afectan la actividad agrícola. Las proyecciones climáticas indican que para 2030 podría generarse un incremento en la temperatura de hasta 2 °C. Se ha estimado que las actividades agrícolas generan 24% de las emisiones de gases de invernadero. Aunado a esto, la agricultura promueve la pérdida de suelos hasta en 2.5 veces mayor en comparación con su pérdida natural (CIMMYT, 2021).

Las pérdidas económicas debido al cambio climático —que, en 2018, por ejemplo, se estimaron en 49 mil millones de dólares a nivel global (ONU, 2019)— consisten principalmente en impactos agrícolas que pueden estimarse o cuantificarse de forma más o menos directa (como la pérdida de cosechas) o mediante la revisión de registros históricos (como la cantidad de personas desnutridas debido a sequías asociadas con fenómenos como El Niño). Sin embargo, hay otros impactos más difíciles de calcular y que hasta hace poco no se relacionaban con el cambio climático.

Cuando las cosechas se pierden por sequías o inundaciones —en 2019 se perdió alrededor del 70% de cultivos en Centroamérica a causa de fenómenos meteorológicos extremos (ONU, 2020)— no solo aumenta el hambre en el corto plazo o de forma inmediata, sino que las vulnerabilidades socioeconómicas continúan en el mediano y largo plazo impactando los medios de vida, la toma de decisiones agrícolas y la toma de riesgos de las comunidades vulnerables.

En México, la sequía presentada en 2019 fue tan severa que afectó el 60% del territorio nacional incluidos estados que no habían enfrentado este problema como Chiapas, Tabasco, Campeche, Quintana Roo y el norte de Veracruz, lo que limitó el desarrollo de la agricultura. Sumado a ello en 2020 la emergencia sanitaria por Covid-19, agravó la situación, si bien la variabilidad del clima y los fenómenos meteorológicos extremos ya implicaban afectaciones a la seguridad alimentaria de las poblaciones (propiciando el desplazamiento de las más vulnerables), con los efectos de la nueva enfermedad el riesgo de una gran crisis alimentaria se ha maximizado (CIMMYT, 2021).

En Puebla la combinación de la emergencia sanitaria y la sequía que también se presentó en la entidad se reportaron 50.9 mil ocupados menos en el sector primario en el trimestre julio-septiembre 2021 según los datos del SIAP con base en la Encuesta Nacional de Ocupación y Empleo (ENOE), el campo poblano reportó 615 mil 375 trabajadores en el tercer trimestre de 2020, mientras que en igual lapso de este año se contabilizaron 564 mil 441 (SIAP, 2021). Este año el estado de Puebla destinará apoyo por medio del pago de seguros a 73 municipios que se vieron afectados por la sequía (SDR, 2022).

Desde una perspectiva operativa no existen soluciones milagrosas para hacer frente al cambio climático, la comprensión científica que hoy se tiene sobre el fenómeno pone de relieve que la agricultura es un sector clave para mitigar emisiones de gases de efecto invernadero y adaptarse a los entornos de variabilidad climática y calentamiento global (CIMMYT, 2021).

Aptitud agroclimática del cultivo del maíz en el estado de Puebla

Para tener una aproximación al cambio de rendimiento del cultivo del maíz en el estado de Puebla se abordó desde el cambio en la aptitud agroclimática del cultivo con los escenarios de cambio climático. Se realizó una búsqueda bibliográfica respecto a los parámetros de idoneidad climática para el rendimiento óptimo del cultivo de maíz, específicamente de temperatura y precipitación. El Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2018), reporta los siguientes rangos marcados en la Tabla 68.

TABLA 68. CLASIFICACIÓN DE LAS VARIABLES CLIMÁTICAS PARA EL CULTIVO DEL MAÍZ.

VARIABLE CLIMÁTICA	APTITUD AGROCLIMÁTICA MEDIANA	**APTITUD AGROCLIMÁTICA ÓPTIMA**	APTITUD AGROCLIMÁTICA MEDIANA
Precipitación acumulada	480 - 700	**700- 1300**	>1300
Temperatura media	14 - 18	**18-24**	24 - 26

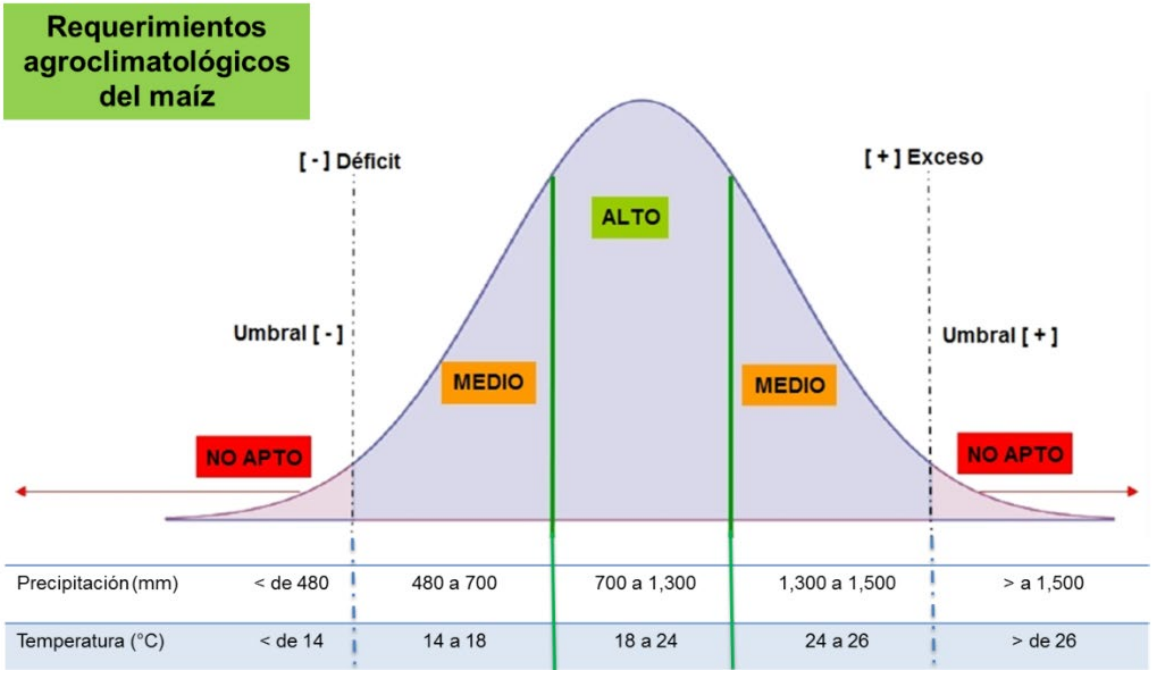


FIGURA 125. REQUERIMIENTOS AGROCLIMATOLÓGICOS DEL MAÍZ.

Fuente: elaboración propia con información del SIAP.

Se obtuvo la zonificación de parámetros para Precipitación acumulada (PA) y Temperatura media (TM), se utilizaron los datos de clima histórico (1979-2000) de WorldClim versión 2.1.

Se descargaron los datos de resolución espacial de 30 segundos (1km2) de precipitación y de temperatura promedio para los meses de abril a septiembre, posteriormente se sumaron y se calculó el promedio para cada pixel, se sumaron las condiciones de PA y TM, se clasificó en aptitud óptima donde se cumplieron espacialmente ambas condiciones y mediano rendimiento donde se cumplió alguna de las condiciones, posteriormente se calculó la superficie óptima respecto al área agrícola actual, total, agricultura de riego y temporal, se obtuvo el área total y porcentual para cada municipio del estado de Puebla.

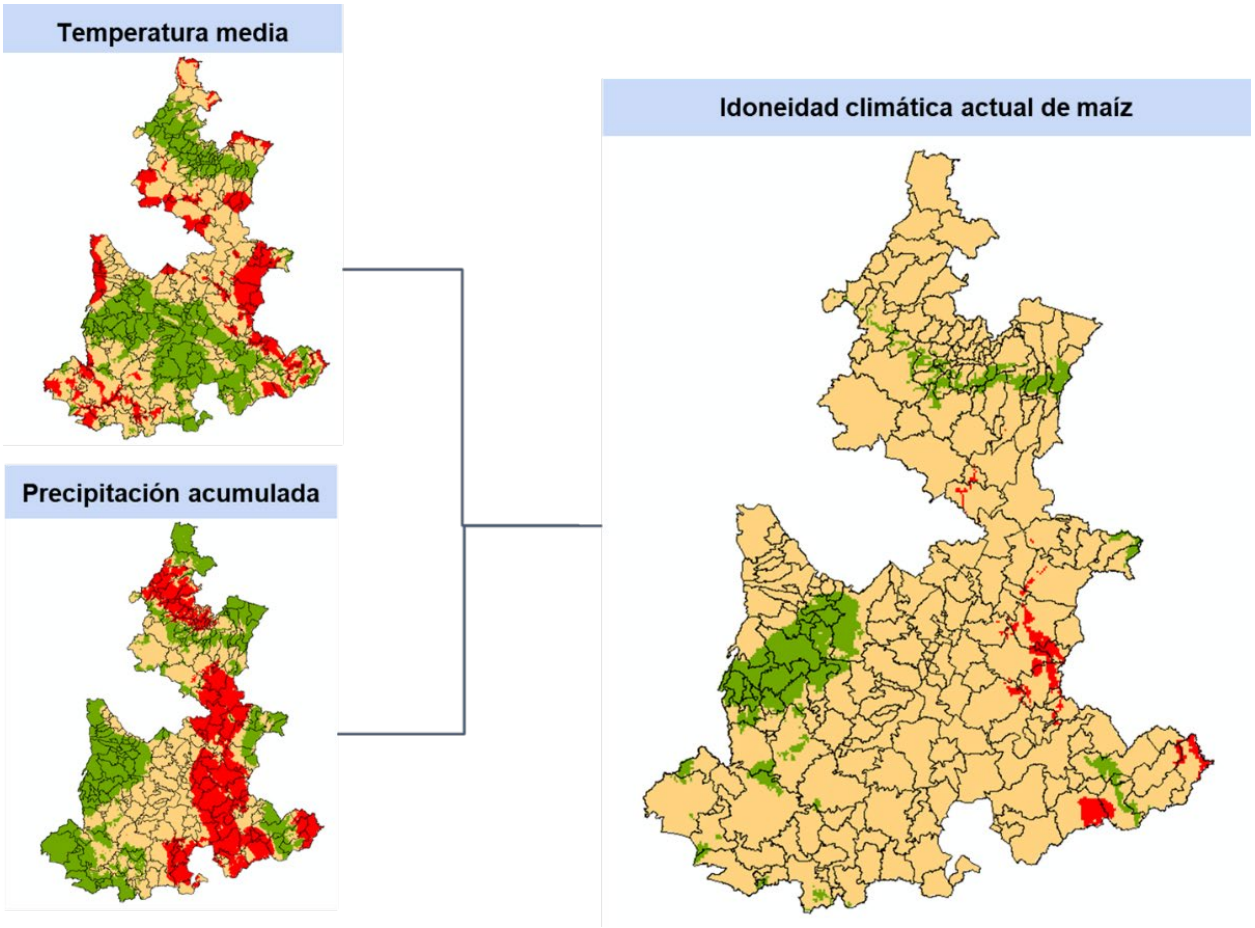


FIGURA 126. MAPA DE CONSTRUCCIÓN DE APTITUD CLIMÁTICA ACTUAL DEL MAÍZ.

Fuente: elaboración propia con información del WorldClim

Para las condiciones futuras, se utilizó la capa de precipitación acumulada y para temperatura media anual se calculó a partir de la sumatoria de temperatura máxima y mínima, dividido entre dos, se sumaron los resultados de los seis meses del año y se dividieron entre seis, para cada uno de los escenarios de cambio climático seleccionados: HadGEM3 ssp245 (2021-2040),

HadGEM3 ssp245 (2081-2100), HadGEM3 ssp585 (2021-2040), HadGEM3 ssp585 (2081-2100), MPI-ESM1.2 ssp245 (2021-2040), MPI-ESM1.2 ssp245 (2081-2100), MPI-ESM1.2 ssp585 (2021-2040), MPI-ESM1.2 ssp585 (2081-2100) (WorldClim, 2020).

Para cada escenario se calculó las zonas de óptimo rendimiento, con la sumatoria espacial de PA y TM, posteriormente se calculó la superficie óptima respecto al área agrícola total, agricultura de riego y temporal, se obtuvo el área total y porcentual para cada municipio del estado de Puebla para cada escenario.

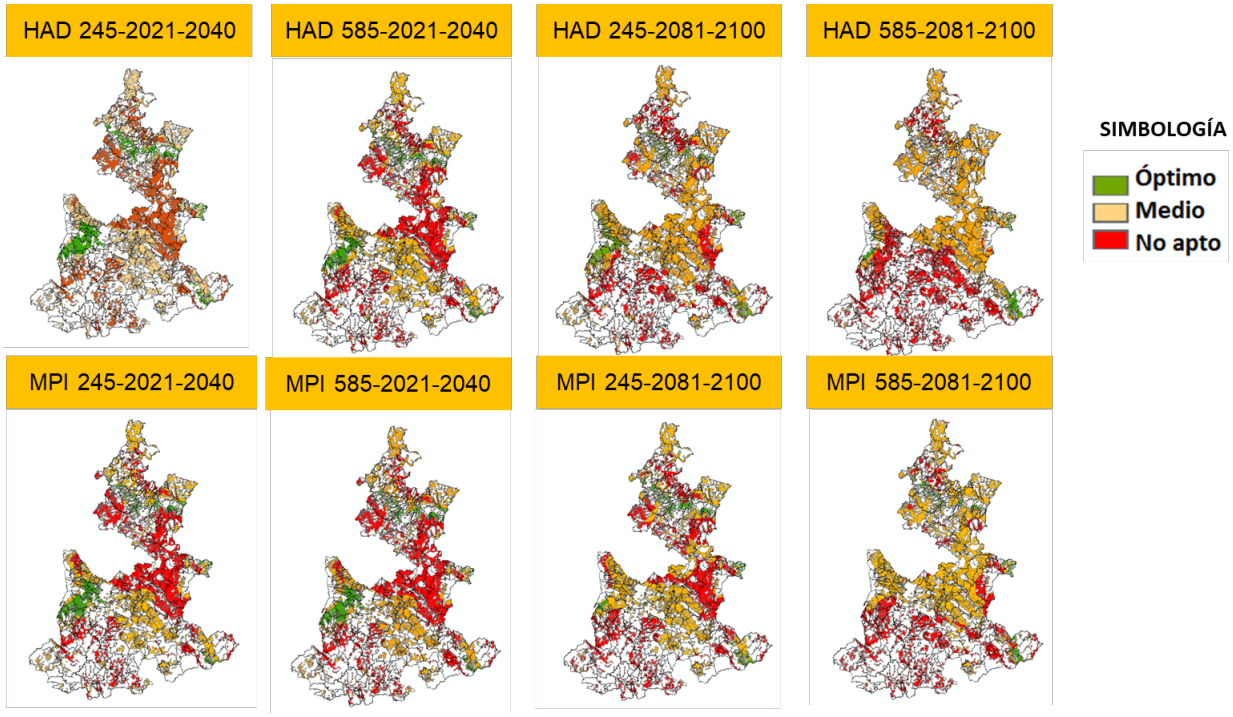


FIGURA 127. MAPA DE APTITUD CLIMÁTICA UTILIZANDO LOS ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO PARA EL CULTIVO DEL MAÍZ.

Fuente: Elaboración propia con información de WorldClim.

Resultado de la aptitud climática del cultivo de maíz

Para el escenario actual 91% del área utilizada para la agricultura se cumple por lo menos con una condición de temperatura o precipitación (77.6% en modalidad de temporal y el 13.4% en riego) y solo el 8.6% cumple con las dos condiciones (6.3% en temporal y el 2.3% en riego).

En la Tabla 69, se presentan los rendimientos promedio del maíz de temporal por región (datos promedio del SIAP) y el área ocupada por agricultura de temporal (uso de suelo y vegetación de INEGI). En la tabla se puede observar que en la región de Valle Serdán se tiene el mejor rendimiento y Sierra Negra

el menor. Mientras que el área bajo la modalidad de temporal el mayor es la Mixteca y el menor es Valle Atlixco.

TABLA 69. POR REGIÓN ÁREA UTILIZADA POR AGRICULTURA DE TEMPORAL Y RIEGO (INEGI), PORCENTAJE DEL USO PARA EL CULTIVO DE MAÍZ (SIAP) Y EL RENDIMIENTO PROMEDIO POR REGIÓN DEL MAÍZ DE TEMPORAL Y RIEGO (SIAP)

REGIÓN	ÁREA RIEGO	ÁREA TEMPORAL	TOTAL ÁREA AGRÍCOLA	PORCENTAJE DEL ÁREA DE RIEGO USADA PARA MAÍZ	PORCENTAJE DEL ÁREA DE TEMPORAL USADA PARA MAÍZ	PROMEDIO RENDIMIENTO RIEGO	PROMEDIO RENDIMIENTO TEMPORAL
Angelópolis	43,899	141,859	185,758	33.1	84.1	4.3	1.8
Mixteca	23,437	210,187	233,624	40.4	78.5	3.6	0.8
Tehuacán y Sierra Negra	46,496	121,587	168,083	33.1	76.5	3.3	0.6
Sierra Nororiental	0	132,905	132,905	0.0	48.9	0.0	1.4
Sierra Norte	856	265,472	266,328	73.1	44.0	2.8	1.3
Valle Atlixco y Matamoros	55,723	86,110	141,833	14.7	56.6	3.7	1.4
Serdán y Valles Centrales	59,911	288,089	348,000	30.2	66.4	4.5	1.9

Fuente: elaboración propia con información del SIAP e INEGI.

En la Figura 128, se presentan los resultados por región para el horizonte temporal cercano y lejano bajo el ssp245 y el ssp585 de los modelos de circulación general (MCG) HadGEM3 y MPI-ESM1.2 para las áreas de cultivo bajo modalidad de temporal. En general para todas las regiones hay un aumento en las zonas donde no se va a presentar ninguna de las dos variables, esta diminución en aptitud puede estar acompañado de una disminución en el rendimiento y también asociarse a un incremento en las pérdidas por eventos de desastre.

En la Figura 129, se presentan los resultados por región para el horizonte temporal cercano y lejano bajo el ssp245 y el ssp585 de los modelos de circulación general (MCG) HadGEM3 y MPI-ESM1.2 para las áreas de cultivo bajo modalidad de riego.

En general para todas las regiones hay un aumento en las zonas donde no se va a presentar ninguna de las dos variables, en especial para la región Mixteca, Tehuacán y Sierra Negra, Serdán y Valles Centrales, y la región de Valle Atlixco y Matamoros. En la Región Nororiental de acuerdo con la capa de uso de suelo y vegetación de INEGI (2017b) no se cuenta con áreas de agricultura de riego. La disminución en aptitud puede estar acompañada de una baja en el rendimiento y también asociarse a un incremento en las pérdidas por eventos de desastre.

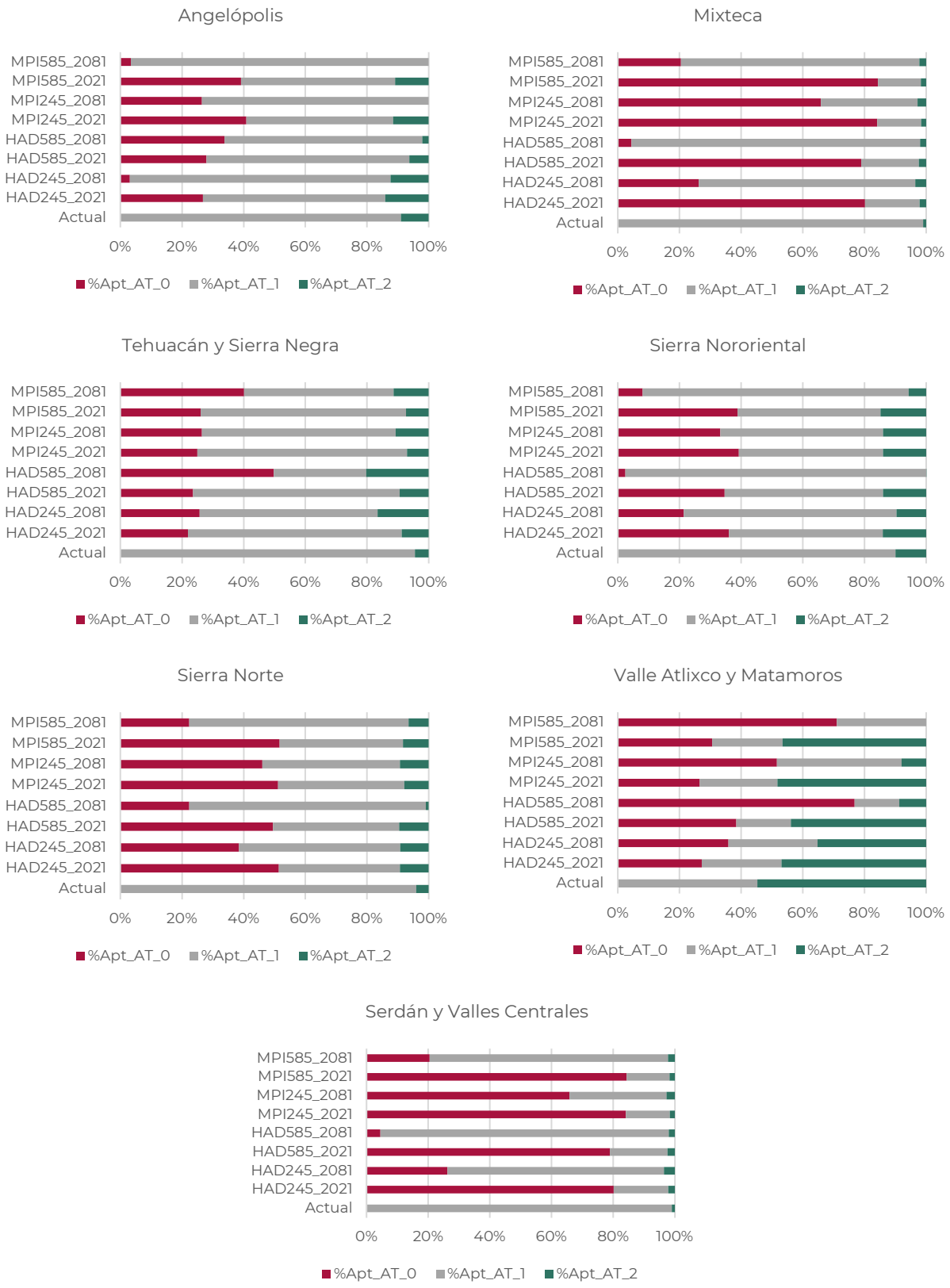


FIGURA 128. PORCENTAJES DE CAMBIO EN LA APTITUD CLIMÁTICA PARA EL MAÍZ EN LAS ÁREAS USO DE AGRICULTURA DE TEMPORAL PARA LAS DISTINTAS REGIONES DE PUEBLA



FIGURA 129. PORCENTAJES DE CAMBIO EN LA APTITUD CLIMÁTICA PARA EL MAÍZ EN LAS ÁREAS USO DE AGRICULTURA DE RIEGO PARA LAS DISTINTAS REGIONES DE PUEBLA.

Fuente: Información propia con información de WorldClim e INEGI

Se deberán desarrollar estrategias para minimizar los impactos ambientales y analizar las opciones de expansión o intensificación agrícola. Se debe continuar con los apoyos y la inversión en regiones donde la producción es de temporal para promover estrategias de mitigación y adaptación al cambio climático para disminuir los impactos de este. Las estrategias deberán integrar distintas formas de producción (ej. Agricultura de conservación, agroforestal, etc.), la migración de cultivos a variedades que soportan mejor las condiciones futuras y se deberá de hacer una planificación del uso de la tierra.

Vulnerabilidad al cambio climático del sector agrícola en Puebla.

Para el desarrollo de esta sección se tomaron dos problemáticas importantes a las cuales se enfrenta la agricultura a nivel global las cuales son inundaciones y estrés hídrico.

De acuerdo con los datos publicado por el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED, 2022), el fenómeno que más causas declaratorias en Puebla son las nevadas, heladas y granizadas, seguidos por ciclón tropical y lluvias, sequía, sismo, actividad volcánica, bajas temperaturas, lluvias severas e inundación fluvial, y temperatura extrema, como se muestra en la figura 130.

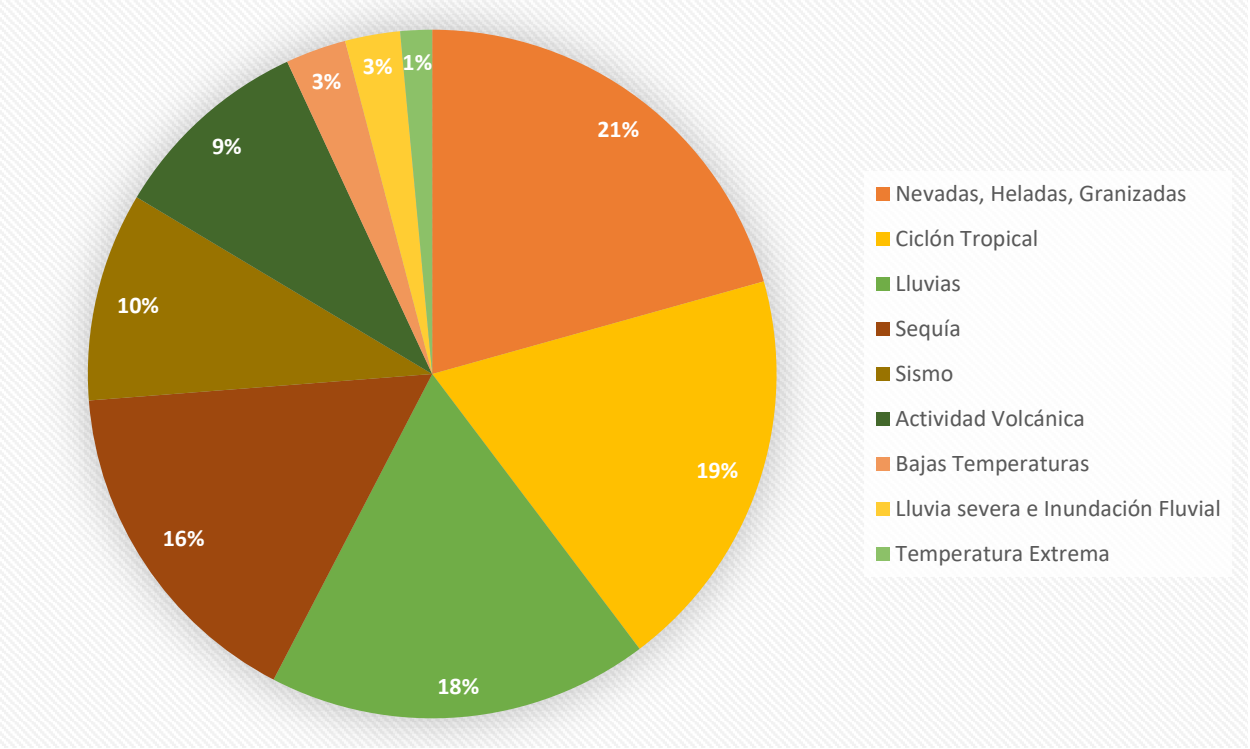


FIGURA 130. PORCENTAJE POR TIPO DE FENÓMENO DE DECLARATORIAS DE EMERGENCIA, DESASTRE O CONTINGENCIA CLIMÁTICA PARA EL ESTADO DE PUEBLA

Fuente: Elaboración propia con datos de CENAPRED, 2022.

Por el tipo de fenómeno las granizadas no se cuentan con observaciones a largo plazo, y la comprensión del proceso del fenómeno es incompleta, y los modelos que permiten convección son limitados, los efectos actuales y futuros con cambio climático en las tormentas de granizo siguen siendo muy inciertos (Raupach et al. 2021), por lo que no se pudo tomar en cuenta para este estudio. Debido a que los cambios en los patrones de lluvia si pueden ser aproximados con uso de índices como el de Lang y el de estacionalidad se optó por modelar la vulnerabilidad ante estrés hídrico e inundaciones.

Es importante resaltar que se utilizó la conceptualización de Atlas Nacional de Vulnerabilidad al Cambio Climático (INECC, 2019a). La vulnerabilidad se define como el grado en que los sistemas pueden verse afectados adversamente por el cambio climático, dependiendo de si éstos son capaces o incapaces de afrontar los impactos negativos del cambio climático, incluyendo la variabilidad climática y los eventos extremos.

- Exposición: Es el carácter, magnitud y velocidad de cambio y variación del clima que afecta a un sistema en condiciones actuales y con cambio climático
- Sensibilidad: Es el grado en que un sistema es afectado por el cambio y la variabilidad climática debido a las características que lo definen
- Capacidad adaptativa: Se concentra en describir las capacidades institucionales con que se cuenta para disminuir los potenciales impactos de las amenazas relacionadas con el clima.

Vulnerabilidad de la agricultura por estrés hídrico

En México, el 49.2% del territorio está conformado por tierras secas, de estas el 0.2% son zonas hiperáridas, el 28.3% zonas áridas, el 23.7% zonas semiáridas y el 17.6% son zonas subhúmedas secas, las cuales se encuentran distribuidas en el centro y norte del país. En estos lugares la población alcanza los 22 millones de habitantes (CONABIO, 2017). Los diez estados mexicanos con mayor grado de aridez son: Aguascalientes, Baja California, Baja California Sur, Chihuahua, Coahuila, Durango, Nuevo León, San Luis Potosí, Sonora y Zacatecas (SAGARPA, 2016).

Este año 2022 el estado de Puebla se vio afectado por una sequía en 73 municipios (El economista, 2022).

Árbol jerárquico para la construcción del índice de vulnerabilidad de la agricultura por estrés hídrico. Figura 131.

Resultados de la vulnerabilidad de la agricultura por estrés hídrico

El análisis de vulnerabilidad de la agricultura por estrés hídrico arroja que 73 municipios de Puebla, de los 217, presentan vulnerabilidad alta: 16 en la región de Angelópolis, 18 en la región Mixteca, 5 en la Sierra Negra, 9 en la Sierra Norte, 12 en el Valle de Atlixco y 13 en el Valle de Serdán (Mapas 58 - 61).

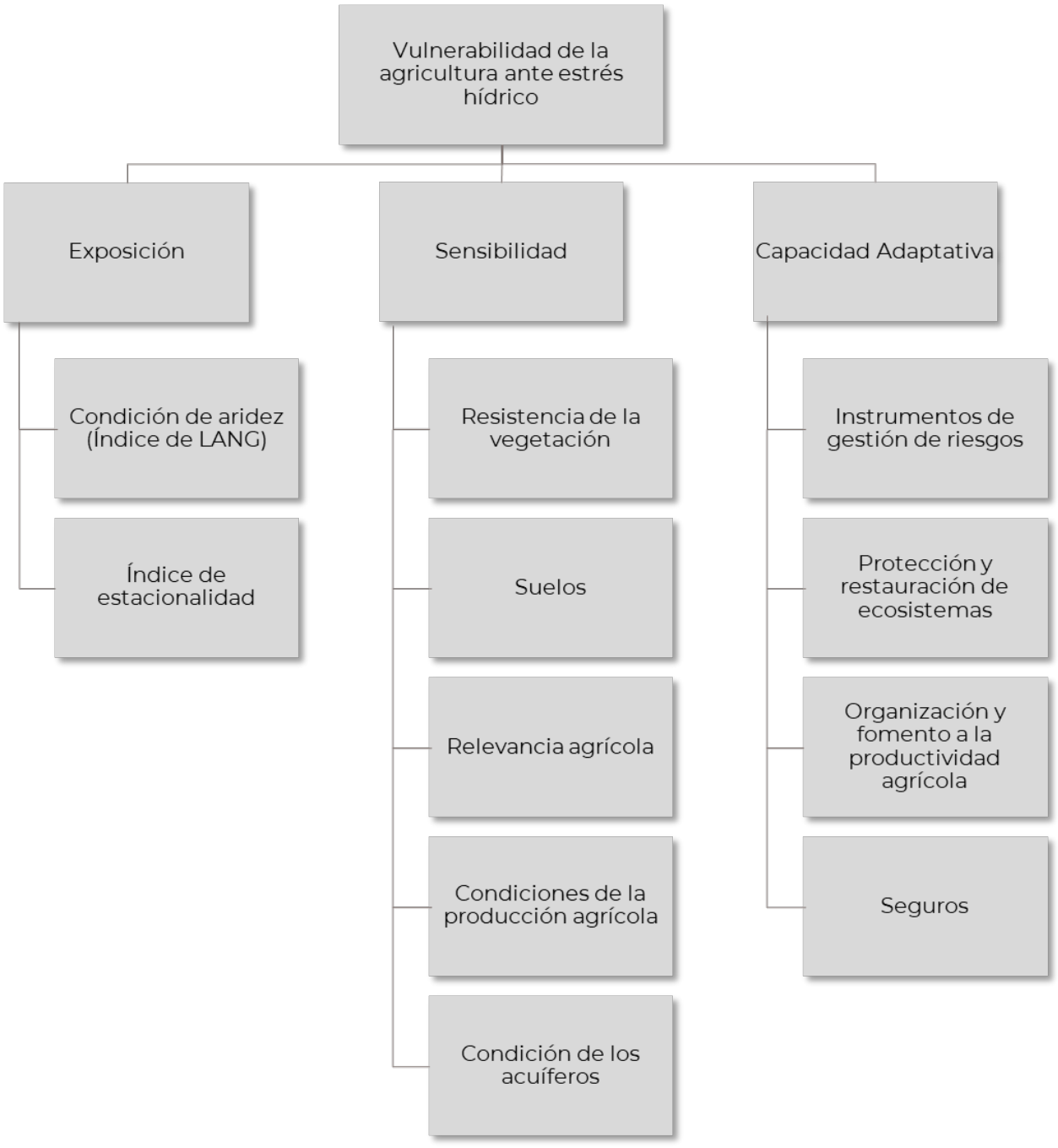
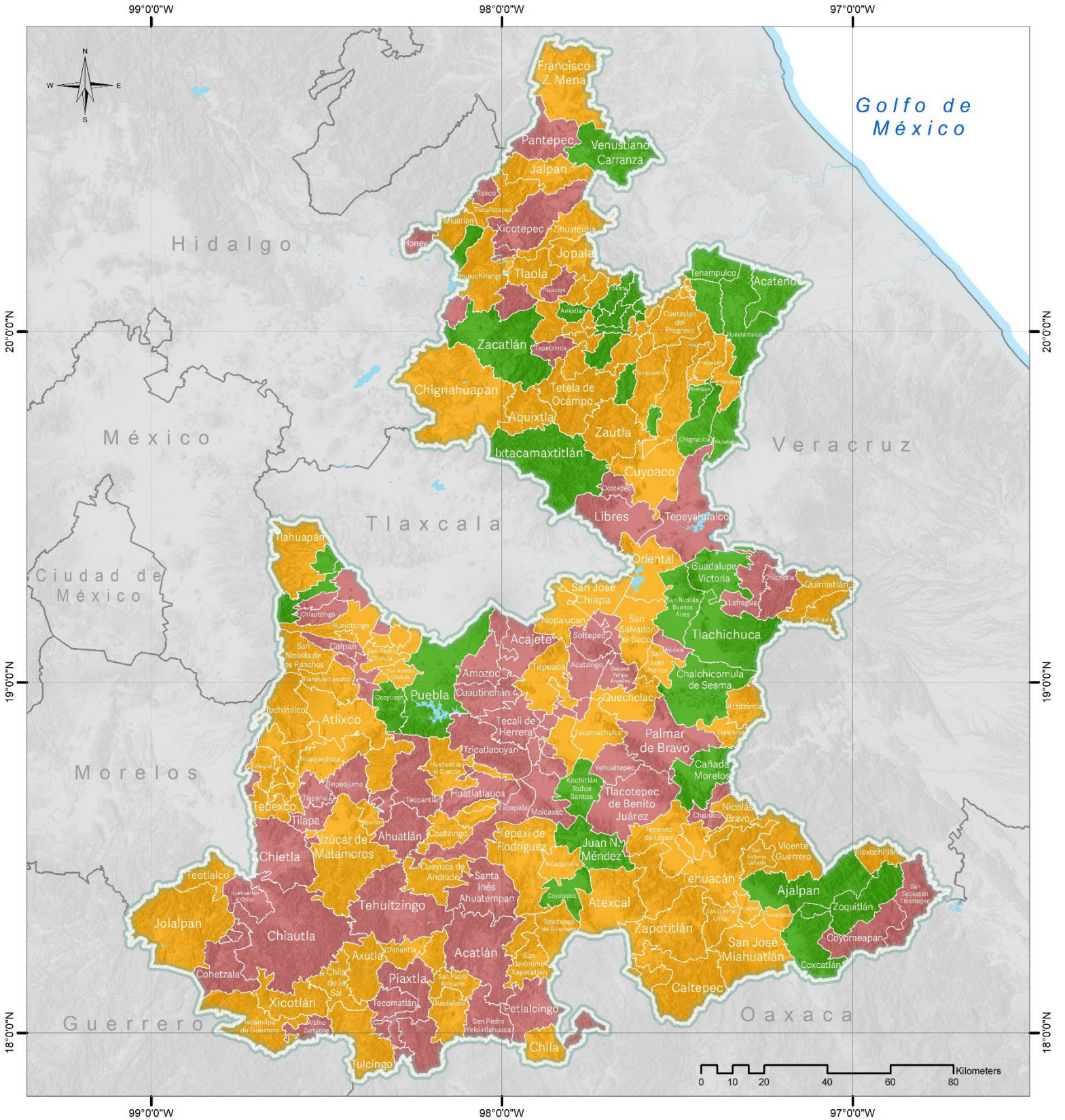


FIGURA 131. ÁRBOL JERÁRQUICO DE LA CONSTRUCCIÓN DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD DE LA AGRICULTURA ANTE EL ESTRÉS HÍDRICO.

Fuente: Elaboración propia.



Simbología

- Límite municipal
- Cuerpos de agua
- Límite del Estado de Puebla
- Límite estatal

Vulnerabilidad de la agricultura por estrés Hídrico

Clasificación

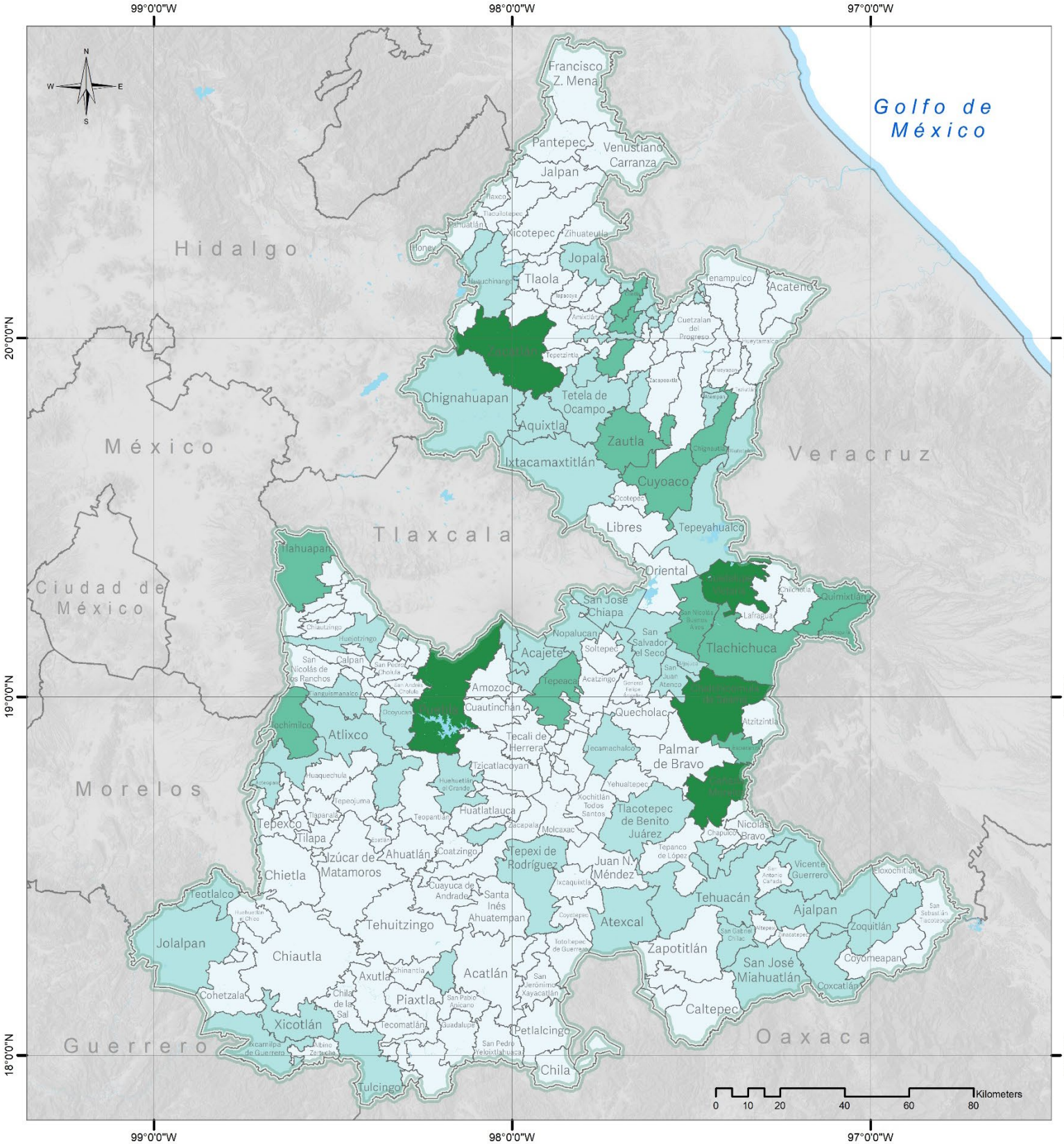
- Alta
- Media
- Baja



M068.Vulnerabilidad de la agricultura por estrés hídrico

Fuente: Elaboración Propia
Mapa Base: Marco Geoestadistico diciembre 2021, Estado de Puebla, INEGI.

Coordinate System: MEXICO ITRF 2008 LCC
Projection: Lambert Conformal Conic 2SP
Datum: ITRF 2008



Simbología

- Límite municipal
- Cuerpos de agua
- Límite del Estado de Puebla
- Límite estatal

Capacidad adaptativa

0.00 - 0.14	0.15 - 0.27	0.28 - 0.41	0.42 - 0.54



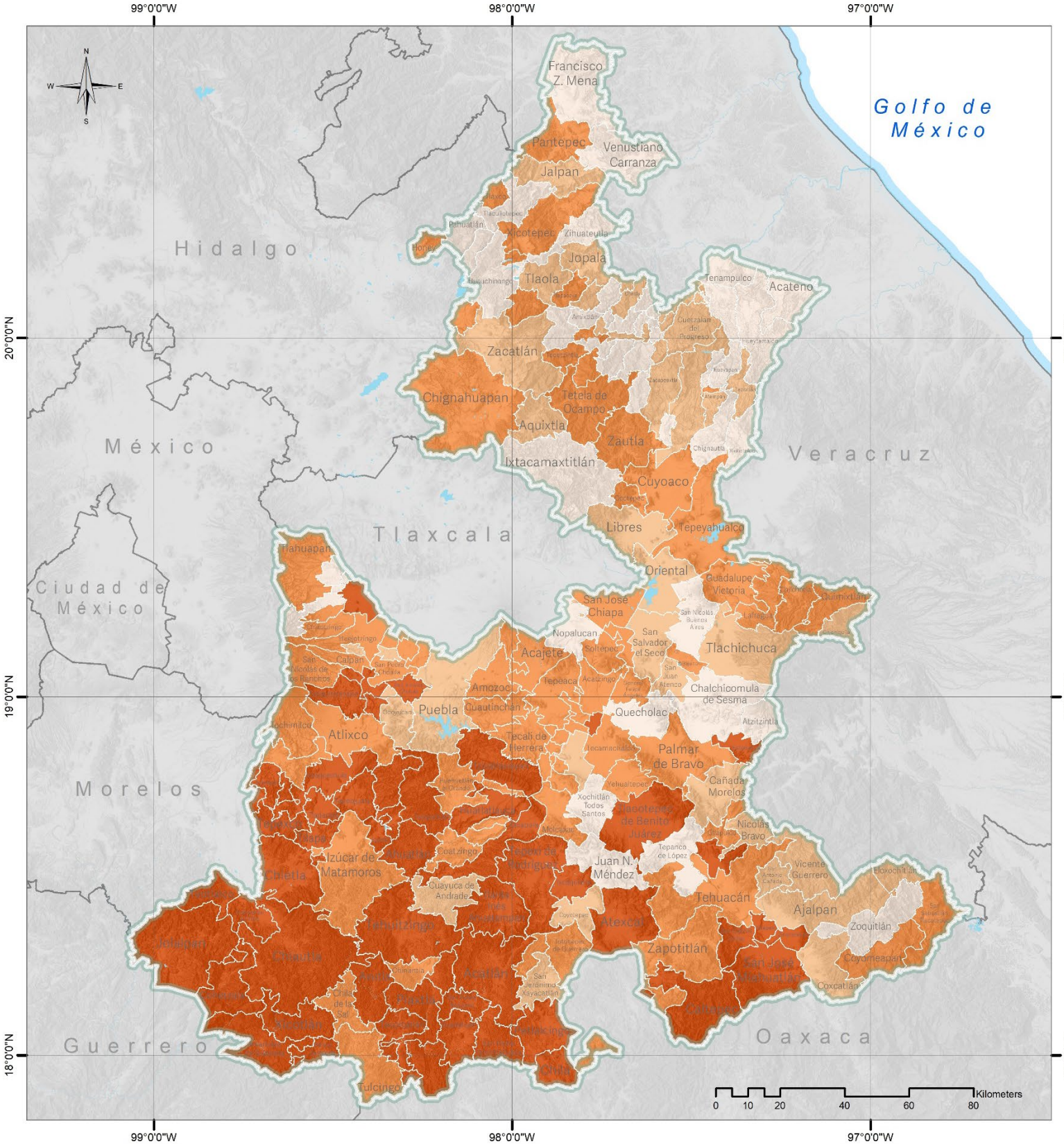
M069. Vulnerabilidad de la agricultura por estrés hídrico. Capacidad adaptativa

Fuente: Elaboración Propia
Mapa Base: Marco Geoestadistico diciembre 2021, Estado de Puebla, INEGI.

Coordinate System: MEXICO ITRF 2008 LCC
Projection: Lambert Conformal Conic 2SP
Datum: ITRF 2008

PUEBLA Un gobierno presente | Secretaría de Medio Ambiente, Desarrollo Sustentable y Ordenamiento Territorial | MEDIO AMBIENTE | INECC | CAME

PROGRAMA DE GESTIÓN DE CALIDAD DEL AIRE Y DE ACCIÓN ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO 2021-2030



Simbología

- Límite municipal
- Cuerpos de agua
- Límite del Estado de Puebla
- Límite estatal

Exposición actual

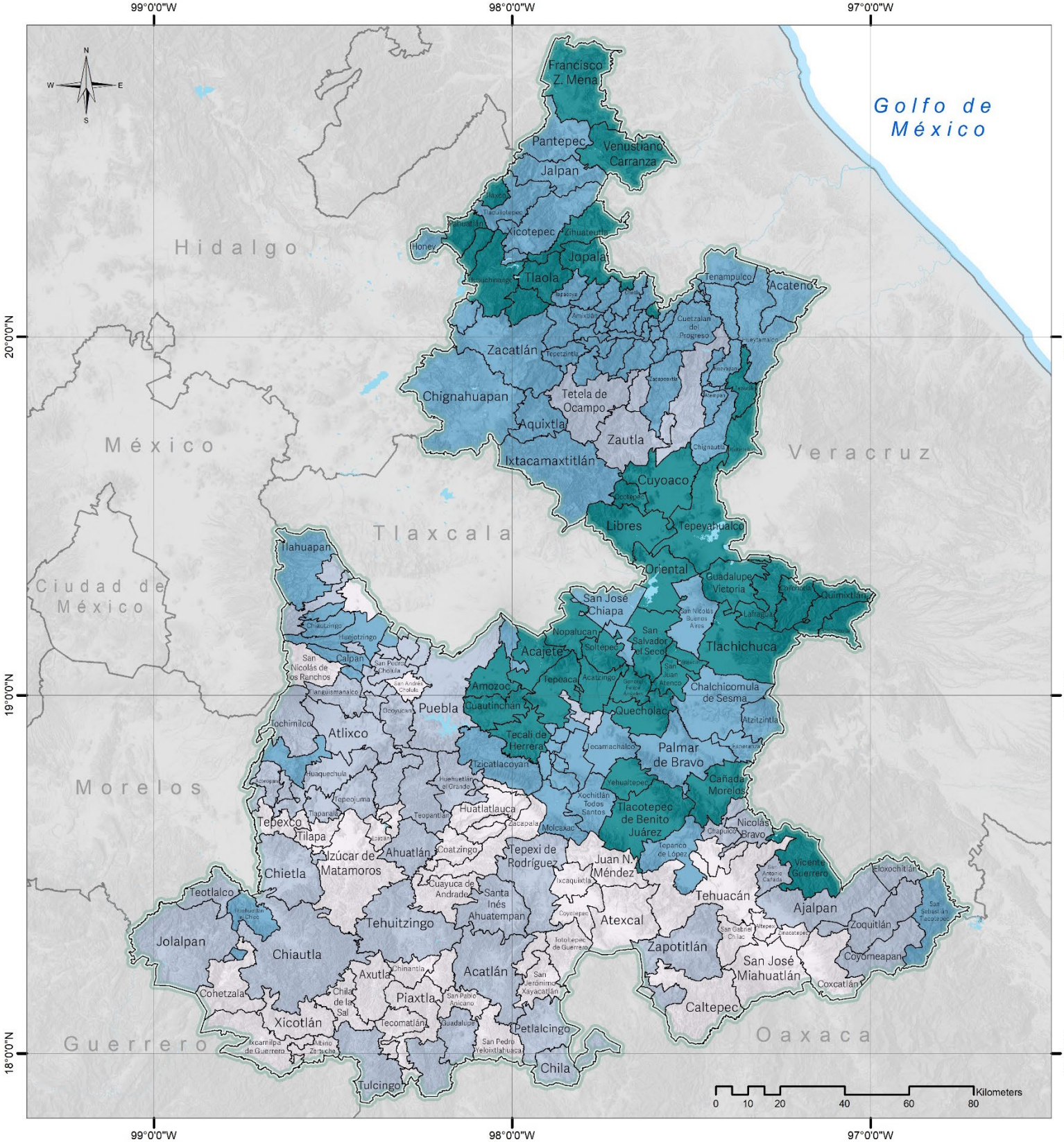
0.19 - 0.43
0.44 - 0.61
0.62 - 0.76
0.77 - 0.93



M070. Vulnerabilidad de la agricultura por estrés hídrico. Exposición Actual

Fuente: Elaboración Propia
Mapa Base: Marco Geoestadistico diciembre 2021, Estado de Puebla, INEGI.

Coordinate System: MEXICO ITRF 2008 LCC
Projection: Lambert Conformal Conic 2SP
Datum: ITRF 2008



Simbología

- Límite municipal
- Cuerpos de agua
- Límite del Estado de Puebla
- Límite estatal

Sensibilidad

0.13 - 0.34
0.35 - 0.44
0.45 - 0.54
0.55 - 0.74



M071. Vulnerabilidad de la agricultura por estrés hídrico. Sensibilidad

Fuente: Elaboración Propia
Mapa Base: Marco Geoestadistico diciembre 2021, Estado de Puebla, INEGI.

Coordinate System: MEXICO ITRF 2008 LCC
Projection: Lambert Conformal Conic 2SP
Datum: ITRF 2008

En general las medidas para disminuir la vulnerabilidad de estos municipios van encaminadas a la disminución de la sensibilidad y al aumento de la capacidad adaptativa. Para disminuir la sensibilidad a la problemática del estrés hídrico en la agricultura se deben de implementar medidas para:

- Incrementar la resistencia de la vegetación natural al estrés hídrico, por medio de la restauración.
- Disminuir la erosión de suelos
- Promover condiciones de producción más resistentes como el uso de cultivos perennes.
- Mejorar la condición de los acuíferos.

Para aumentar la capacidad adaptativa:

- Promover la generación de instrumentos de gestión de riesgos. Muchos de estos municipios no cuentan con un Atlas Municipal de Riesgos.
- Promover áreas de conservación de la vegetación (ej. Áreas Naturales Protegidas, Pago por servicios ambientales)
- Promover la organización de los productores para que reciban asistencia técnica para mejorar la manera en que hacen uso del suelo y prácticas agrícolas y mejorar su acceso a programas como el de fomento agrícola.
- Acceso a seguros contra eventos climáticos.

Estas medidas son buenas prácticas para los municipios en general, pero se debe brindar atención prioritaria a los municipios más vulnerables a esta problemática ya que se puede presentar un aumento en la exposición proyectado con los escenarios de cambio climático empeorando la situación actual de producción agrícola del estado.

Metodología de la vulnerabilidad de la agricultura por estrés hídrico

Exposición

Para la variable de exposición se utilizaron dos índices para representar el estrés hídrico, uno es la condición de aridez calculado con el índice de Lang y el índice de estacionalidad de la lluvia.

Índice de Lang

Richard Lang estableció en 1915 una clasificación basada en el volumen de la precipitación anual (acumulada) y la temperatura promedio. Este índice se utiliza ampliamente como una medida del grado de aridez de una región (Sánchez y Garduño, 2008).

El índice de Lang (*IL*) se basa en el factor de la razón entre la precipitación y la temperatura, de los cuales se proponen seis clasificaciones.

La ventaja del índice de Lang es que define clases más bajas de aridez, tal es el caso de la clasificación de "desértico" seguida de la clasificación de "árido", mientras que en otros índices la clasificación más extrema es la de "árido" (como el de Martonne, Thornthwaite y Emberger). El índice de Lang detalla de mejor manera la clasificación de aridez y por tanto no subestima los valores (Neira, 2006).

Índice de estacionalidad

La precipitación tiene un patrón de estacionalidad, se puede dividir entre meses secos y meses húmedos; en México, la temporada de lluvias, en promedio, se registra de mayo a octubre (Méndez et al., 2008).

Para representar la estacionalidad se utilizó el índice de estacionalidad de Walsh y Lawler (1981), el cual es la suma del valor absoluto de las diferencias entre la lluvia mensual de cada mes y la lluvia media mensual del año, dividida por la precipitación anual del año.

Sensibilidad

Para la variable de sensibilidad se utilizaron cinco criterios resistencia de la vegetación, suelos, relevancia agrícola, condiciones de la producción agrícola y condición de los acuíferos.

Resistencia de la Vegetación

El estrés hídrico puede propiciar condiciones adversas para muchas especies vegetales. Las plantas y organismos en general, que habitan en zonas con escasas precipitaciones, han desarrollado una serie de características anatómicas, estructurales, bioquímica y fisiológicas que les permiten mantener un balance adecuado de agua y energía térmica. La eliminación o pérdida de la capa de vegetación incrementa el riesgo de erosión y degradación del suelo. Los usos predominantes del suelo en las tierras áridas y con presencia de estrés hídrico son el pastoreo y la producción de alimentos de subsistencia (FAO, 2007; Granados-Sánchez et al., 1998). Para el cálculo de este criterio se utilizó la **vegetación con degradación** y presencia de **vegetación primaria**.

Condición de producción

Para el cálculo de este criterio se utilizaron los datos del SIAP para obtener la información sobre el tipo de cultivos (perenne o no perenne) y el área de superficie sembrada. Así como la información del tipo de modalidad en que lo cultivan (Temporal o Riego) y se calcularon las proporciones por municipio.
Suelos

El suelo es un recurso natural considerado como no renovable, al ser difícil de recuperar una vez erosionado (Cardoza *et al.*, 2006). El suelo es el soporte de la vegetación, la infraestructura, el hábitat de la biodiversidad, regulador del ciclo hidrológico, es la base productiva de la agricultura, la producción forestal y la ganadería (Calle y Muygueitio, 2015). Se utilizó el porcentaje municipal de **erosión** con algún tipo de erosión, se consideraron los polígonos de erosión eólica e hídrica. Para la variable de **capacidad de almacenamiento de agua** se extrajo la información de la carta edafológica la textura de suelo y se asoció al potencial de retención, según las siguientes características:

TABLA 70. POTENCIAL DE RETENCIÓN DE AGUA

TEXTURA	TIPO DE SUELO	RETENCIÓN DE AGUA
Fina	Arcilloso	Alta
Media	Limoso	Media
Gruesa	Arenoso	Baja

Fuente: Elaboración propia

Se calculó el porcentaje de potencial de retención municipal y se ponderó el de mayor superficie. Se asignaron las clases de la columna retención de agua, alta, media y baja.

Relevancia Agrícola

Para este criterio se calculó de **importancia territorial agrícola** se utilizaron los datos del Censo Agrícola, Ganadero y Forestal, para obtener los datos de unidades de producción agrícola y las hectáreas que laboran. Además de los datos del SIAP para obtener el dato de Valor de producción entre el volumen de producción. Para la **presión familiar sobre la tierra** se utilizaron los datos del Censo Agrícola, Ganadero y Forestal, para obtener el número de dependientes de los productores agrícolas. Esto para tener un criterio que refleje la presión sobre el uso de la tierra que puede agravarse con un estresor como el déficit de agua.

Condición de acuíferos

Se unió la capa de disponibilidad de agua en acuíferos con los municipios de Puebla, se asignó valor 1 a los municipios con acuíferos sin disponibilidad. En temporadas de sequía puede incrementarse el uso de agua proveniente del subsuelo.

Capacidad Adaptativa

Para la construcción de la capacidad adaptativa se utilizaron cuatro criterios: instrumentos de gestión de riesgo; protección y restauración de ecosistemas para prevenir sequías; organización y fomento agrícola; y seguros.

Instrumentos para la gestión de riesgos

Para este criterio se utilizaron tres insumos. Los **atlas de riesgo municipal** los cuales son una herramienta que apoya a la gestión del riesgo, al mostrar las zonas susceptibles a sequías en el municipio y la afectación de la población.
Los **programas de atención a desastres** son una componente del Programa de Apoyos a Pequeños Productores. Este componente mejorará la capacidad adaptativa de los productores ante desastres naturales agropecuarios, mediante apoyos y fomento de la cultura del aseguramiento. Son objeto de atención del componente Fenómenos Hidrometeorológicos: sequía, helada, granizada, nevada, lluvia torrencial, inundación significativa, tornado, ciclón; y fenómenos geológicos. Asimismo, considera cualquier otra condición climatológica atípica e impredecible que provoquen afectaciones en la actividad agrícola, pecuaria, pesquera o acuícola (SAGARPA, 2018).

Protección y restauración de ecosistemas para prevenir sequías

Para este criterio se utilizaron los siguientes insumos; **Superficie del municipio con pago por Servicios Ambientales (relativo)**, se calculó la superficie del municipio bajo el esquema de Pago por Servicios Ambientales (PSA); **Superficie del municipio con vegetación natural en Áreas Naturales Protegidas (relativo)**; y **el manejo de las tierras y recursos naturales**, se tomó en cuenta si el municipio contaba con apoyo de la Secretaria de Medio Ambiente y Ordenamiento Territorial de Puebla por medio del programa Obras de Infraestructura Productiva para el Aprovechamiento Sustentable de Suelo y Agua. Los programas de conservación son importantes para el cuidado y protección de las áreas cuyas características no han sido modificadas esencialmente, y que contribuyen al equilibrio y continuidad de los procesos ecológicos. Entre los instrumentos de conservación se encuentran las Áreas Naturales Protegidas (ANP) y los programas de Pagos por Servicios Ambientales (PSA) (OEA, 2008).

Organización y fomento a la productividad agrícola

En cualquier circunstancia la organización es fundamental para aspirar a mejores condiciones de producción, transferencia tecnológica, comercialización, aplicaciones de los programas de fomento del gobierno, campañas sanitarias, integración vertical y horizontal (FAO, s/f). Para el cálculo de este se utilizaron los datos de; **Porcentaje de cobertura de los programas de fomento agrícola,** se obtuvieron los datos a nivel municipal de los beneficiarios del programa llamado productores que reciben programa sembrando bienestar; **Porcentaje de cobertura del programa de fertilizantes**, se obtuvo el porcentaje de acuerdo al número total reportado y los datos de la Secretaria de Agricultura y Desarrollo Rural; **Programa de Bienestar (sembrando vida),** Se obtuvieron por municipio el número de beneficiarios y de hizo el porcentaje de acuerdo al número total reportado y los datos de la Secretaria de Bienestar; **Organización de productores** el dato se obtuvo del Censo Agrícola, Ganadero y Forestal, y se obtuvieron los datos de las organizaciones que recibieron alguna capacitación.

Seguro, Se obtuvieron los datos a nivel municipal que habían sido apoyados por el seguro catastrófico de la Secretaría de Desarrollo Rural de Puebla.

Árbol jerárquico para la construcción del índice de vulnerabilidad de la agricultura por inundaciones

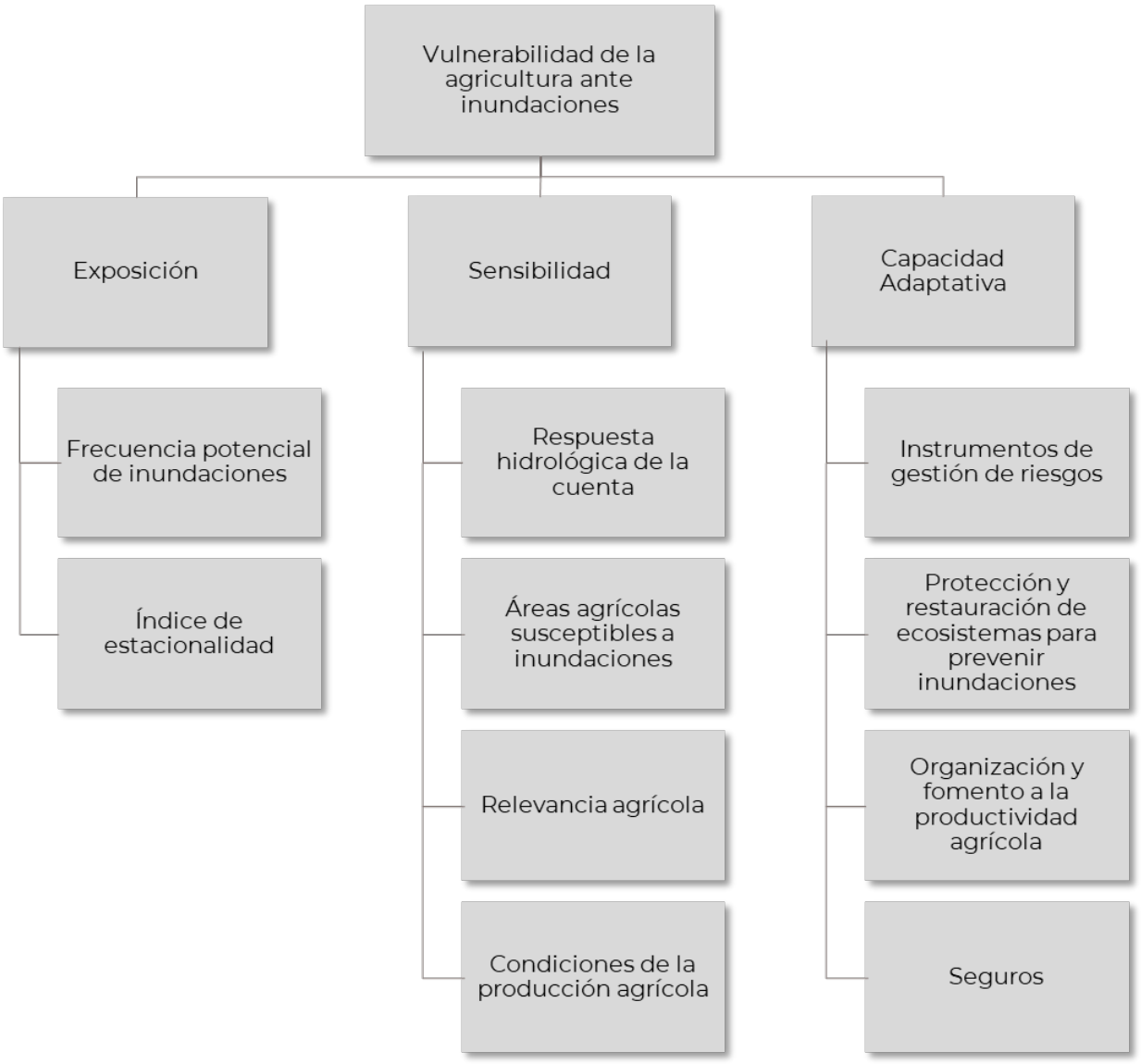


FIGURA 132. ÁRBOL JERÁRQUICO DE LA CONSTRUCCIÓN DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD DE LA AGRICULTURA ANTE INUNDACIONES.

Fuente: Elaboración propia

Resultados de la vulnerabilidad de la agricultura ante inundaciones

El análisis de vulnerabilidad de la agricultura ante inundaciones arroja que 41 municipios de Puebla, de los 217, presentan vulnerabilidad alta: 3 en la región de Angelópolis, 25 en la región Mixteca, 3 en la Sierra Negra, 1 en la Sierra Norte, 7 en el Valle de Atlixco y 2 en el Valle de Serdán (Mapas 112-115).

PUEBLA Un gobierno presente

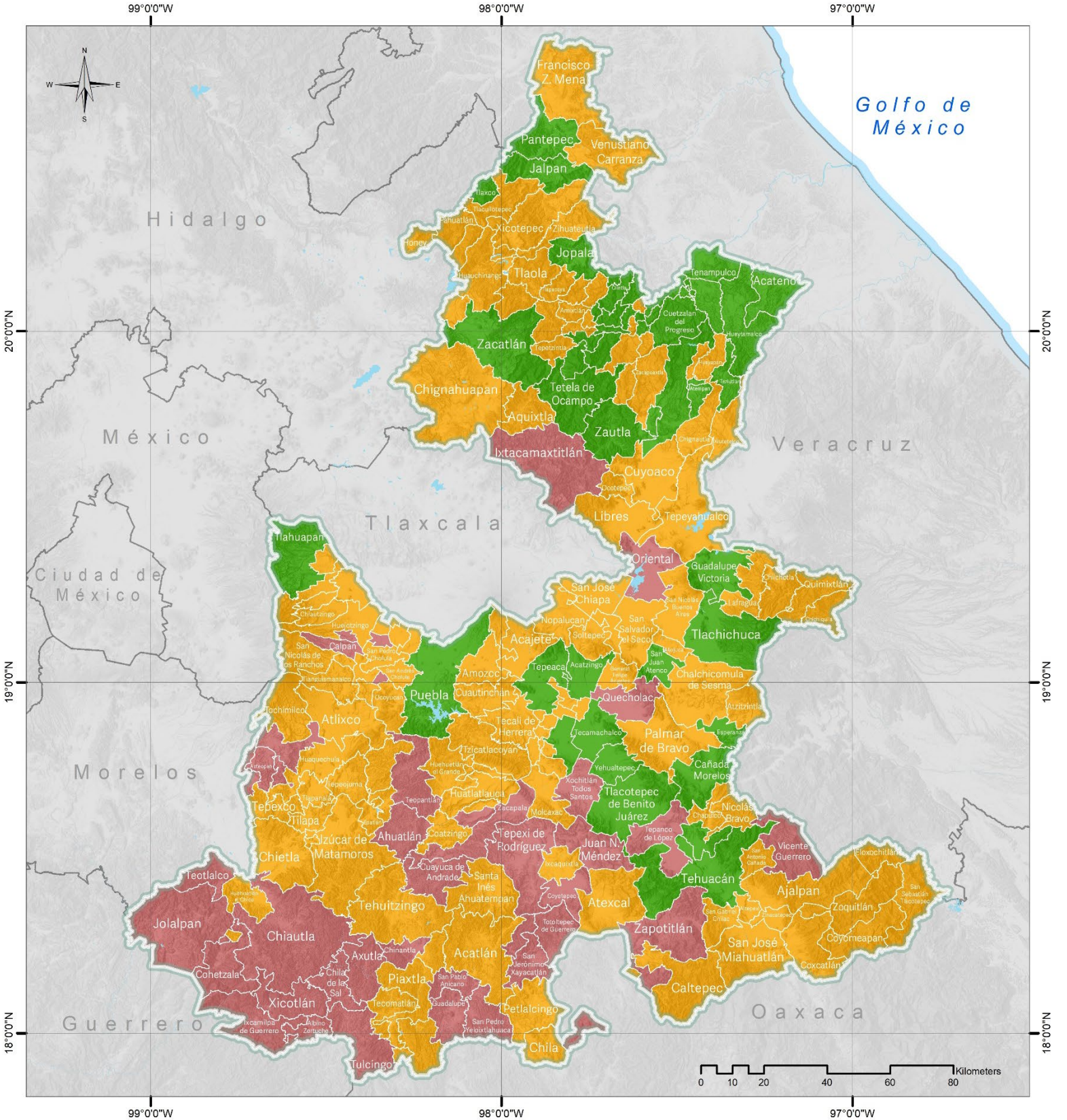
Secretaría de Medio Ambiente, Desarrollo Sustentable y Ordenamiento Territorial

MEDIO AMBIENTE

INECC

COMISIÓN AMBIENTAL DE LA MEGALÓPOLIS

PROGRAMA DE GESTIÓN DE CALIDAD DEL AIRE Y DE ACCIÓN ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO 2021-2030



Simbología

- Límite municipal
- Cuerpos de agua
- Límite del Estado de Puebla
- Límite estatal

Vulnerabilidad por Inundación

Clasificación

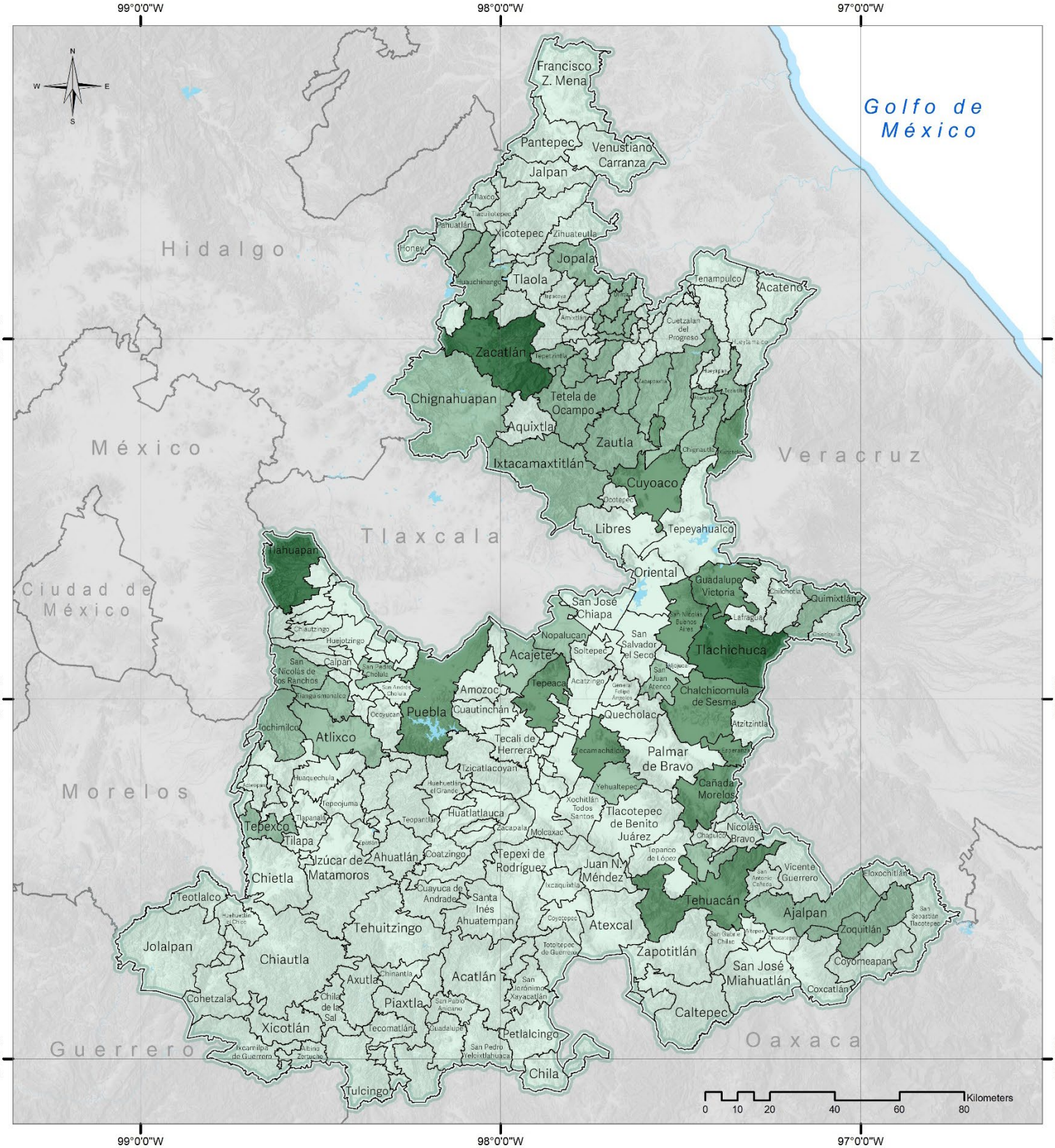
- Alta
- Media
- Baja



M112.Vulnerabilidad por Inundaciones

Fuente: Elaboración Propia
Mapa Base: Marco Geoestadistico diciembre 2021, Estado de Puebla, INEGI.

Coordinate System: MEXICO ITRF 2008 LCC
Projection: Lambert Conformal Conic 2SP
Datum: ITRF 2008



Simbología

- Límite municipal
- Límite del Estado de Puebla
- Cuerpos de agua
- Límite estatal

Capacidad adaptativa

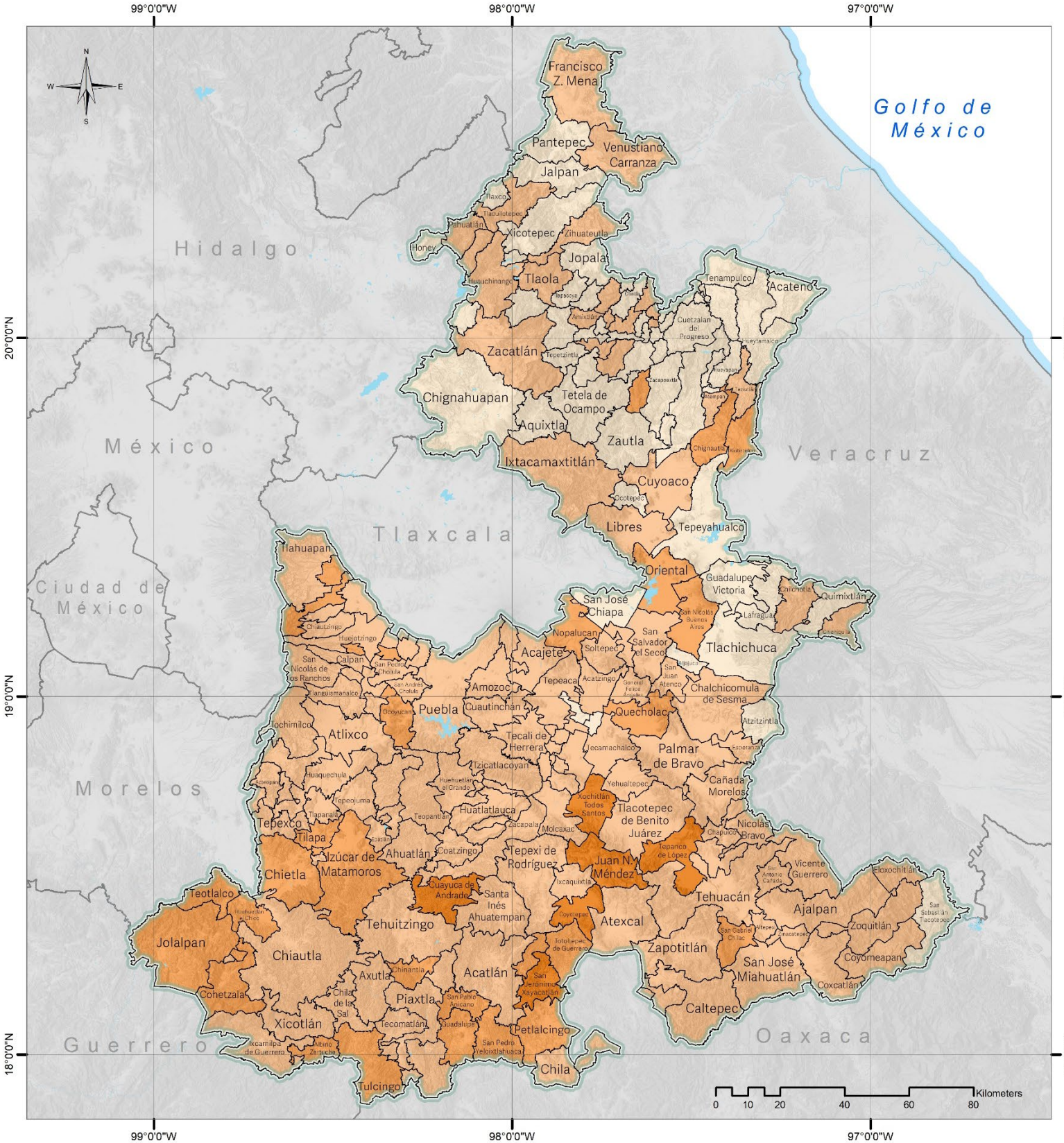
0.000 - 0.151	0.152 - 0.302	0.303 - 0.453	0.454 - 0.604



M113.Vulnerabilidad por Inundaciones. Capacidad Adaptativa

Fuente: Elaboración Propia
Mapa Base: Marco Geoestadistico diciembre 2021, Estado de Puebla, INEGI.

Coordinate System: MEXICO ITRF 2008 LCC
Projection: Lambert Conformal Conic 2SP
Datum: ITRF 2008



Simbología

- Límite municipal
- Límite del Estado de Puebla
- Cuerpos de agua
- Límite estatal

Exposición

0.164 - 0.335	0.336 - 0.506	0.507 - 0.677	0.678 - 0.848



M114.Vulnerabilidad por Inundaciones. Exposición

Fuente: Elaboración Propia
Mapa Base: Marco Geoestadistico diciembre 2021, Estado de Puebla, INEGI.

Coordinate System: MEXICO ITRF 2008 LCC
Projection: Lambert Conformal Conic 2SP
Datum: ITRF 2008

PUEBLA Un gobierno presente

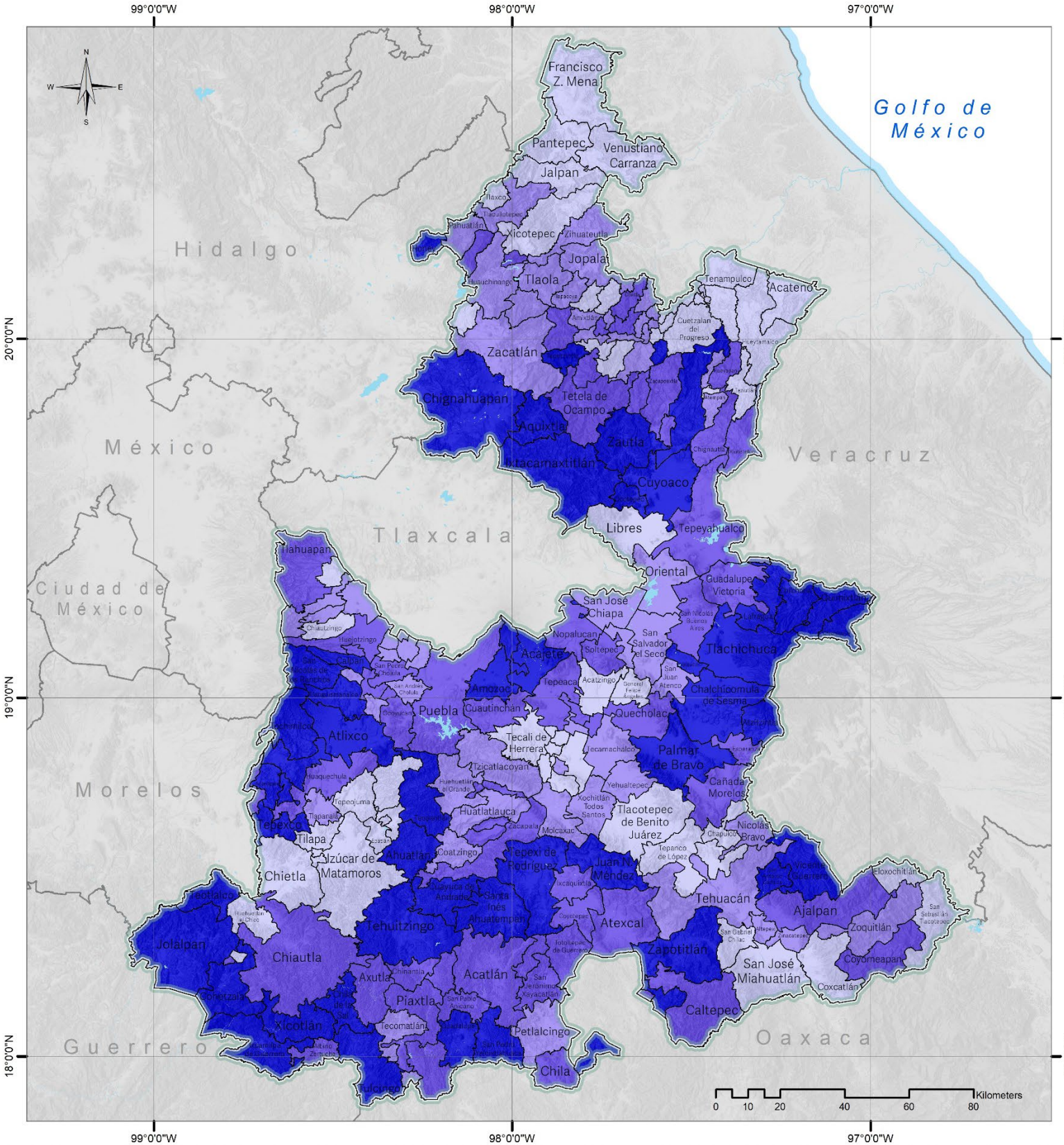
Secretaría de Medio Ambiente, Desarrollo Sustentable y Ordenamiento Territorial

MEDIO AMBIENTE

INECC INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA Y CAMBIO CLIMÁTICO

COMISIÓN AMBIENTAL DE LA MEGALÓPOLIS

PROGRAMA DE GESTIÓN DE CALIDAD DEL AIRE Y DE ACCIÓN ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO 2021-2030



Simbología

Límite municipal

Cuerpos de agua

Límite del Estado de Puebla

Límite estatal

Sensibilidad

0.195 - 0.359

0.360 - 0.444

0.445 - 0.545

0.546 - 0.695



M115.Vulnerabilidad por Inundaciones. Sensibilidad

Fuente: Elaboración Propia
Mapa Base: Marco Geoestadistico diciembre 2021, Estado de Puebla, INEGI.

Coordinate System: MEXICO ITRF 2008 LCC
Projection: Lambert Conformal Conic 2SP
Datum: ITRF 2008

En general las medidas para disminuir la vulnerabilidad de estos municipios van encaminadas a la disminución de la sensibilidad y al aumento de la capacidad adaptativa. Para disminuir la sensibilidad a la problemática de inundaciones en la agricultura se deben de implementar medidas que:

- Incrementar la cobertura de vegetación en las cuencas. En especial en las zonas altas y restauración de la vegetación riparia.
- Disminuir la erosión de suelos
- Promover condiciones de producción más resistentes como el uso de cultivos perennes.
- Mejorar infraestructura hidráulica
- Rehabilitar y operar adecuadamente las plantas de tratamiento de aguas

Para aumentar la capacidad adaptativa:

- Promover la generación de instrumentos de gestión de riesgos. Muchos de estos municipios no cuentan con un Atlas Municipal de Riesgos.
- Promover áreas de conservación de la vegetación (ej. Áreas Naturales Protegidas, Pago por servicios ambientales)
- Promover la organización de los productores para que reciban asistencia técnica para mejorar la manera en que hacen uso del suelo y prácticas agrícolas y mejorar su acceso a programas como el de fomento agrícola.
- Acceso a seguros contra eventos climáticos.

Estas medidas son buenas prácticas para los municipios en general, pero se debe de dar atención prioritaria los municipios más vulnerables a esta problemática ya que en se puede presentar un aumento en la exposición proyectado con los escenarios de cambio climático empeorando la situación actual de producción agrícola del estado.

Metodología de la vulnerabilidad de la agricultura ante inundaciones

Exposición

Se usaron dos criterios para la construcción de la exposición actual y futura con escenarios de cambio climático la frecuencia potencial de inundaciones y el índice de estacionalidad de la lluvia. Para los datos actuales se utilizaron los datos de clima histórico (1979-2000) de WorldClim versión 2.1; se descargaron los datos de resolución espacial de 30 segundos (1km^2).

Para los cálculos a futuro se utilizaron los escenarios de cambio climático seleccionados: HadGEM3 ssp245 (2021-2040), HadGEM3 ssp245 (2081-2100), HadGEM3 ssp585 (2021-2040), HadGEM3 ssp585 (2081-2100), MPI-ESM1.2 ssp245 (2021-2040), MPI-ESM1.2 ssp245 (2081-2100), MPI-ESM1.2 ssp585 (2021-2040), MPI-ESM1.2 ssp585 (2081-2100).

Frecuencia potencial de inundaciones

Se utilizó el **Umbral municipal de inundaciones** elaborado por el CENAPRED, en conjunto con la CONAGUA, los determinaron umbrales de precipitación puntuales con duración de 12 horas y periodo de retorno de 5 años a escala municipal y el valor de **precipitación de lluvia acumulada**, para la construcción de este criterio.

Índice de estacionalidad

La precipitación tiene un patrón de estacionalidad, se puede dividir entre meses secos y meses húmedos; en México, la temporada de lluvias, en promedio, se registra de mayo a octubre (Méndez et al., 2008). Para representar la estacionalidad se utilizó el índice de estacionalidad de Walsh y Lawler (1981), el cual es la suma del valor absoluto de las diferencias entre la lluvia mensual de cada mes y la lluvia media mensual del año, dividida por la precipitación anual del año.

Sensibilidad

La sensibilidad se construyó usando cuatro criterios la respuesta hidrológica de la cuenca, Áreas agrícolas susceptibles a inundaciones, relevancia agrícola y condiciones de producción.

Respuesta hidrológica de la cuenca

Para el cálculo de la respuesta hidrológica de la cuenca se utilizaron dos indicadores, el **índice de compacidad de la cuenca** y el **porcentaje de vegetación natural de las cuencas con influencia en las zonas agrícolas del municipio.** El conocer el comportamiento hidrológico de las cuencas permite estimar la respuesta ante eventos extremos y evitar el riesgo por fuertes crecidas (Álvarez et al., 2001).

Áreas agrícolas susceptibles a inundaciones

Se usó el cálculo del **Total del área agrícola en zonas inundables**, y el **porcentaje del área agrícola en zonas inundables**. Con estos datos se puede determinar cuáles son los municipios con mayor susceptibilidad a tener pérdidas en zonas agrícolas por eventos de inundación.

Relevancia Agrícola

Para este criterio se calculó de **importancia territorial agrícola** se utilizaron los datos de la Censo Agrícola, Ganadero y Forestal, para obtener los datos de unidades de producción agrícola y las hectáreas que laboran. Además de los datos del SIAP para obtener el dato de Valor de producción entre el volumen de producción. Para la **presión familiar sobre la tierra** se utilizaron los datos

del Censo Agrícola, Ganadero y Forestal, para obtener el número de dependientes de los productores agrícolas. Este criterio permite conocer la importancia y presión que existe sobre las tierras de uso agrícola en el municipio.

Condición de producción

Para el cálculo de este índice se utilizaron los datos del SIAP para obtener la información sobre el tipo de cultivos (perenne o no perenne) y el área de superficie sembrada. Los cultivos perennes tienden a ser más resistentes a las inundaciones y sequías (Blom et al., 1990).

Capacidad Adaptativa

Para la construcción de la capacidad adaptativa se utilizaron cuatro criterios instrumentos de gestión de riesgo, protección y restauración de ecosistemas para prevenir inundaciones, organización y fomento agrícola, y seguros.
Instrumentos para la gestión de riesgos.

Los **atlas de riesgo municipal** son una herramienta que apoya a la gestión del riesgo, al mostrar las zonas susceptibles a inundaciones en el municipio y la afectación de la población.

Los **Planes de contingencia contra riesgos hidrometeorológicos** son instrumentos de planeación del que disponen las autoridades municipales de Protección Civil para dar una respuesta oportuna, adecuada y coordinada a las situaciones de emergencia causadas por fenómenos destructivos de origen natural (INAFED, s/f).

Los **programas de atención a desastres** son una componente del Programa de Apoyos a Pequeños Productores. Este componente mejorará la capacidad adaptativa de los productores ante desastres naturales agropecuarios, mediante apoyos y fomento de la cultura del aseguramiento. Son objeto de atención del componente Fenómenos Hidrometeorológicos: sequía, helada, granizada, nevada, lluvia torrencial, inundación significativa, tornado, ciclón; y fenómenos geológicos. Asimismo, considera cualquier otra condición climatológica atípica e impredecible que provoquen afectaciones en la actividad agrícola, pecuaria, pesquera o acuícola (SAGARPA, 2018).

Protección y restauración de ecosistemas para prevenir inundaciones

Para la **superficie del municipio con pago por Servicios Ambientales (relativo)**, se calculó la superficie del municipio bajo el esquema de Pago por Servicios Ambientales (PSA), posteriormente se calculó el porcentaje respecto a la superficie total del municipio.

Para la **superficie del municipio con vegetación natural en Áreas Naturales Protegidas (relativo)**, se calculó la superficie del municipio con alguna categoría de vegetación natural (primario o secundaria) en Áreas Naturales Protegidas (ANP), posteriormente se calculó el porcentaje respecto a la superficie total del municipio.

Para **el manejo de las tierras y recursos naturales**, se tomó en cuenta si el municipio contaba con apoyo de la Secretaría de Medio Ambiente y Ordenamiento Territorial de Puebla por medio del programa Obras de Infraestructura Productiva para el Aprovechamiento Sustentable de Suelo y Agua.

Organización y fomento a la productividad agrícola

Porcentaje de cobertura de los programas de fomento agrícola, se obtuvieron los datos a nivel municipal de los beneficiarios del programa llamado productores que reciben programa sembrando bienestar.

Porcentaje de cobertura del programa de fertilizantes, se obtuvo el porcentaje de acuerdo con el número total reportado y los datos del Censo Agrícola, ganadero y forestal de INEGI.

Programa de Bienestar (sembrando vida), Se obtuvieron por municipio el número de beneficiarios y de hizo el porcentaje de acuerdo con el número total reportado y los datos del Censo Agrícola, ganadero y forestal de INEGI.

Organización de productores el dato se obtuvo del Censo Agrícola, Ganadero y Forestal, y se obtuvieron los datos de las organizaciones que recibieron alguna capacitación.

Seguro

Se obtuvieron los datos a nivel municipal que habían sido apoyados por el seguro catastrófico de la Secretaría de Desarrollo Rural de Puebla.

5.3.4. Vulnerabilidad sector hídrico ante el cambio climático

El estado de Puebla cuenta con importantes recursos hídricos que requieren ser gestionados con una visión integral y de paisaje, por la biodiversidad que albergan y por la importancia económica y social que tienen para el desarrollo de actividades productivas y culturales. Considerando los cambios observados en las condiciones climáticas a nivel mundial, la gestión del agua hoy en día debe considerar, además, los posibles impactos que el cambio climático tendrá sobre ellos (ONU-Agua, 2022).

Entre los impactos negativos observados del cambio climático en los ecosistemas de agua dulce está la alteración del régimen natural de caudales y la calidad del agua, el origen de los riesgos se encuentra en el aumento de las temperaturas, y la potencial concentración de contaminantes durante los periodos de sequía, así como el aumento de las cargas de sedimentos, nutrientes y contaminantes debido a las fuertes lluvias (ONU-Agua, 2019).

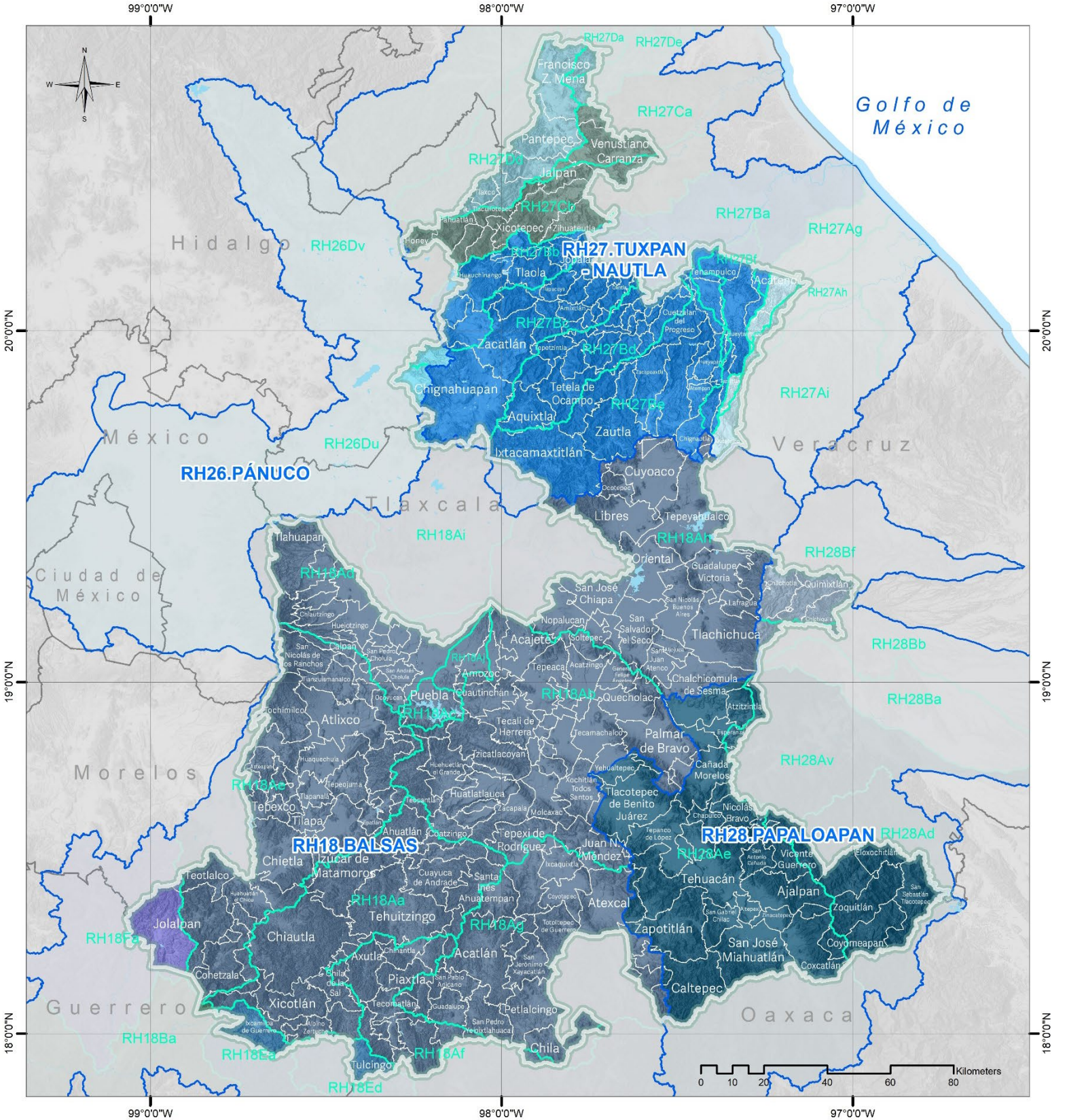
Por otro lado, los acuíferos se recargan naturalmente con agua de lluvia, agua proveniente de nieve derretida o de agua que se infiltra desde el fondo de lagos, ríos, y otros cuerpos de agua superficial. Sin embargo, los acuíferos no responden a la misma velocidad que lo hacen las corrientes o cuerpos de agua superficiales ante los impactos directos del cambio climático, por lo que pueden ser menos vulnerables que las aguas superficiales, siempre y cuando no presenten ya condiciones de estrés hídrico (IPCC, 2022).

Las aguas superficiales del estado de Puebla están distribuidas en tres regiones hidrológicas: RH18 Balsas, RH27 Norte de Veracruz (Tuxpan-Nautla) y RH28 Papaloapan (CONAGUA, 2021) (Mapa 005). La región hidrológica Balsas (RH18) cubre 59.12% de la superficie estatal (SMADSOT, 2021). De acuerdo con datos de la CONAGUA, para el año 2020 se registraron 11,669 hm3/año de agua renovable[26], que dividida entre los 6.58 millones de habitantes del Estado, representa 1,772 m3/hab/año de agua renovable per cápita (CONAGUA, 2021a).

Para clasificar el grado de presión sobre los recursos hídricos, la CONAGUA define cinco categorías que van de “Sin estrés” (donde el agua extraída no rebasa el 10% del líquido renovable disponible) a “Muy alto” (cuando la extracción es mayor al 100% de la disponibilidad natural). El estado de Puebla tiene un grado de presión “Alto” en la región hidrológica Balsas, lo que significa que la extracción es mayor al 40% de la disponibilidad natural. La capital del Estado, Heroica Puebla de Zaragoza, y su zona conurbada se localizan dentro de esta región. Por otro lado, las regiones hidrológicas Norte de Veracruz (Tuxpan-Nautla) y Papaloapan están clasificadas “Sin estrés” (CONAGUA, 2021b) (Mapa 05).

Además de las corrientes superficiales, el estado de Puebla tiene circunscritos territorialmente seis acuíferos, cinco pertenecientes a la región Balsas y uno a la región del Golfo Centro. Adicionalmente, existen otros acuíferos que tienen parte de su superficie dentro de los límites político-administrativos del estado de Puebla, o son intersectados espacialmente en pequeños segmentos, sin embargo, están asignados a otra circunscripción territorial (DOF 17/09/2020). El acuífero Valle de Tecamachalco, en la región Balsas, tiene una disponibilidad media anual negativa (déficit) de -63.23115 hm^3, lo que hace que esté catalogado como “Sin disponibilidad”.

[26] Cantidad de agua máxima que es factible explotar anualmente en una región (CONAGUA, 2021a)



Simbología

- Cuerpos de agua
- Límite del Estado de Puebla
- Región Hidrológica
- Límite estatal
- Subcuencas
- Límite municipal

Cuencas

Clave, Nombre

- A, R. ATOYAC
- A, R. NAUTLA Y OTROS
- A, R. PAPALOAPAN
- B, R. BALSAS - MEZCALA
- B, R. JAMAPA Y OTROS
- B, R. TECOLUTLA
- C, R. CAZONES
- D, R. MOCTEZUMA
- D, R. TUXPAN
- E, R. TLAPANECO
- F, R. GRANDE DE AMACUZAC



M005. Regiones Hidrológicas

Fuente: Elaboración Propia con información del INEGI, Continuo de subcuencas del territorio Mexicano, basado en las cartas de la Red Hidrológica escala 1:50000

Coordinate System: MEXICO ITRF 2008 LCC
Projection: Lambert Conformal Conic 2SP
Datum: ITRF 2008

De la extracción total del acuífero Valle de Tecamachalco, el 90% se destina a la actividad agrícola. En esta zona se encuentran 29 municipios: Acatzingo, Amozoc, Cañada Morelos, Cuapiaxtla de Madero, Cuautinchán, Chapulco, Esperanza, General Felipe Ángeles, Huitziltepec, Mixtla, Molcaxac, Nicolás Bravo, Palmar de Bravo, Quecholac, Los Reyes de Juárez, San Salvador Huixolatla, Santiago Miahuatlán, Santo Tomas Hueyotlipan Tecali de Herrera, Tecamachalco, Tepanco de López, Tepatlaxco de Hidalgo, Tepeaca, Tepeyehualco de Cuautémoc, Tlacotepec de Benito Juárez, Tlanepantla, Tochtepec, Xochitlán Todos Santos y Yehualtepec (CONAGUA 2020a).

El agua se usa de diversas formas en todas las actividades humanas, para su mejor administración y manejo, la CONAGUA clasifica los usos en "consuntivos"[27] y "no consuntivos". Dentro de los usos consuntivos se encuentran el uso agrícola, agroindustrial, doméstico, acuacultura, servicios, industrial, termoeléctricas, pecuario, público urbano, de usos múltiples, comercio, otros. Por otro lado, los rubros no consuntivos son hidroeléctricas y conservación ecológica. A nivel nacional, 60.6% del agua utilizada para uso consuntivo proviene de fuentes superficiales, como ríos, arroyos y lagos, mientras que el 39.4% restante corresponde a fuentes subterráneas (acuíferos) (CONAGUA, 2021). En el estado de Puebla esta situación es similar, datos del Registro Público de Derechos de Agua (REPDA) muestran que en la entidad 84% del agua utilizada proviene de fuentes superficiales, mientras que 16% proviene de agua subterránea (CONAGUA, 2022). A continuación, se presenta el volumen concesionado por uso y origen del agua a nivel estatal (Tabla 71).

TABLA 71. USOS DEL AGUA EN EL ESTADO DE PUEBLA.

USO	VOLUMEN TOTAL CONCESIONADO (m³/año)	VOLUMEN CONCESIONADO AGUA SUBTERRÁNEA (m³/año)	VOLUMEN CONCESIONADO AGUA SUPERFICIAL (m³/año)
Acuacultura	88,602,613.56	77,570.00	88,525,043.56
Agrícola	1,279,894,799.80	605,610,799.54	674,284,000.26
Conservación ecológica	0.00	0.00	0.00
Diferentes usos	40,083,209.86	14,577,283.82	25,505,926.04
Doméstico	517,496.63	47,846.75	469,649.88
Generación de energía eléctrica	5,253,661,887.88	0.00	5,253,661,887.88
Industrial	432,130,268.91	60,454,649.50	371,675,619.41
Otros	0.00	0.00	0.00
Pecuario	6,326,804.52	5,831,734.48	495,070.04
Público urbano	803,908,052.87	601,712,166.80	202,195,886.07
Servicios	37,304,666.40	9,153,148.60	28,151,517.80
Total	**7,942,429,800.43**	**1,297,465,199.49**	**6,644,964,600.94**

Fuente: Elaboración propia con datos de la CONAGUA.

[27] El volumen de agua de una calidad determinada que se consume al llevar a cabo una actividad específica, el cual se determina como la diferencia del volumen de una calidad determinada que se extrae, menos el volumen de una calidad también determinada que se descarga, y que se señalan en el título respectivo (Ley de Aguas Nacionales, Art.3. DOF, 1992 Última reforma publicada 06-01-2020)

Los modelos de predicción y cuantificación de la respuesta de los sistemas hídricos subterráneos ante el impacto del cambio climático enfrentan serias incertidumbres debido a que no existen datos globales consistentes sobre suelos y recursos hídricos subterráneos (IPCC, 2022). No obstante, ante un escenario de disminución en la disponibilidad de agua superficial se ha observado un aumento en la demanda de agua subterránea, lo que puede alterar la capacidad de almacenamiento y la velocidad de recarga de los acuíferos (IPCC, 2022; ONU-Agua, 2022; ONU-Agua, 2019; Martínez et al., 2010).

Otro efecto observado del cambio climático que influye negativamente en la recarga de las aguas subterráneas es la intensificación de las precipitaciones en áreas con instalaciones de saneamiento inadecuadas, las cuales al ser inundadas y no poder gestionar correctamente el exceso de agua, propicia el arrastre de patógenos microbianos y sustancias químicas a la capa freática, a través de los suelos poco profundos (ONU-Agua, 2022).

Métodos

Existen diferentes marcos conceptuales y formas de calcular la vulnerabilidad de diferentes sectores ante el cambio climático. La vulnerabilidad del sector hídrico se evaluó mediante ocho criterios usados para construir los tres componentes de la vulnerabilidad; en la Tabla 72 se indican los componentes, los criterios, así como la contribución de los valores de estos para el cálculo de la vulnerabilidad, p.ej. -:+ indica que, a menor valor del criterio mayor es el aporte.

Como elementos clave del territorio representativos del sector hídrico del estado se seleccionaron los acuíferos intersectados por el polígono que delimita al estado de Puebla.

TABLA 72. CRITERIOS CONSIDERADOS PARA CALCULAR LA VULNERABILIDAD DEL SECTOR HÍDRICO.

COMPONENTE	CRITERIO	CONTRIBUCIÓN
Sensibilidad	% de superficie de los acuíferos identificada como zona de recarga potencial.	-:+
	Dependencia de los municipios del agua subterránea.	+:+
	Disponibilidad media anual negativa de los acuíferos.	-:+
	Crecimiento poblacional por SSP.	+:+
Exposición	Δ precipitación (↓) de acuerdo con 8 proyecciones de CC.	+:+
	Δ temperatura máxima (↑) de acuerdo con 8 proyecciones de CC.	+:+
Capacidad adaptativa	% de agua tratada de los municipios.	+:+
	No. de plantas de tratamiento en operación.	+:+

Fuente: Elaboración propia

Construcción de los criterios

A continuación, se describen de forma sucinta los criterios considerados y la forma en la que fueron construidos.

Uno de los criterios considerados para el cálculo de la sensibilidad son las zonas de recarga potencial del acuífero. Estas se delimitaron mediante la superposición lineal ponderada de siete variables temáticas: 1) textura del suelo, 2) permeabilidad de las rocas, 3) pendiente, 4) densidad de drenaje, 5) precipitación, 6) índice de humedad topográfica y 7) cobertura vegetal. Una vez identificadas, se calculó el porcentaje de la superficie de los acuíferos considerada como zona potencial de recarga.

El criterio de dependencia de agua subterránea tiene una agregación espacial a nivel municipal, y se construyó con datos del Registro Público de Derechos de Agua (REPDA), a partir de los cuales se calculó el porcentaje del volumen total de agua extraído que representa el volumen de extracción de agua subterránea para los municipios del estado.

La disponibilidad media anual negativa tiene una agregación espacial a nivel acuífero, y se construyó con los datos de disponibilidad media anual negativa de agua del subsuelo, extraídos de la capa de Límites de los Acuíferos de la República Mexicana 2021 de la CONAGUA. Mientras mayor es el valor absoluto de disponibilidad negativa de los acuíferos, mayor es su aporte a la sensibilidad.

El criterio de crecimiento poblacional se construyó con información del conjunto de datos de la proyección de la población global basadas en las trayectorias socioeconómicas compartidas, revisión 01 (Gao, 2020), que consta de datos sobre la población global para el año base 2000, y proyecciones a intervalos de diez años para el periodo 2010-2100.

Este criterio está representado por datos en formato raster a una resolución de 1 km. Del conjunto de datos se seleccionaron cuatro proyecciones conformadas por los SSP 2 y 5, y los horizontes temporales cercano (2040) y lejano (2100), correspondientes a las proyecciones de cambio climático consideradas.

Considerando que uno de los criterios está representado por cuatro versiones diferentes, i.e. dos SSP y dos horizontes temporales, se tienen dos tipos de indicadores para el cálculo de la sensibilidad: a) estáticos y b) dinámicos; este último, conformado por las cuatro proyecciones de crecimiento poblacional. Para calcular la sensibilidad, se combinaron las variables estáticas con cada una de las cuatro proyecciones mencionadas para obtener un número igual de versiones de sensibilidad.

El componente de exposición se calculó considerando los criterios: a) disminución de la precipitación anual y b) aumento en la temperatura máxima

anual promedio, de acuerdo con ocho proyecciones de cambio climático, con relación a los observados durante el periodo de referencia (1970-2000). Los valores se obtuvieron a parir del conjunto de datos climáticos WorldClim 2.1 (Fick y Hijmans, 2017) a una resolución de 30 segundos de arco (~1 km).

Los criterios de porcentaje de agua tratada y número de plantas de tratamiento en operación, seleccionados para calcular la capacidad adaptativa, se construyeron a partir del conjunto de datos del Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Demarcaciones Territoriales de la Ciudad de México 2021 del INEGI, los cuales presentan una agregación espacial a nivel municipal.

Los criterios se transformaron a formato raster y en los casos necesarios, se remuestrearon para ajustarlos a una resolución espacial común de 30 m. Los rasters resultantes se normalizaron y se invirtieron para aquellos cuya contribución al componente respectivo es negativa, es decir, el valor del componente aumenta mientras menor es el valor del criterio.

Los tres componentes de la vulnerabilidad se construyeron mediante la agregación aditiva de los criterios que los conforman, sumando los valores normalizados de los criterios individuales para obtener un valor general (Birkmann et al., 2022).

Cálculo de vulnerabilidad

La vulnerabilidad ante al cambio climático de los acuíferos se calculó mediante la fórmula:

Vulnerabilidad = (Exposición + Sensibilidad) - Capacidad adaptativa

Esta aproximación no considera cambios proyectados en los componentes estáticos de la sensibilidad y en la capacidad adaptativa a futuro, los cuales mantienen los valores actuales.

Dado que se obtuvieron cuatro versiones diferentes de sensibilidad y ocho de exposición, los mapas de vulnerabilidad se construyeron combinando estos dos componentes de acuerdo con las trayectorias socioeconómicas compartidas (SSP) y horizontes temporales respectivos (Figura 133).

Los valores continuos obtenidos se clasificaron en tres clases mediante el método de k-medias para obtener tres clases de vulnerabilidad:

1=Baja, 2=Media, 3=Alta.

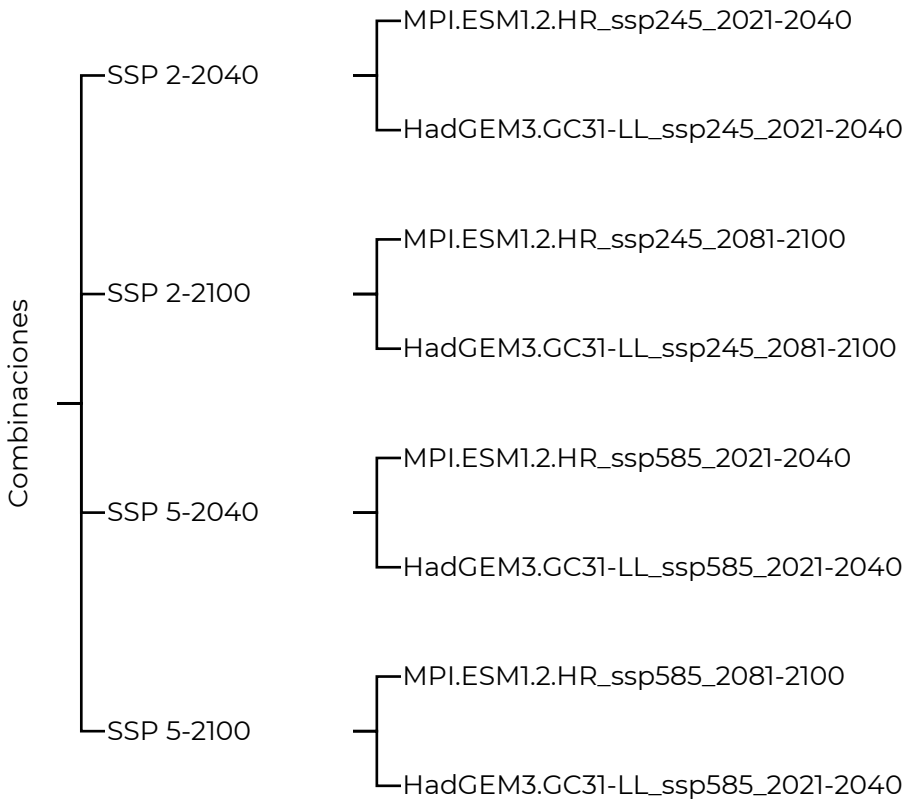
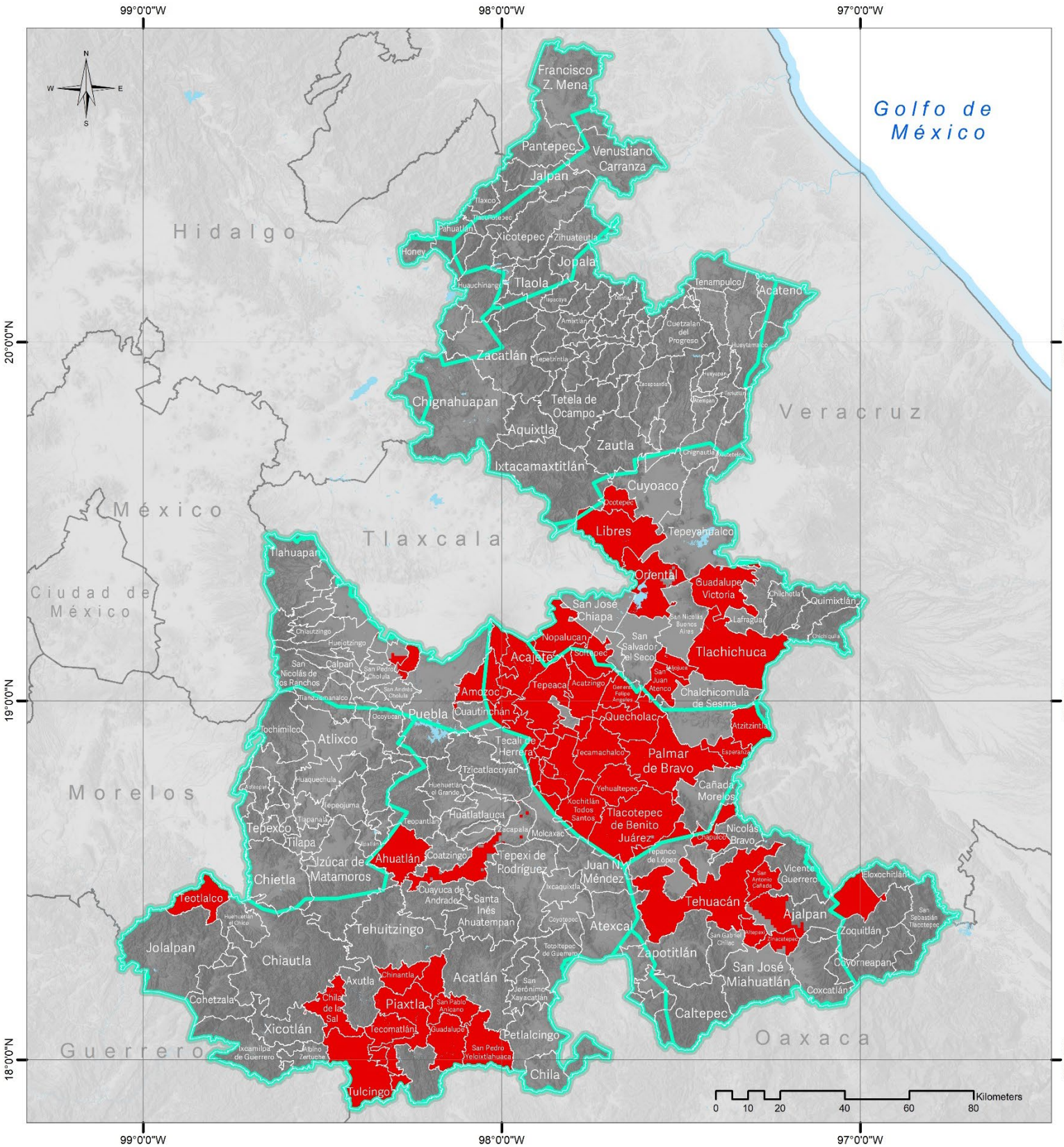


FIGURA 133. COMBINACIONES DE LOS CRITERIOS DE CRECIMIENTO POBLACIONAL Y EXPOSICIÓN PARA EL CÁLCULO DE LA VULNERABILIDAD DEL SECTOR HÍDRICO

Fuente: Elaboración propia.

Para facilitar la interpretación y visualización de los resultados, se construyó un mapa de **“Vulnerabilidad alta consenso”**, en el cual se presentan las áreas en las que todas las proyecciones coinciden en que la vulnerabilidad será alta (mapa 190).



Simbología

- Límite municipal
- Cuerpos de agua
- Límite del Estado de Puebla
- Límite estatal
- Acuíferos
- Vulnerabilidad Alta Consenso



M190. Vulnerabilidad Alta Consenso

Fuente: Elaboración Propia
Mapa Base: Marco Geoestadistico diciembre 2021, Estado de Puebla, INEGI.

Coordinate System: MEXICO ITRF 2008 LCC
Projection: Lambert Conformal Conic 2SP
Datum: ITRF 2008

Resultados

La proporción de las clases de vulnerabilidad obtenidas para el territorio estatal son extremadamente similares, variando ligeramente en su distribución espacial entre proyecciones (figura 134). La proyección bajo la cual se proyecta mayor proporción de vulnerabilidad alta es HadGEM3-GC31-LL_ssp245_2081-2100.

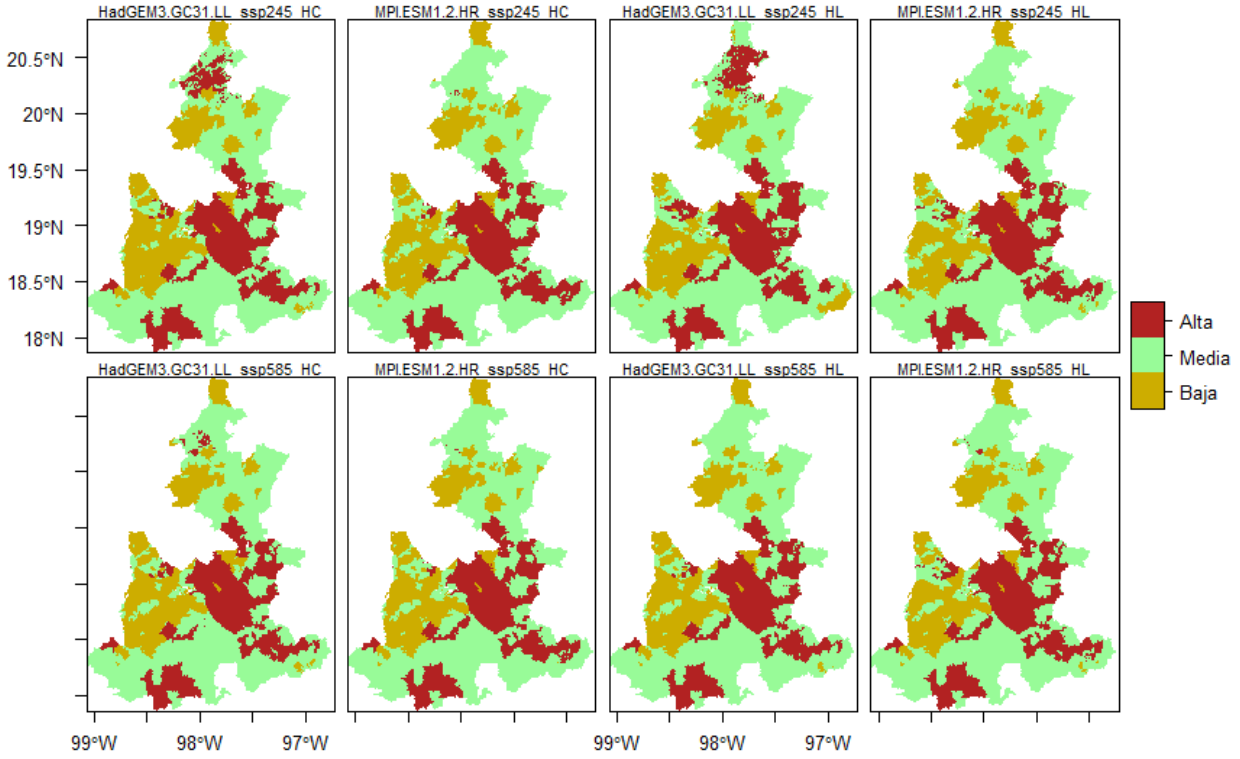


FIGURA 134. MAPAS DE VULNERABILIDAD DEL SECTOR HÍDRICO DE ACUERDO CON OCHO PROYECCIONES DE CAMBIO CLIMÁTICO; HC: HORIZONTE TEMPORAL CERCANO (2021-2040), HL: HORIZONTE TEMPORAL LEJANO (2081-2100).

En 113 de los 217 municipios que conforman el estado de Puebla hay alto consenso de vulnerabilidad de los acuíferos. En esos municipios se localizan ciudades como Tehuacán (248,716 hab.), Amozoc (77,106 hab.), Tecamachalco (28,679 hab.), Acajete (20,923 hab.) y Ciudad de Libres (15,536 hab.), las cuales dependen del agua subterránea para el suministro de agua público-urbano.

El Distrito de Riego 030 (Valsequillo) sobre los Valles de Tecamachalco, Tlacotepec y Tehuacán también se localiza sobre el área de mayor consenso de alta vulnerabilidad del sector hídrico, ante el cambio climático. Si bien datos de CONAGUA indican que el Distrito de Riego 030 se abastece principalmente de agua superficial[28], ya presenta serios problemas de abastecimiento por insuficiencia en la cantidad de agua y por contaminación debido a la falta de

[28] http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=distritosriego&ver=mapa

un correcto saneamiento de las aguas de la presa Manuel Ávila Camacho (Valsequillo), su principal fuente de abastecimiento (Bonilla et al., 2015).

Todas las proyecciones de cambio climático analizadas muestran que más del 70% de la superficie de la **región Sierra Nororiental** tiene una vulnerabilidad media. Incluso seis de las ocho proyecciones no muestran superficie con "alta vulnerabilidad". Esto hace de la región la menos vulnerable respecto a las siete regiones estudiadas.

Para la **región Sierra Norte** hay una alta coincidencia en las proyecciones que los acuíferos de región tienen una vulnerabilidad media, siendo la zona con menos vulnerabilidad la porción occidental, que incluye a los municipios de Chignahuapan, Zacatlán y Tepetzintla, municipios con una alta cobertura de bosques y una importante tradición de manejo forestal.

Contrario a la región Sierra Nororiental y Sierra Norte, la **región Valle Serdán** es la que presenta mayor consenso respecto a la superficie considerada como de "alta vulnerabilidad". Las ocho proyecciones muestran que por lo menos 50% del territorio tiene una condición de alta vulnerabilidad de sus acuíferos. Esta situación se debe, entre otras cosas, a que el acuífero Valle de Tecamachalco ya se encuentra sobreexplotado y con una condición de nula disponibilidad.

Para la **región Angelópolis**, donde se encuentra asentada la mayor población del Estado, todas las proyecciones muestran que la zona con "alta vulnerabilidad" se localiza en la porción oriental, en los municipios de Nopalucan, Acajete, Tepeaca, Tepatlaxco de Hidalgo, Amozoc, Mixtla, Santo Tomás Hueyotlipan, Tlanepantla, Tepeyahualco de Cuauhtémoc y Tochtepec. Los municipios que presentan una baja vulnerabilidad en todas las proyecciones son: San Felipe Teotlalcingo y Ocoyucan.

La **región Valle de Atlixco** tiene en las ocho proyecciones realizadas más del 75% de su superficie clasificada con "baja vulnerabilidad", la zona con alto consenso de "alta vulnerabilidad" se localiza al sureste de la región, en la frontera con la región Mixteca, coincidiendo con los límites político-administrativos de Ahuatlán, un municipio cuya dependencia al agua subterránea es superior a la de los municipios aledaños.

En la porción noroeste de esta región, en las faldas de la Sierra Nevada, hay una zona de agricultura de riego anual y semipermanente, coincidiendo con una importante zona de recarga, según el modelo elaborado para este estudio. Cuidar la calidad del agua en esta zona es de vital importancia debido a que la contaminación de un acuífero suele ser una situación irreversible.

En la **región Mixteca**, las proyecciones muestran que 70% de la superficie está clasificada con "vulnerabilidad media", sin embargo, también hay coincidencia en que aproximadamente 22% tiene "alta vulnerabilidad", especialmente en la

parte sur, colindante con el estado de Oaxaca. Esto se debe, en parte, por la fuerte dependencia a las fuentes de agua subterránea de los municipios de San Pedro Yeloixtlahuaca, Guadalupe, Tulcingo, Tecomatlán y Piaxtla. Otra porción de la región clasificada como de "alta vulnerabilidad" se localiza al noreste de la región, en colindancia con las regiones de Angelópolis y Sierra Negra, y coincidiendo con el acuífero Valle de Tecamachalco, el cual ya presenta déficit. El municipio de Zacapala también tiene alto consenso de vulnerabilidad según las proyecciones de cambio climático.

La **región Sierra Negra**, al igual que la región Mixteca, Valle Serdán y Angelópolis tiene una importante zona clasificada como "alta vulnerabilidad", debido al déficit que presenta ya el acuífero Valle de Tecamachalco. De acuerdo con las proyecciones de cambio climático realizadas alrededor del 40% de la superficie puede ser considerada de "alta vulnerabilidad". Esto incluye a los municipios de Tehuacán, principal zona urbana de la región y segunda más grande del Estado, San Antonio Cañada, Altepexi, Yehualtepec, Tlacotepec de Benito Juárez y algunas zonas de los municipios de Ajalpan, Zinacatepec.

Esta región sólo cuenta con un organismo operador del agua, encargado de la gestión del agua en Tehuacán. Como en la región Mixteca, la gestión del agua subterránea en zonas con alta vulnerabilidad a la sequía y el estrés hídrico es un reto, ya que se debe monitorear constantemente el nivel freático de los pozos a fin de no abatirlos a tal grado que se empiecen a extraer elementos dañinos para la salud.

A continuación, se enlistan algunas recomendaciones para el diseño e implementación de medidas adaptación al cambio climático, dirigidas a disminuir la vulnerabilidad del sector hídrico del estado de Puebla:

- Implementar campañas de reforestación y restauración en las cabeceras de las cuencas, así como Soluciones basadas en la Naturaleza para aumentar la disponibilidad del agua, la retención de la humedad del suelo y la recarga de las aguas subterráneas.
- Conservar y recuperar las zonas de recarga natural de los acuíferos, manantiales, humedales y zonas riparias.
- Fortalecer a los organismos operadores de agua a partir de la capacitación técnica y el financiamiento.
- Mejorar los sistemas de medición del consumo de agua para gestionar la demanda y el sistema de cobro.
- Invertir en tecnologías que permitan la captación y el ahorro de agua en los sectores agrícola, industrial y doméstico.
- Disminuir la extracción de agua subterránea para uso agrícola, utilizando recursos hídricos no convencionales como aguas residuales tratadas.
- Aprovechar el biogás que se genera durante el proceso de tratamiento de aguas residuales para contribuir a un tratamiento neutro en carbono.

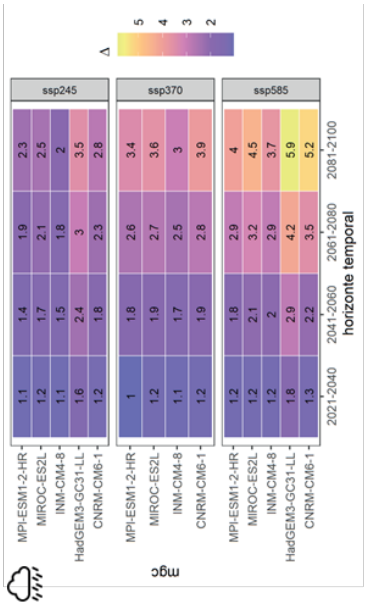
- Implementar un programa de gestión conjunta de las aguas superficiales y subterráneas para potenciar la resiliencia a las sequías y hacer frente a la escasez de agua sin sobreexplotar los acuíferos.
- Diseñar una planificación urbana integrada que considere la gestión de riesgos de crecidas y sequías y sistemas de alerta temprana.
- Fortalecer los sistemas de monitoreo de las descargas de aguas industriales, agrícolas y domésticas.
- Impulsar la instalación y mantenimiento de plantas de tratamiento de aguas residuales a nivel municipal y doméstico.
- Realizar campañas de sensibilización y cuidado del agua, así como de la importancia del pago por los servicios de agua, alcantarillado y saneamiento que brindan los sistemas operadores.
- Impulsar la creación de comités u observatorios ciudadanos del agua.
- Impulsar mejores prácticas agrícolas y ambientales.

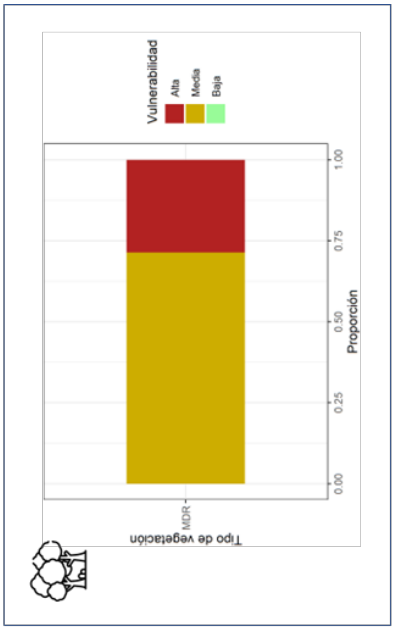
5.3.5 Diagnóstico de vulnerabilidades para delimitaciones de interés

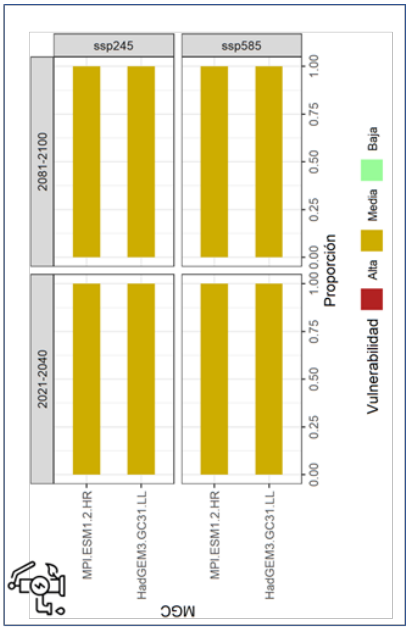
De acuerdo con su importancia para diferentes sectores en el territorio, se seleccionaron siete delimitaciones de interés representadas por cuerpos de agua, áreas naturales protegidas, subcuencas hidrográficas y humedales de importancia internacional:

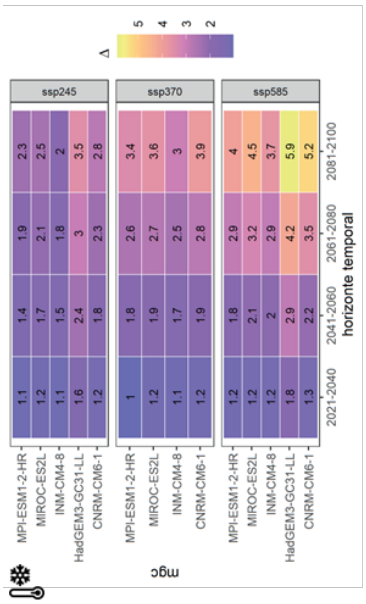
a) El Lago de Alchichica,
b) El sitio RAMSAR Sistema de Represas y Corredores Biológicos de la Cuenca Hidrográfica del Río Necaxa,
c) La Presa Manuel Ávila Camacho (presa Valsequillo),
d) La Subcuenca del Río Atoyac,
e) El Parque Estatal Lagos de Tepeyahualco y Guadalupe Victoria,
f) El Parque Nacional Iztaccíhuatl-Popocatépetl, y
g) El Parque Nacional La Malinche.

Para conocer las posibles afectaciones del cambio climático de forma específica en estas delimitaciones, se agregaron espacialmente los resultados de vulnerabilidad de los sectores hídrico, forestal y biodiversidad, para cada una de ellas. Los resultados se presentan a continuación en forma de infografías en las que se resume de forma gráfica la vulnerabilidad de los ECT presentes.

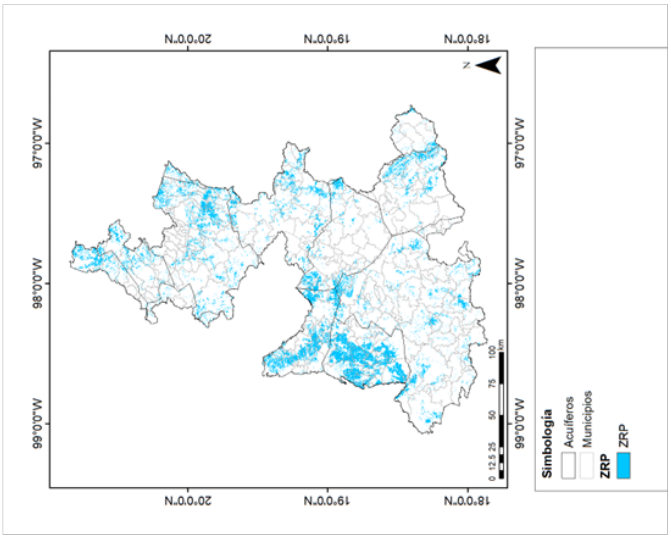


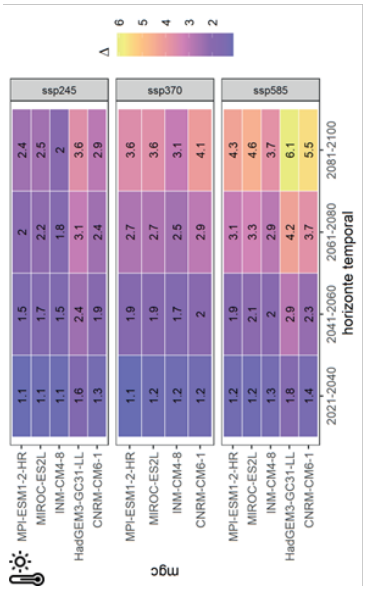


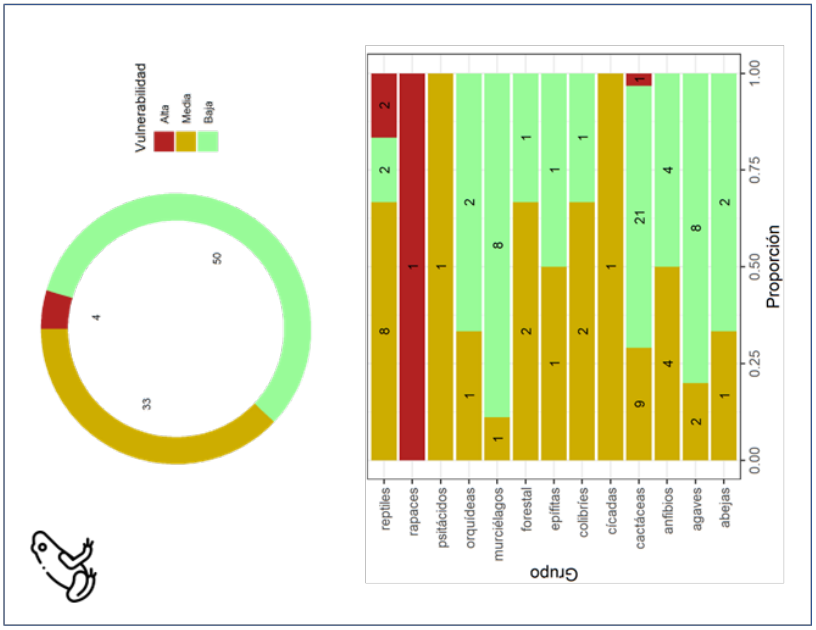


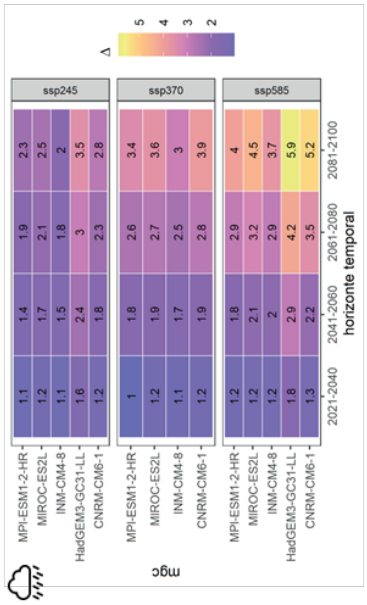


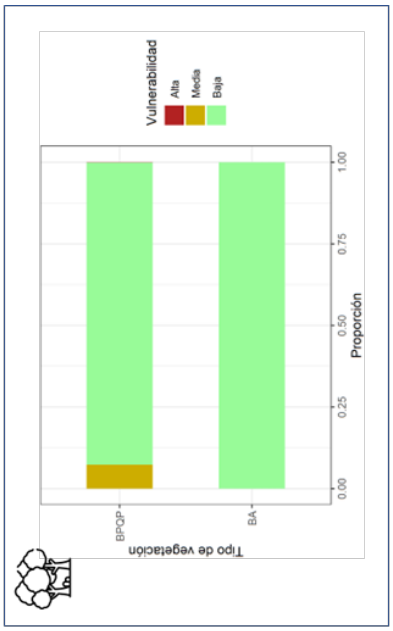
Lago de Alchichica

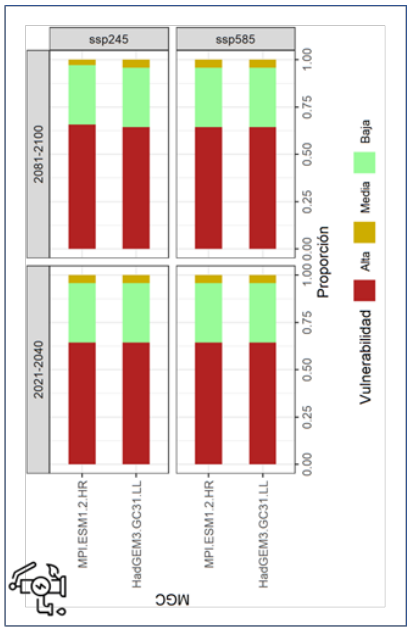


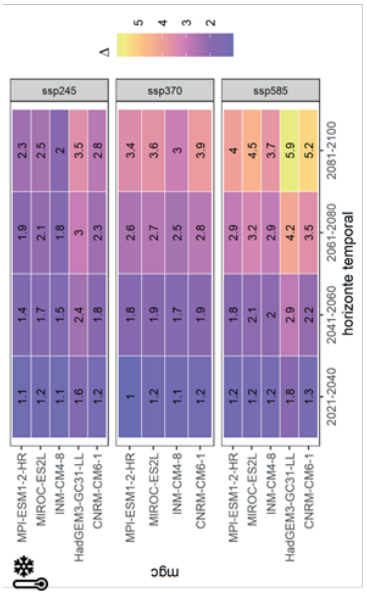




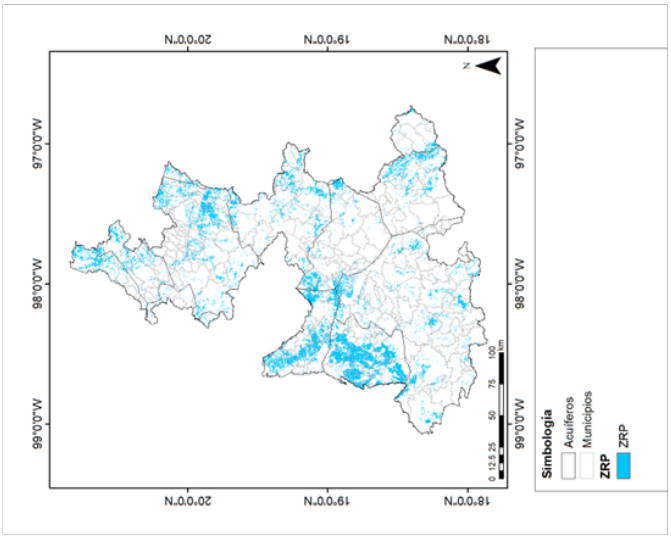

ssp245
ssp370
ssp585
MPI-ESM1-2-HR
MIROC-ES2L
INM-CM4-8
HadGEM3-GC31-LL
CNRM-CM6-1
2021-2040
2041-2060
2061-2080
2081-2100
horizonte temporal
mgc
Δ

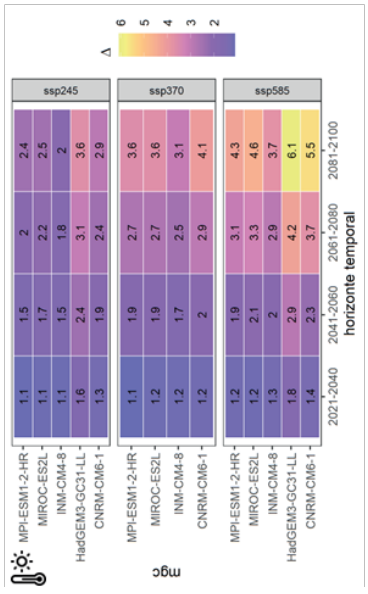

Vulnerabilidad
Alta
Media
Baja
Tipo de vegetación
BPQP
BA
Proporción

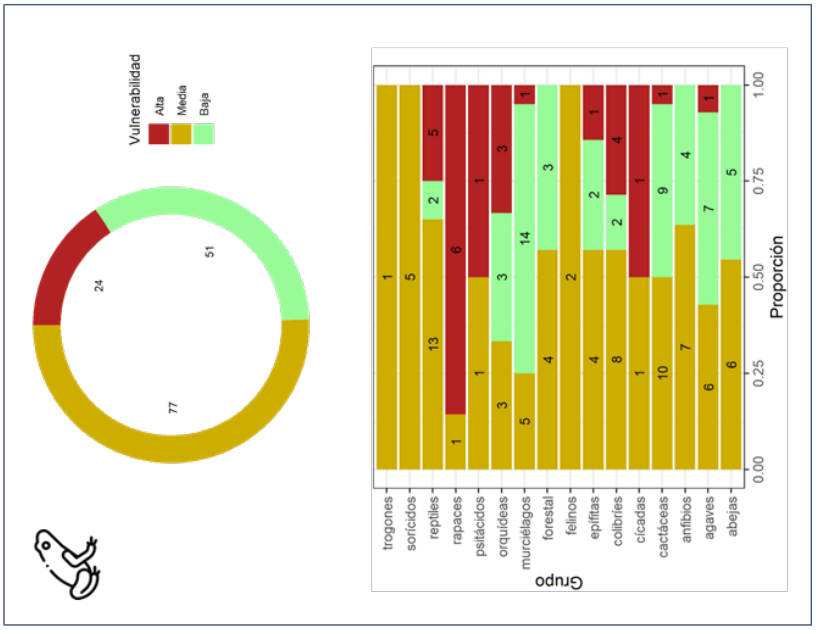

ssp245
ssp585
2021-2040
2081-2100
MPI.ESM1.2.HR
HadGEM3.GC31.LL
Proporción
Vulnerabilidad
Alta
Media
Baja
MGC

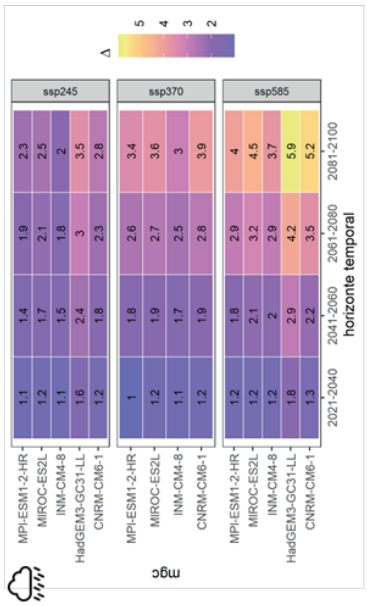

ssp245
ssp370
ssp585
MPI-ESM1-2-HR
MIROC-ES2L
INM-CM4-8
HadGEM3-GC31-LL
CNRM-CM6-1
2021-2040
2041-2060
2061-2080
2081-2100
horizonte temporal
mgc
Δ

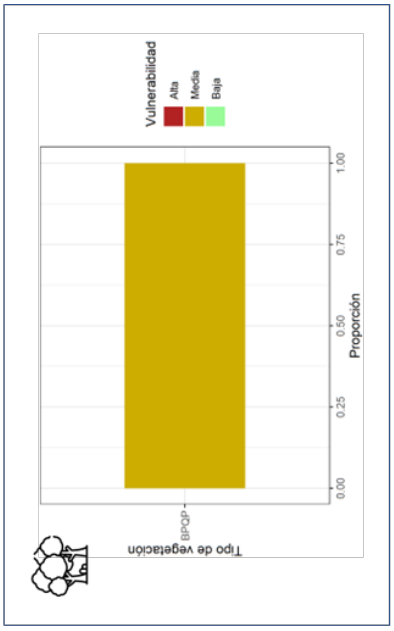
La Malinche

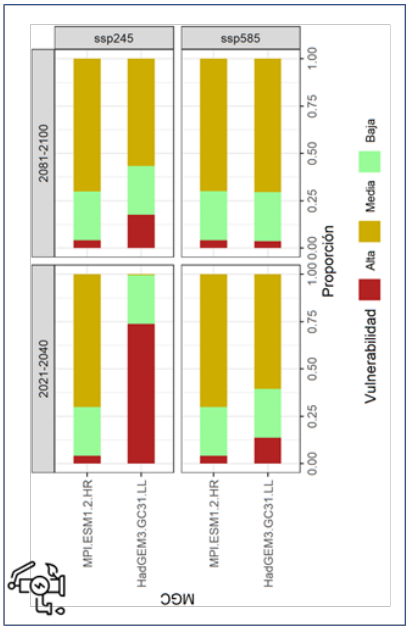

Simbología
Acuíferos
Municipios
ZRP
ZRP

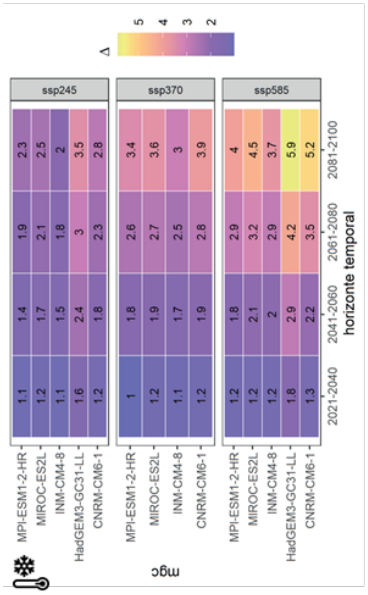

ssp245
ssp370
ssp585
MPI-ESM1-2-HR
MIROC-ES2L
INM-CM4-8
HadGEM3-GC31-LL
CNRM-CM6-1
2021-2040
2041-2060
2061-2080
2081-2100
horizonte temporal
mgc
Δ


Vulnerabilidad
Alta
Media
Baja
24
51
77
trogones
soricidos
reptiles
rapaces
psitácidos
orquídeas
murciélagos
forestal
felinos
epífitas
colibríes
cícadas
cactáceas
anfibios
agaves
abejas
Grupo
Proporción

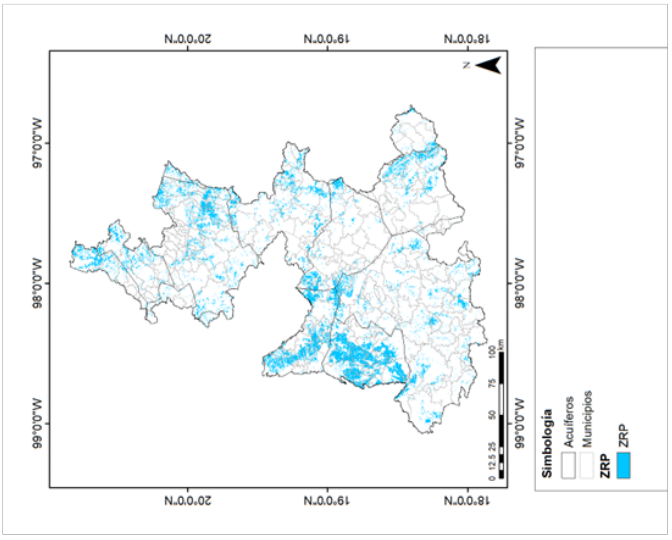


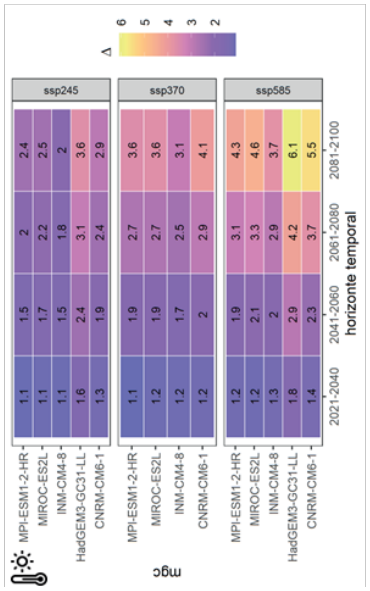


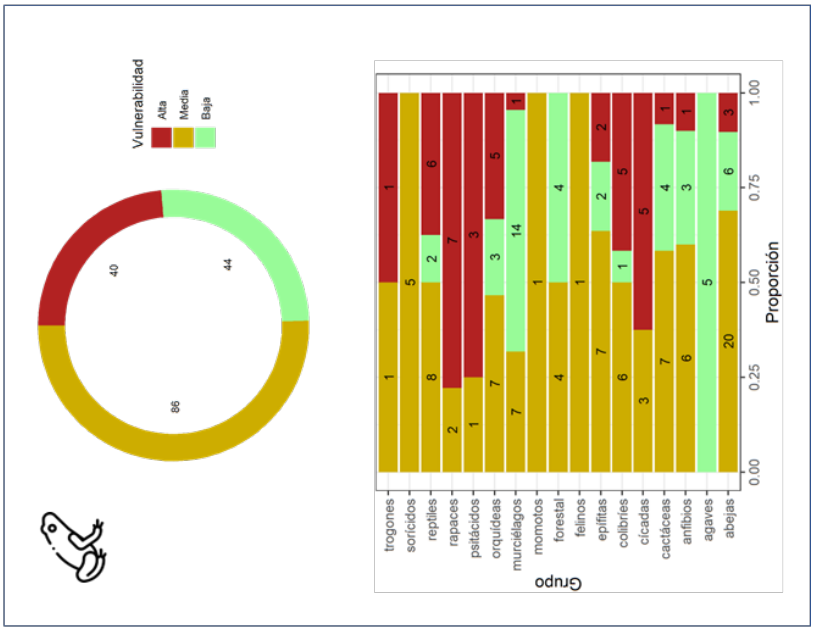


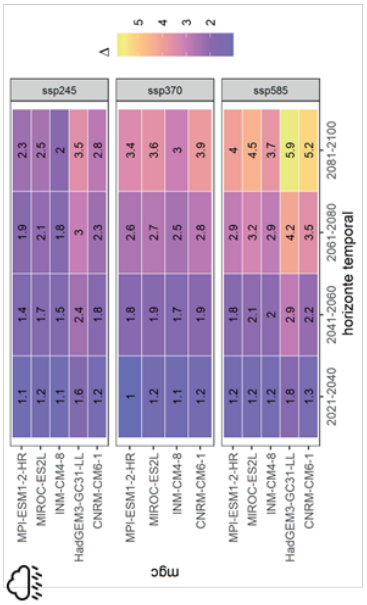


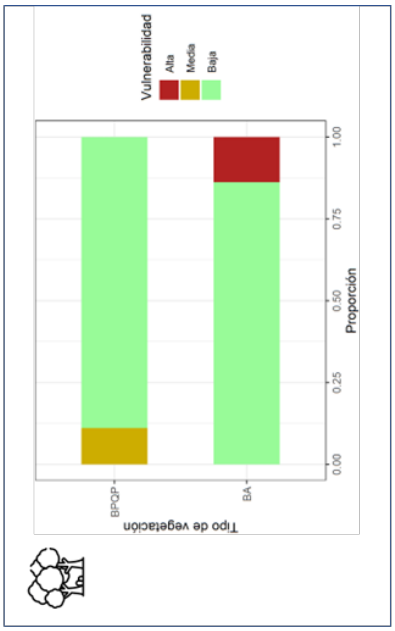
Lago de Necaxa

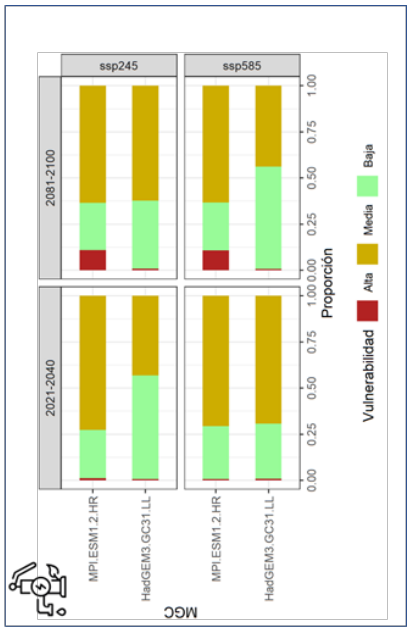


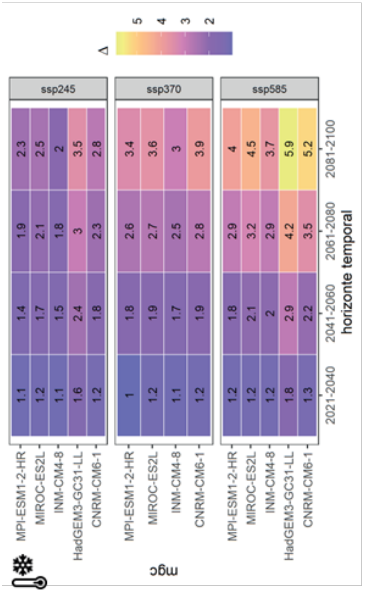




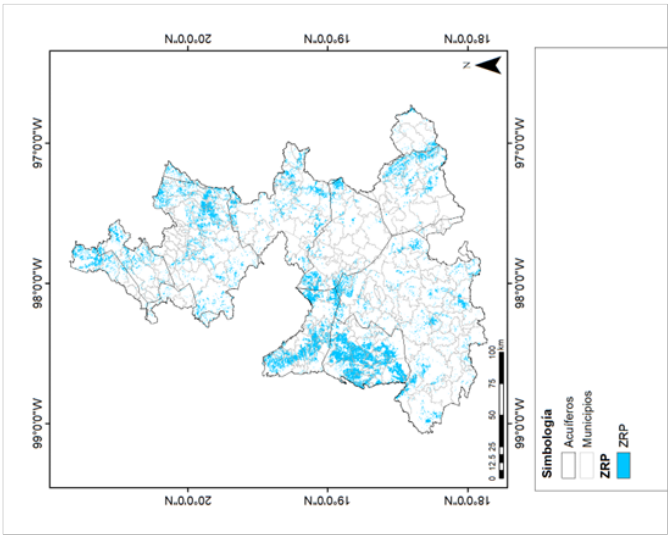


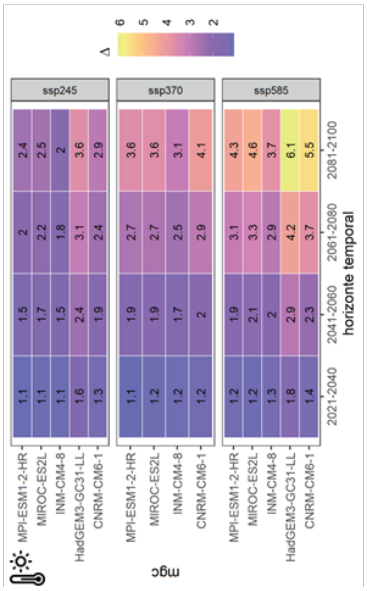


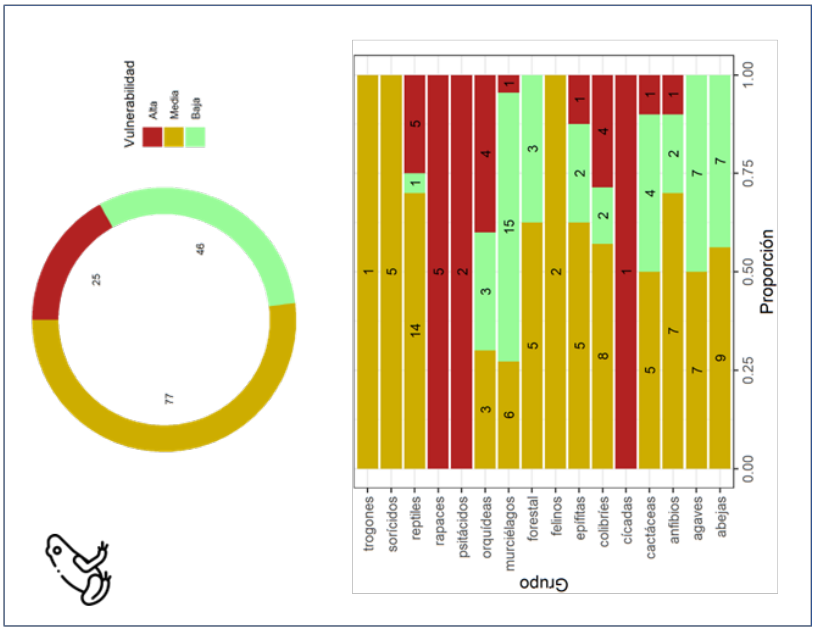


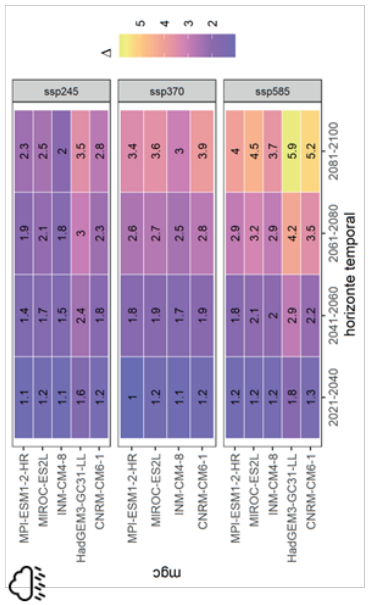


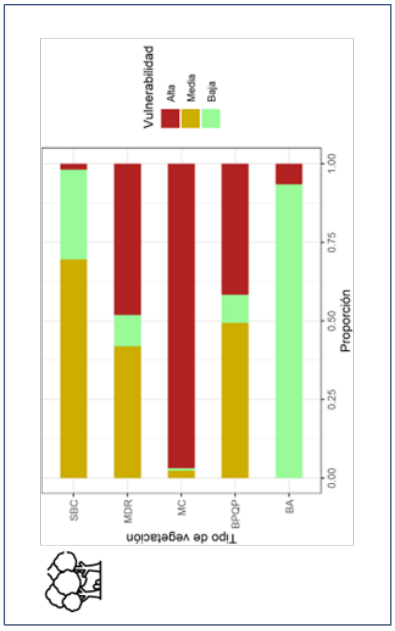
Popocatépetl

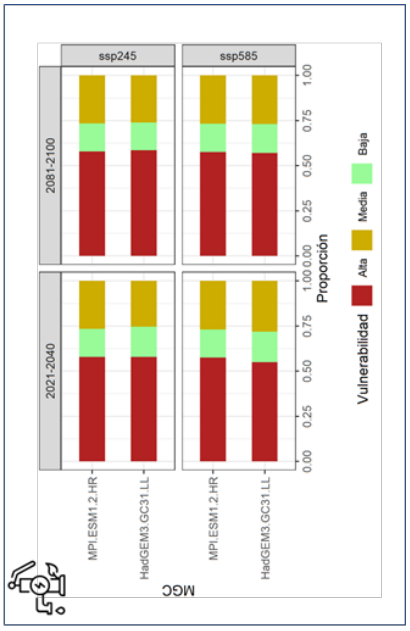


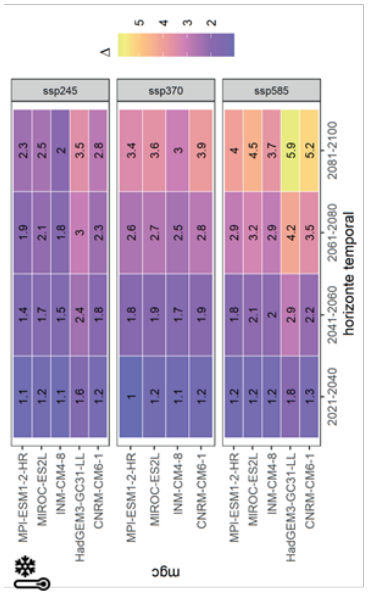




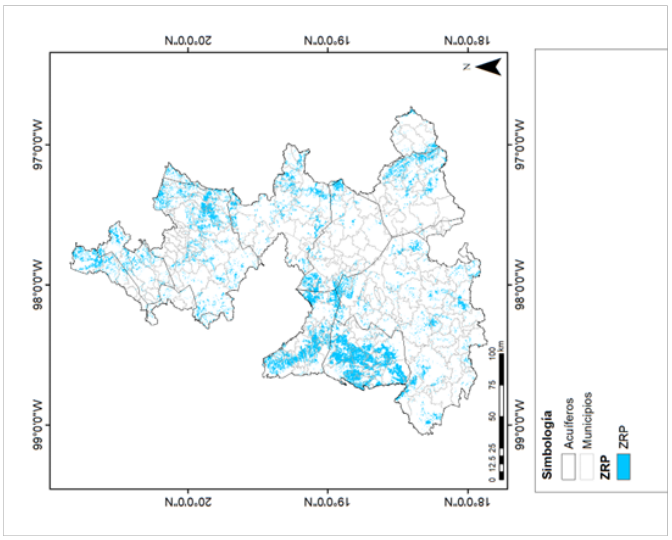

ssp245
ssp370
ssp585
MPI-ESM1-2-HR
MIROC-ES2L
INM-CM4-8
HadGEM3-GC31-LL
CNRM-CM6-1
2021-2040
2041-2060
2061-2080
2081-2100
horizonte temporal
mgc
Δ

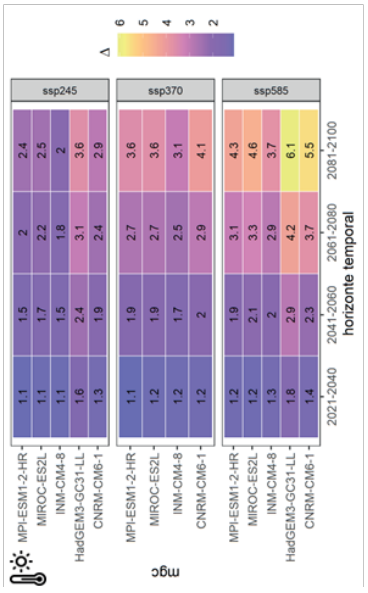

Vulnerabilidad
Alta
Media
Baja
SBC
MDR
MC
BPQP
BA
Tipo de vegetación
Proporción

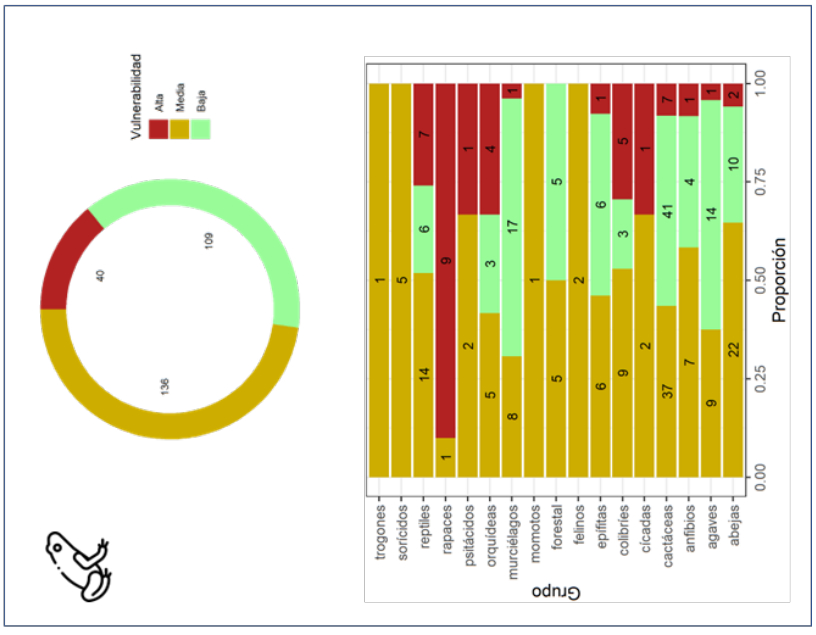

ssp245
ssp585
2081-2100
2021-2040
MPI.ESM1.2.HR
HadGEM3.GC31.LL
MGC
Proporción
Vulnerabilidad
Alta
Media
Baja

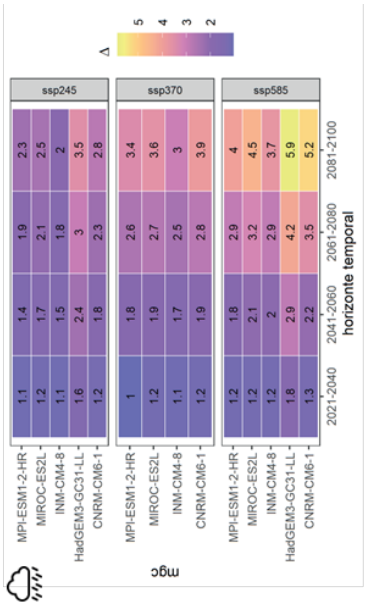

ssp245
ssp370
ssp585
MPI-ESM1-2-HR
MIROC-ES2L
INM-CM4-8
HadGEM3-GC31-LL
CNRM-CM6-1
2021-2040
2041-2060
2061-2080
2081-2100
horizonte temporal
mgc
Δ

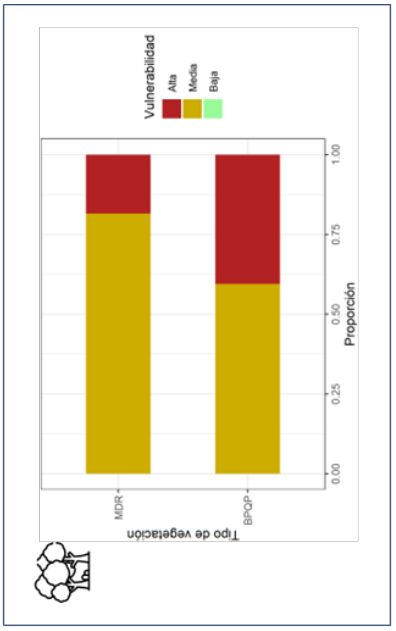
Río Atoyac

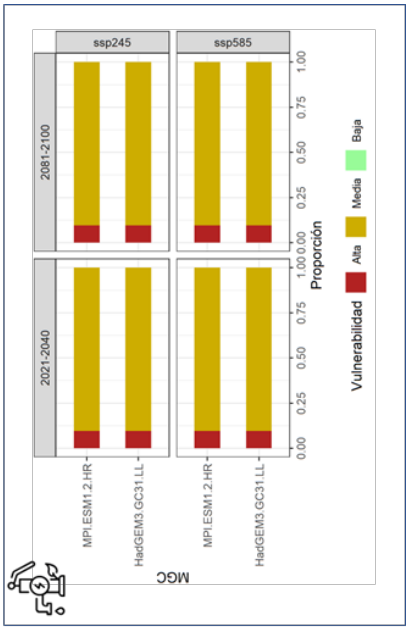

Simbología
Acuíferos
Municipios
ZRP
ZRP

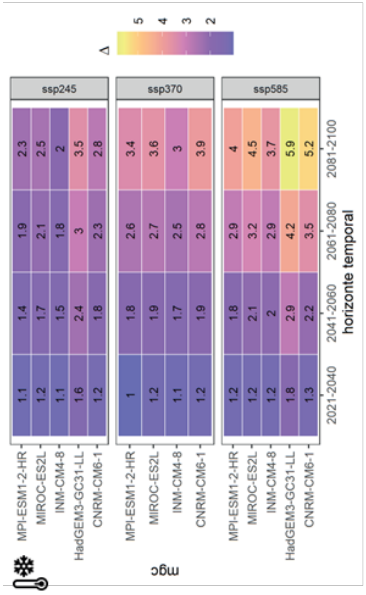

ssp245
ssp370
ssp585
MPI-ESM1-2-HR
MIROC-ES2L
INM-CM4-8
HadGEM3-GC31-LL
CNRM-CM6-1
2021-2040
2041-2060
2061-2080
2081-2100
horizonte temporal
mgc
Δ


Vulnerabilidad
Alta
Media
Baja
40
109
136
trogones
soricidos
reptiles
rapaces
psitácidos
orquídeas
murciélagos
momotos
forestal
felinos
epifitas
colibríes
cícadas
cactáceas
anfibios
agaves
abejas
Grupo
Proporción

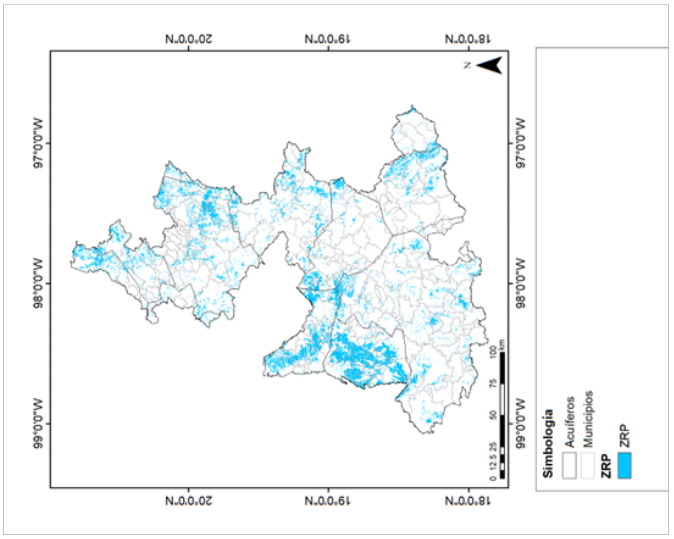


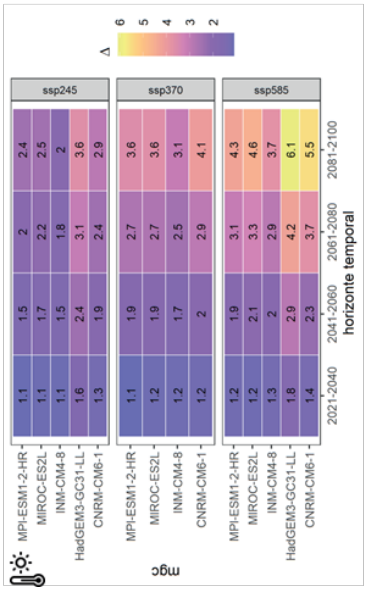


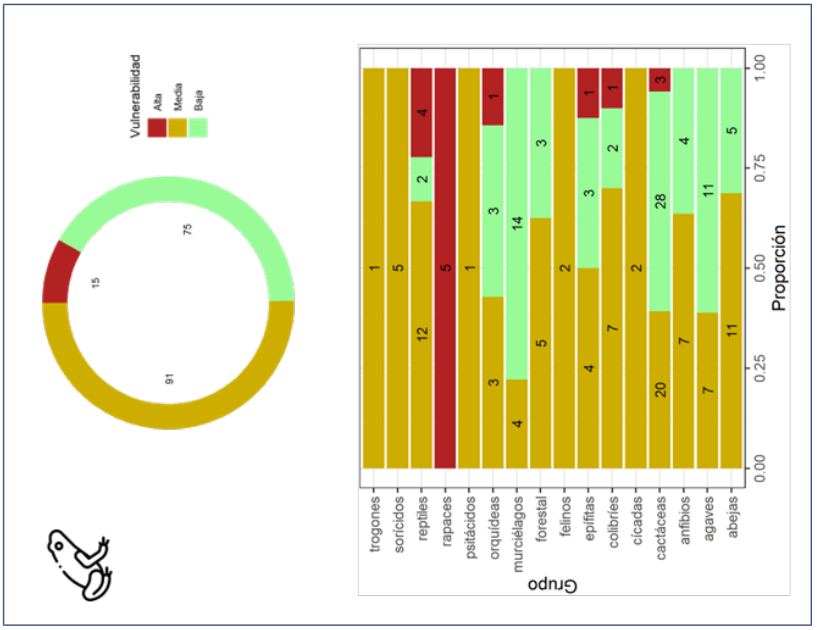


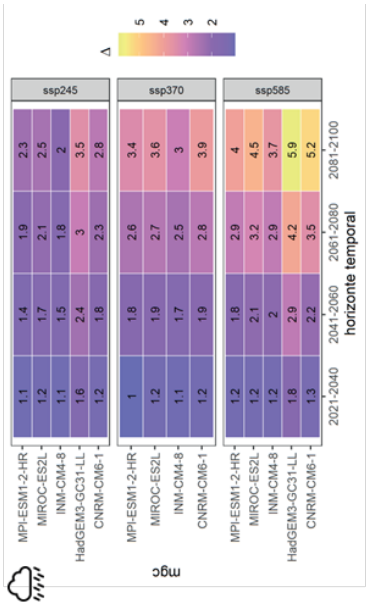


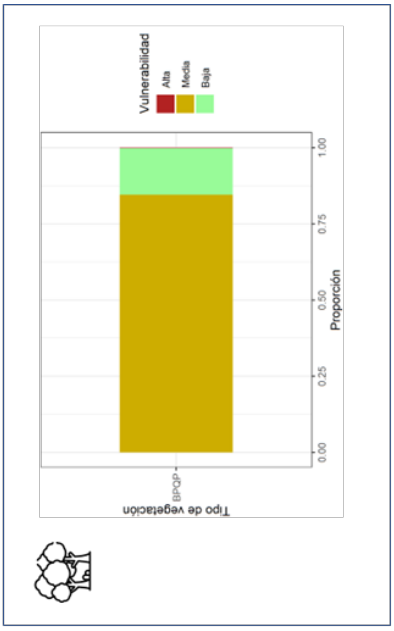
Laguna de Tepeyahualco



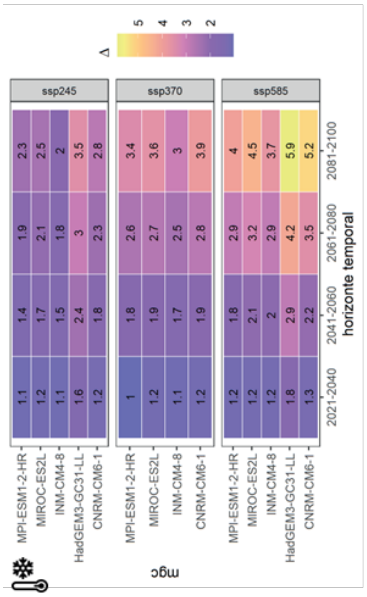




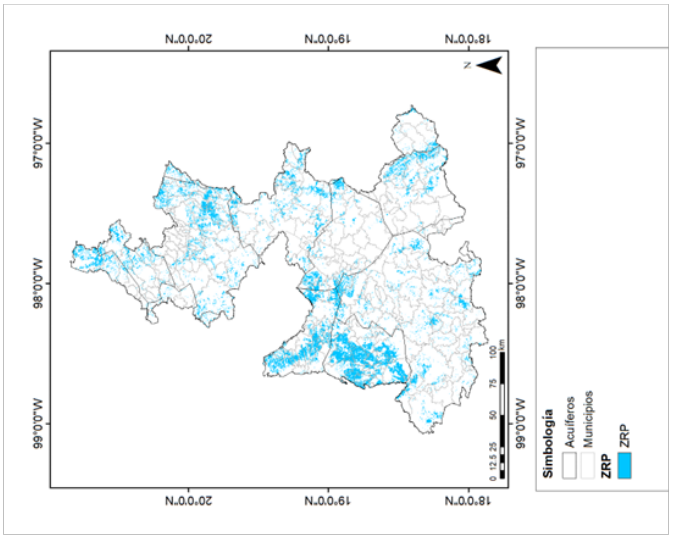


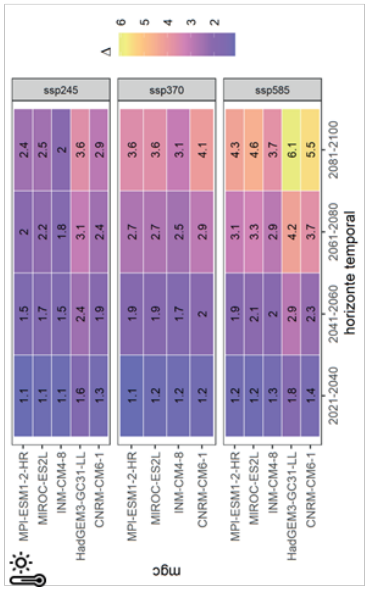


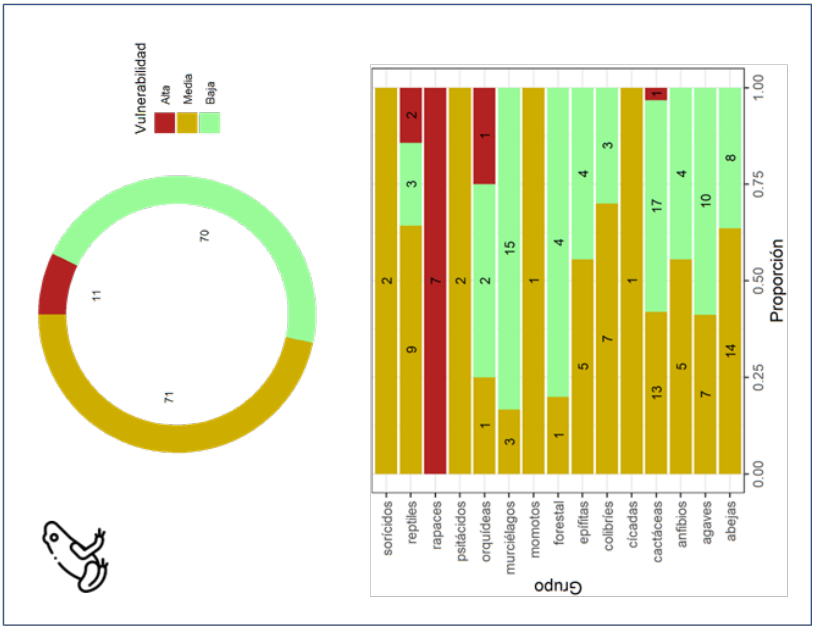




El Oasis Valsequillo







Objetos de Conservación Socio-Ambientales (OCSA)

En los talleres realizados en las macrorregiones del Estado, en el marco del proceso de socialización del PROAIRE-PEACC, los y las participantes valoraron a los diferentes ECT de acuerdo con su nivel de conocimiento de estos en el territorio y su vinculación con su comunidad y el ecosistema presente. A partir de esta valoración, la cual implicó la colaboración y participación directa de las personas que habitan los territorios, algunos ECT fueron reconocidos como Objetos de Conservación Socio-Ambientales (OCSA).

Los OCSA son definidos por CONANP-PNUD (2021) como "*elementos focales de conservación, con una contribución muy relevante en el mantenimiento de los ecosistemas o en la generación de servicios ecosistémicos críticos, de los cuales se benefician las comunidades humanas de la región. Adicionalmente, los OCSA, son elementos que son vulnerables al cambio climático y/o de los cuales se deriva la vulnerabilidad de las comunidades humanas. Pueden ser ecosistemas que contribuyen a amortiguar los impactos asociados al cambio climático, por ejemplo: manglares como infraestructura verde de protección a los eventos meteorológicos extremos*".

Los ECT reconocidos como OCSA fueron: a) murciélagos, b) abejas, c) aves rapaces, d) orquídeas, e) agaves, f) especies forestales, g) matorral desértico rosetófilo, h) matorral crasicaule, i) reptiles, j) cactáceas y k) anfibios. Para disminuir la vulnerabilidad de éstos ante el cambio climático, así como para aumentar su resiliencia y la de las comunidades que dependen de los servicios ecosistémicos que proveen, se diseñaron medidas de adaptación específicas.

5.3.6. La dimensión socioeconómica de la vulnerabilidad al cambio climático en Puebla

La vulnerabilidad puede definirse a partir de una unidad de análisis social (individuo, hogar, comunidad, región) en función de una amenaza específica o en una situación de pérdida (salud, ingreso, capacidades básicas). La interacción entre la amenaza y la vulnerabilidad genera condiciones de desastre, el cual puede ser catastrófico o crónico. Se considera a la vulnerabilidad como las características de una persona o grupo social y su situación, que influyen en su capacidad para anticipar, lidiar, resistir y recuperarse del impacto de una amenaza.

Cuando se analizan las condiciones antes de una situación de estrés hablamos de susceptibilidad, cuando se abordan las formas para enfrentar, reponerse y adaptarse a una situación de estrés, hablamos de capacidad de ajuste o resiliencia.

La vulnerabilidad social al cambio climático identifica la situación actual y los cambios en el tiempo de los grupos sociales afectados en dimensiones tales como ingresos, acceso a servicios de salud, seguridad personal y pública, seguridad alimentaria y riesgos de desplazamiento involuntario.

La vulnerabilidad socioeconómica a los efectos del cambio climático ha estado presente en los acuerdos de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático y en los trabajos del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.

A medida que los grupos sociales son menos favorecidos y que las dimensiones de la pobreza muestran mayores desigualdades, el cambio climático tiene efectos más profundos e intensos y la resiliencia es más difícil. En condiciones de pobreza extrema se necesita cambiar de ocupaciones, pues con incentivos pequeños solo se eleva el consumo, pero no se superan las condiciones de pobreza extrema.

En este escenario, denominado “trampa de la pobreza”, los impactos climáticos en los sectores sociales más expuestos pueden poner en riesgo la seguridad alimentaria al provocar pérdidas de producción de alimentos y malas cosechas y al afectar la infraestructura de transporte y distribución, induciendo aumentos de los precios de los alimentos por la disminución de la oferta. También pueden conducir a pérdidas cíclicas, contribuyendo a la persistencia e intensificación de las trampas de pobreza o a una recuperación demasiado lenta, reduciendo aún más las posibilidades de resiliencia, dando lugar a estrategias de mala adaptación incluida la desinversión de activos como el ganado y la tierra.

No existe una línea base o un nivel mínimo de ingresos a partir del cual los hogares pueden ser más resilientes a los impactos climáticos. No obstante, diversas fuentes han estimado que por encima de 4 USD/día, el riesgo de caer en la trampa de la pobreza se reduce considerablemente.

Para el análisis socioeconómico de la vulnerabilidad climática en Puebla se tomó como indicador socioeconómico base el índice de Marginación por municipio. Se tomaron los resultados consolidados por municipio de los escenarios de cambio climático seleccionados para el Programa, en relación con la pérdida de idoneidad climática de especies emblemáticas; la vulnerabilidad de la vegetación; la vulnerabilidad de las actividades agrícolas al estrés hídrico y a las inundaciones, y la vulnerabilidad de los acuíferos. Esos datos fueron cruzados con el grado de marginación municipal de acuerdo con el Índice de Marginación de CONAPO. Con ese procedimiento se identificaron los municipios que según su grado de marginación se exponen en mayor grado a los impactos climáticos señalados.

Los resultados del análisis se muestran en mapas que indican los municipios con mayor vulnerabilidad y mayor grado de marginación para cada variable estudiada.

Se encontraron nueve municipios en los cuales la vulnerabilidad es multivariada. Tres tienen alto y muy alto grado de marginación (Coyomeapan, Ahuacatlán y Teopantlán), estando bajo riesgo en cuanto a pérdida de idoneidad de especies, vegetación, estrés hídrico, inundación y zoonosis. Dos municipios (Atzitzihuacán y Cohuecan) con índice de marginación medio se encuentran entre los más vulnerables a pérdida de especies, estrés hídrico e inundación. Cuatro municipios con grado de marginación bajo y muy bajo (Ixcaquixtla, Nealtican, Tepanco de López y Juan Galindo), muestran vulnerabilidad a pérdida de especies, vegetación, acuíferos, estrés hídrico e inundación. En estos municipios es recomendable desplegar estrategias multivariadas de adaptación de manera prioritaria.

Se arribó a las siguientes conclusiones y recomendaciones.

- A fin de contrarrestar la trampa de la pobreza, debería considerarse la aplicación de medidas de adaptación de larga duración en los municipios afectados de alto y muy alto grado de marginación.
- Para que tengan mayor impacto, las medidas de adaptación debieran complementar y reforzar los programas y políticas de combate a la pobreza actualmente en operación.
- Tanto las medidas de adaptación como los incentivos de los programas de combate a la pobreza debieran enfocarse en la eliminación de barreras que favorecen la trampa de la pobreza, mejorando en forma verificable las oportunidades de cambio ocupacional.
- En los municipios de mayor grado de marginación la vulnerabilidad a la pérdida de idoneidad de especies representativas relacionadas con las condiciones de vida de la población y vegetación aprovechable será también mayor.
- Las medidas de adaptación relacionadas con la vulnerabilidad del tipo de vegetación debieran estar dirigidas de manera prioritaria a los municipios señalados como de muy alto y alto grado de marginación.
- La concentración de municipios con bajo y muy bajo grado de marginación en acuíferos con alta vulnerabilidad podría estar relacionada con el incremento de la urbanización, lo que hace necesario actualizar o elaborar planes de desarrollo urbano considerando los escenarios.
- El grado de marginación no parece tener una influencia definitoria en el nivel de vulnerabilidad social al estrés hídrico. No obstante, las medidas de adaptación correspondientes deberían aplicarse prioritaria y preventivamente en los 39 municipios donde el riesgo es mayor. De la misma manera, las acciones de adaptación deberían concentrarse en los

38 municipios con alta vulnerabilidad a la inundación, poniendo especial atención a aquellos con alto y muy alto grado de marginación.

- Los 9 municipios con vulnerabilidad multivariada debieran ser prioritarios y en ellos debería diseñarse y ponerse en operación una estrategia de adaptación que incluyan medidas para cada uno de los riesgos que se estima enfrentarán.

Para mayor información de este capítulo, consultar el documento electrónico "INCIDENCIA DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA SOBRE LA SALUD", "VULNERABILIDAD DEL SECTOR BIODIVERSIDAD ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO", "VULNERABILIDAD DEL SECTOR FORESTAL ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO", "VULNERABILIDAD DEL SECTOR AGRÍCOLA ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO", "VULNERABILIDAD DEL SECTOR HÍDRICO ANTE EL CAMBIO CLIMÁTICO" y "LA DIMENSIÓN SOCIOECONÓMICA DE LA VULNERABILIDAD AL CAMBIO CLIMÁTICO EN PUEBLA" en el sitio WEB https://calidaddelaire.puebla.gob.mx/views/principal.php.





6

Diseño de políticas, estrategia, líneas de acción y metas de mejoramiento de la calidad del aire y atención al cambio climático

6. Políticas, estrategias, líneas de acción y metas de mejoramiento de la calidad del aire y atención al cambio climático

6.1. Políticas y estrategia en materia de calidad del aire y cambio climático

Desde la década de los noventa, los programas de mejoramiento de la calidad del aire, conocido como ProAire, han sido el instrumento de política pública utilizado por el gobierno federal y los gobiernos locales para atender las causas y brindar soluciones a los problemas de la contaminación del aire. A lo largo del tiempo la evolución del conocimiento sobre las interrelaciones que existen entre la generación de los contaminantes, su comportamiento en la atmósfera y las posibilidades de atención a través de estrategias y medidas acordes a las realidades de un entorno socioeconómico cambiante, han propiciado la aplicación de enfoques sistémicos en la solución a esta problemática.

Por otro lado, la emisión de compuestos y gases de efecto invernadero derivado principalmente de la ignición de combustibles fósiles, han contribuido al calentamiento global con los riesgos que ello implica para el bienestar de la población y de la sostenibilidad del planeta.

Tradicionalmente, las temáticas de calidad del aire y cambio climático se han abordado de manera independiente, a pesar de que la mayor parte de las fuentes de emisión son comunes a ambos. Lo cual ha tenido como resultado soluciones parciales o segmentadas para resolver problemáticas complejas que requieren saberes más amplios y enfoques integrales de resolución de los problemas públicos.

La ciencia más reciente, particularmente el sexto informe de evaluación del Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático, también conocido como IPCC, da cuenta de la importancia de integrar estos conceptos para la definición de medidas y acciones conjuntas que reduzcan la emisión, tanto de GyCEI como de los contaminantes criterio.

Es por ello, que en el ProAire-PEACC del estado de Puebla, por primera vez en el País se abordan ambos temas, con un enfoque integral fundamentado en un cuidadoso diagnóstico y análisis realizado se identificaron medidas y acciones de mitigación y adaptación que integran con una perspectiva ecosistémica, que permite revisar los conceptos y estrategias costo-efectivas con alto potencial de aplicación y de impactos positivos, tanto para la población como para la economía del estado, se identifican medidas y acciones tanto en

materia de calidad del aire como de mitigación y adaptación al cambio climático, integrales y sinérgicas.

Las medidas identificadas van orientadas a descarbonizar la economía, como la optimización de la estructura energética, la eficiencia energética, la reducción del consumo de combustibles fósiles, la electrificación del transporte, las opciones avanzadas de transporte masivo y la reducción de emisiones de la actividad industrial. Esto, no solo permiten avanzar en la atención a la problemática de la calidad del aire sino también en la reducción de emisiones gases de efecto invernadero (GEI).

En la selección de las medidas se tomaron en cuenta los esfuerzos realizados en ProAire anteriores en el estado de Puebla, los cuales identificaron medidas y acciones, algunas de ellas con validez actual y sobre las cuáles es importante continuar con su fortalecimiento. Las experiencias aprendidas en éstos y otros ProAire, señalan la importancia de la coordinación, colaboración y corresponsabilidad entre los diferentes actores involucrados para que asuman el compromiso de atender aquellas medidas que son de su competencia.

Existen grandes retos o riesgos que deben enfrentar los estados para que programas de este tipo tengan éxito en su implementación: coordinación deficiente con las principales partes interesadas y actores clave del orden público, privado y social; falta de liderazgo y gobernanza; ineficiente aplicación y cumplimiento de la normatividad ambiental; falta de financiamiento suficiente; ineficiente monitoreo y seguimiento. Por otro lado, al formar parte de la Comisión Ambiental de la Megalópolis (CAMe), el estado de Puebla incorpora medidas con una visión regional que impacta en la esfera megalopolitana, y conforme a las características propias y relevantes de la Entidad como un actor clave en la región.

Las estrategias, medidas y acciones se seleccionaron considerando:

- Aquellas con mayor impacto en la emisión de GyCEI y contaminantes criterio, de acuerdo con el inventario de emisiones,
- Aquellas que representan un carácter sinérgico entre calidad del aire y cambio climático, y
- Aquellas que resultan más costo-efectivas.

Para ello, se clasificaron en cinco ejes, y cada uno divididos en estrategias, tal como se puede visualizar en la figura 135.

1) Prevención, regulación, control y mitigación de emisiones
2) Gestión de la calidad del aire
3) OCSAS y adaptación al cambio climático
4) Salud ambiental
5) Gestión del conocimiento

A su vez, cada estrategia, contiene diversas medidas y acciones.

EJES	Eje 1. Prevención, control y mitigación de emisiones	Eje 2. Gestión de la Calidad del Aire	Eje 3. OCSAs y Adaptación al Cambio Climático	Eje 4. Salud Ambiental	Eje 5. Gestión del conocimiento
ESTRATEGIAS	1. Movilidad y Transporte Sustentable 2. Industria, comercio y servicios 3. Reducción de emisiones en la quema de biomasa y residuos 4. Eficiencia energética	5. Fortalecimiento de la gestión de la calidad del aire	6. Adaptación biodiversidad 7. Adaptación Forestal 8. Adaptación Agrícola 9. Adaptación Hídrica 10. OCSA	10. Salud ambiental	11. Capacitación 12. Comunicación y difusión 13. Investigación
MEDIDAS	19	3	31	7	9
ACCIONES					

FIGURA 135. NÚMERO DE MEDIDAS POR EJES DEL PROAIRE-PEACC DEL ESTADO DE PUEBLA

6.2. DEFINICIÓN DE LÍNEAS DE ACCIÓN Y METAS EN MATERIA DE CALIDAD DEL AIRE Y CAMBIO CLIMÁTICO.

En materia de calidad del aire y tomando como referencia fundamental el inventario de emisiones, año base 2020 elaborado como parte de este proyecto, se identificaron estrategias y medidas que derivaron en acciones y metas específicas en materia de reducción de emisiones al 2030. Las medidas y líneas de acción se plantearon tratando de que tuvieran un impacto en el mejoramiento de la calidad del aire como en la reducción de emisiones GyCEI y CCVC. Es importante mencionar que la descripción completa de las medidas se presenta en el apartado 6.3.

Lo anterior se describe a continuación considerando las estrategias que se identificaron en este estudio.

6.2.1. Eje 1. Prevención, control y mitigación de emisiones

Tabla 73. Estrategia 1. Movilidad y transporte sustentable

MEDIDA	ACCIONES	META REDUCCIÓN AL 2030 (t/año)
M-1.1 Desarrollo de un programa de electromovilidad para el sector transporte	**LA-1.1.1** Se evaluará la pertinencia de establecer un programa de sustitución y expansión gradual del parque vehicular RUTA, por vehículos eléctricos con o sin catenaria por las autoridades responsables con el apoyo de la autoridad ambiental estatal. **LA-1.1.2** Se evaluará la pertinencia de establecer un programa de sustitución gradual del transporte de pasajeros, por vehículos eléctricos por las autoridades responsables de transporte estatal con el apoyo de la autoridad ambiental estatal. **LA-1.1.3** La autoridad ambiental estatal evaluará la pertinencia de establecer un programa de sustitución de taxis y del servicio por vía digital, que lleguen al final de su vida útil o que entren en circulación por primera vez, por vehículos híbridos o eléctricos. La meta es que para el 2030 aproximadamente el 20% de los taxis sean de bajas emisiones. **LA-1.1.4** La autoridad ambiental estatal evaluará la pertinencia de establecer un programa de sustitución de autos particulares con vehículos híbridos o eléctricos, a través de incentivos como el no pago de la tenencia, la no verificación vehicular, circular todos los días en el caso de contingencias ambientales y en colaboración con el sistema bancario, que se brinden facilidades en la obtención de créditos con bajas tasas de interés.	PM_{10} 88 $PM_{2.5}$ 66 SO_2 44 CO 7,696 NOx 1,827 COV 714 NH_3 12 CO_2 241,924 CH_4 27 N_2O 6 CN 14 CO_2e 244,369
M-1.2 Reducción de emisiones en el transporte pesado de carga y de pasajeros.	**LA-1.2.1** La autoridad ambiental estatal en coordinación con la autoridad de Movilidad y Transporte del Estado, instituciones financieras, las agrupaciones de transportistas y dueños de los camiones de carga, promoverá la implementación de un programa de sustitución paulatina de unidades en circulación, con énfasis en aquellas de mayor antigüedad. La renovación puede ser directamente a vehículos eléctricos o híbridos o puede instrumentarse el recambio con vehículos a diésel con tecnología EPA 10 o Euro VI. La propuesta es que para el 2030 el 30% de la flota vehicular de carga sea vehículos que cumplan con dichas características. **LA-1.2.2** Instalación de trampas de partículas en vehículos diésel, promoviendo su implementación. **LA-1.2.3** Revisarán y en su caso, actualizarán la normatividad vigente para fortalecer las acciones que en materia de renovación vehicular se implementen en el estado, incluyendo las relacionadas con la incorporación de autos eléctricos y orientar el mercado a vehículos de bajas emisiones. **LA-1.2.4** Reforzarán la coordinación con la Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transporte para el cumplimiento de la verificación de las emisiones del transporte de carga con placa federal que circula por la entidad.	PM_{10} 416 $PM_{2.5}$ 370 NOx 2,128 CN 107
M-1.3 Reducción de emisiones en el transporte particular ligero	**LA-1.3.1** Por ser una atribución federal la autoridad ambiental estatal gestionará ante la CRE a través de la CAMe y la SEMARNAT la mejora regulatoria de la Norma Oficial Mexicana NOM-016-CRE-2016 (Especificaciones de calidad de los petrolíferos) para establecer que el diésel automotriz que se distribuye en el territorio nacional contenga un máximo de 10 partes por millón de Azufre (10 ppm), o en su defecto en toda la región CAMe. **LA-1.3.2** Por ser una atribución federal la autoridad ambiental estatal gestionará ante la CAMe y la SEMARNAT la revisión y la pronta publicación para consulta pública del proyecto de	NOx 2,661 COV 1,141 Las emisiones de CO_2 se consideran en la medida de electromovilidad

MEDIDA	ACCIONES	META REDUCCIÓN AL 2030 (t/año)
	actualización de la NORMA Oficial Mexicana NOM-042-SEMARNAT-2003, en donde se establecen los límites máximos permisibles con base en las nuevas tecnologías disponibles. **LA-1.3.3** Fortalecerá el programa de verificación de emisiones vehiculares de acuerdo con la NOM-167-SEMARNAT-2017 y los acuerdos y evaluaciones realizadas por la CAMe a fin de contribuir a una transición a un parque vehicular más limpio con criterios basados en el holograma de verificación que favorezcan a los vehículos de más bajas emisiones. **LA-1.3.4** Implementará un programa de vigilancia del cumplimiento de la verificación vehicular obligatoria. **LA-1.3.5** Incorporará, de ser pertinentes, cambios regulatorios al transporte de pasajeros tipo microbús o autobús para que integren criterios ambientales (por ejemplo, que cumplan con las especificaciones EPA 10 o EURO VI) en la solicitud de permisos o renovación de concesiones con la finalidad de tener unidades más eficientes en el consumo energético como en la reducción de emisiones.	
M-1.4 Fomentar e implementar la carga laboral remota	**LA-1.4.1** La autoridad ambiental estatal con base en su pertinencia implementará un programa de trabajo en casa para servidores públicos del Gobierno del Estado de Puebla, así mismo, promoverá con las empresas privadas que fomenten el trabajo vía remota. **LA-1.4.2** La autoridad ambiental estatal promoverá un programa de horarios escalonados y compactados en el que participen gobierno, las instituciones educativas y la iniciativa privada. **LA-1.4.3** La autoridad ambiental estatal en coordinación con otras dependencias del gobierno de Puebla ampliarán los trámites virtuales en oficinas de gobierno para reducir el número de viajes realizados por parte de la ciudadanía.	PM_{10} 19 $PM_{2.5}$ 11 SO_2 22 CO 5,952 NOx 853 COV 513 NH_3 11 CO_2 133,808 CH_4 14 N_2O 4 CN 2 CO_2e 135,377
M-1.5 Ciudad peatonal incluyente	**LA-1.5.1** La autoridad ambiental estatal con la participación de la Secretaría de Movilidad y Transporte, municipios, realizarán estudios para determinar áreas o calles que puedan convertirse en peatonales y zonas cero emisiones. **LA-1.5.2** Realizarán las obras y adaptaciones necesarias en los espacios urbanos destinados a zonas peatonales **LA-1.5.3** Ampliarán el número y usos de sus ciclovías.	PM_{10} 36 $PM_{2.5}$ 19 SO_2 41 CO 11,023 NOx 1,579 COV 950 NH_3 20 CO_2 247,793 CH_4 26 N_2O 8 CN 4 CO_2e 250,698
M-1.6 Control de emisiones en el uso de las motocicletas	**LA-1.6.1** La autoridad ambiental estatal con la participación de la SEMARNAT, municipios, fabricantes de motocicletas, elaborarán un diagnóstico sobre el número, tipo y uso de motocicletas circulando en el estado de Puebla. **LA-1.6.2** Por ser una competencia federal, la autoridad ambiental estatal gestionará ante la SEMARNAT la elaboración de una NOM que establezca los límites máximos permisibles aplicables a motocicletas nuevas. **LA-1.6.3** La autoridad ambiental estatal en coordinación con las autoridades responsables promoverá el establecimiento de un programa de incentivos para la adquisición de motocicletas eléctricas y lograr una meta de que al menos el 33% de la flota de motocicletas en circulación al año 2030 sean eléctricas.	PM_{10} 29 $PM_{2.5}$ 18 SO_2 43 CO 13,792 NOx 825 COV 902 NH_3 38 CO_2 259,192 CH_4 30 N_2O 2 CN 2 CO_2e 260,476

TABLA 74. ESTRATEGIA 2. INDUSTRIA, COMERCIO Y SERVICIOS

MEDIDA	ACCIONES	META REDUCCIÓN AL 2030 (t/año)
M-2.1 Reducción de emisiones en el sector industrial	**LA-2.1.1** La autoridad ambiental estatal instaurará un sistema de control de calidad en la recepción de la información (COA estatal) que proporciona el industrial para tipificar de manera más precisa las emisiones que se están generando. **LA-2.1.2** La autoridad ambiental estatal establecerá acuerdos con el gobierno federal para seleccionar industrias estratégicas para visitas técnicas y cotejar y recopilar la información necesaria para la posible instrumentación de acciones de reducción de emisiones específicas para cada industria. **LA-2.1.3** La autoridad ambiental estatal en coordinación con el gobierno federal establecerá acuerdos con los industriales para instalar equipos de control de emisiones o mejoras en los procesos donde sea viable. **LA-2.1.4** Elaborará un estudio de factibilidad económica y técnica para utilizar otro combustible menos contaminante que el bagazo de caña utilizado en la fabricación de azúcar. **LA-2.1.5** Por ser una atribución federal la autoridad ambiental estatal gestionará ante la SEMARNAT la entrada en vigor y aplicación del Proyecto de Norma Oficial Mexicana PROY-NOM-170- SEMARNAT-2017, sobre los límites máximos permisibles de emisión provenientes de generadores de vapor que utilizan bagazo de caña de azúcar como combustible, con el objetivo de mitigar emisiones de carbono negro. **LA-2.1.6** La autoridad ambiental estatal establecerá acuerdos con el gobierno federal para explorar la factibilidad de otorgar asesoría técnica para mejorar eficiencias en la producción y reducir emisiones.	PM_{10} 3.021 $PM_{2.5}$ 1,748 SO_2 2.099 NOx 3.965 COV 731 CN 237
M-2.2 Reducción de emisiones en el sector de producción de ladrillo	**LA-2.2.1** La autoridad ambiental estatal con la participación de la Secretaría de Economía del estado de Puebla, áreas de desarrollo urbano y de medio ambiente de los municipios, BANOBRAS, SEMARNAT, INECC, elaborarán un diagnóstico de viabilidad que permita contar con la factibilidad y elementos necesarios para identificar sitios comunitarios donde ubicar nuevos hornos y los apoyos adicionales para reducir el rezago social de las familias que laboran en el sector. Además de incentivar la creación de cooperativas de ladrilleros. **LA-2.2.2** Elaborarán un programa de instalación de hornos comunitarios modernos. **LA-2.2.3** Actualizarán el padrón de ladrilleras que operan en el Estado que incluya el tipo de horno, tipo de combustibles y las emisiones generadas. **LA-2.2.4** Continuarán con los esfuerzos de elaborar y publicar una norma técnica ambiental estatal que regule las actividades de la fabricación de ladrillo. **LA-2.2.5** Diseñarán e instrumentarán medidas para evitar el uso de combustibles altamente contaminantes. **LA-2.2.6** Establecerán y aplicarán un plan para diversificar el sector con la promoción y aplicación de subsidio para transitar a la fabricación de ladrillos que no requieran el uso de hornos y quema de combustibles.	PM_{10} 2,955 $PM_{2.5}$ 2,700 SO_2 19 CO 5,233 NOx 159 COV 134 NH_3 5 CO_2 122,438 CH_4 268 N_2O 57 CN 53 CO_2e 145,135

MEDIDA	ACCIONES	META REDUCCIÓN AL 2030 (t/año)
	LA-2.2.7 En coordinación con las autoridades responsables revisarán y actualizarán los programas de desarrollo urbano para que incluyan criterios que permitan regular la instalación de hornos ladrilleros en parque industriales o sitios designados específicamente para ello. **LA-2.2.8** Establecerán programas de capacitación que brinden herramientas adicionales a los trabajadores del ramo y sus familias, tanto, para que puedan tener mejores oportunidades de estudiar y para el desarrollo de actividades complementarias que contribuyan a reducir el rezago social en el que se encuentran.	
M-2.3 Reducción de compuestos orgánicos volátiles en productos de uso doméstico y recubrimiento arquitectónico	**LA-2.3.1** La autoridad ambiental estatal elaborará una norma de competencia local para regular el contenido de COV en la industria de la pintura. **LA-2.3.2** La autoridad ambiental estatal gestionará ante la SEMARNAT la pronta publicación de la NOM-123-SEMARNAT-1998 (antes NOM-123-ECOL-1998) Qu establece el contenido máximo permisible de compuestos orgánicos volátiles (COV), en la fabricación de pinturas de secado al aire base disolvente para uso doméstico y los procedimientos para la determinación del contenido de estos en pinturas y recubrimientos. **LA-2.3.3** Elaborará lineamientos generales para la compra de consumibles con bajo contenido de COV por el gobierno estatal y los gobiernos municipales, así como la recomendación al gobierno estatal de “compras verdes”. **LA-2.3.4** Establecerá de manera gradual el uso de pinturas de bajo o cero contenidos de COV.	COV 2,315
M-2.4 Reducción de emisiones en la distribución y uso de gas LP doméstico	**LA-2.4.1** La autoridad ambiental estatal establecerá la realización de convenios entre los gobiernos municipales con asociaciones y empresas de gas LP, para la implementación de dispositivos de desconexión seca en instalaciones y vehículos de reparto de gas LP (Se abate en más del 90% las emisiones fugitivas). **LA-2.4.2** La autoridad ambiental estatal impulsará el desarrollo y difusión de un manual que contemple el mantenimiento del sistema de uniones que integran la conexión del tanque que almacena de combustible hasta a la estufa y/o calentados de agua, además del mantenimiento básico de los quemadores y demás componentes del sistema de combustión. **LA-2.4.3** La autoridad ambiental estatal establecerá un programa para ampliar el uso de estufas de inducción magnética. **LA-2.4.4** La autoridad ambiental estatal desarrollará una estrategia para orientar el cambio del uso de gas LP a energía eléctrica o solar, ya sea calentadores de agua o paneles solares. **LA-2.4.5** Con base en un estudio de pertinencia promover cambios en la normatividad estatal y municipal para que las construcciones residenciales nuevas, contengan estufas de inducción magnética, calentadores solares de agua y paneles solares.	PM_{10} 18 $PM_{2.5}$ 18 SO_2 23 CO 146 NOx 257 COV 1,832 NH_3 0 CO_2 244,311 CH_4 20 N_2O 0.4 CN 12 CO_2e 244,986

MEDIDA	ACCIONES	META REDUCCIÓN AL 2030 (t/año)
M-2.5 Evaluación de pertinencia para la instalación de sistemas de recuperación de vapores en estaciones de servicio del estado de Puebla	**LA-2.5.1** El gremio de gasolinero a través de acuerdos con la autoridad ambiental estatal fomentará la instalación de sistemas de recuperación de vapores en las estaciones de servicio del estado de Puebla, iniciando con el municipio de Puebla, en el cual se ubican 180 de las 565 en operación en el estado. Este proceso se plantea para un horizonte de 5 años con un 20% de las estaciones de servicio por año, iniciando en el 2023 y terminando en el 2027. Y al año 2030 ampliarlo a todos los municipios de la ZMVP. **LA-2.5.2** Por ser competencia federal la autoridad ambiental estatal gestionará ante la ASEA y la CAMe, la actualización de la NOM-004-ASEA-2017, para que incorpore al estado de Puebla dentro del ámbito espacial de aplicación de dicha norma. **LA-2.5.3** Con base en lo anterior se establecerá que todas las nuevas estaciones de servicio cuenten con sistemas de recuperación de vapores a través de estudios de impacto ambiental **LA-2.5.4** Por ser competencia federal, la autoridad ambiental estatal solicitará a la Comisión Reguladora de Energía, la actualización de la NOM-CRE-016 2016 Especificaciones de calidad de los petrolíferos, para que se ajuste la zonificación actual del estado de Puebla	COV 1,130
M-2.6 Distribución de gasolinas menos volátiles en la Zona Metropolitana del Valle de Puebla	**LA-2.6.1** Por ser competencia federal, la autoridad ambiental estatal solicitará a PEMEX en coordinación con la CAMe el suministro de gasolinas en la ZMVP con un máximo de 9 psi en el período del 16 de marzo al 31 de agosto (cuando las condiciones meteorológicas favorecen la formación y acumulación de ozono), para dar cumplimiento a lo establecido por la CAMe de que todos los estados que forman parte de ésta homologuen el uso de combustibles con las mismas características.	COV 605

TABLA 75. ESTRATEGIA 3. REDUCCIÓN DE EMISIONES EN LA QUEMA DE BIOMASA Y RESIDUOS

MEDIDA	ACCIONES	META REDUCCIÓN AL 2030 (t/año)
M-3.1 Regulación y control de quemas agrícolas e implementación de buenas prácticas de labranza	**LA-3.1.1** La autoridad ambiental estatal continuará con el fomento de las buenas prácticas agrícolas (prácticas de agricultura de conservación) que permitan el desarrollo de sistemas productivos agroecológicos y prácticas sustentables de “corta, pica y reincorpora” (en lugar de “roza, tumba y quema o de quemas agropecuarias). **LA-3.1.2** La autoridad ambiental estatal vigilará la aplicación de la Ley General de Prevención y Gestión Integral de Residuos, que en su artículo 100, prohíbe la quema de residuos a cielo abierto. **LA-3.1.3** La autoridad ambiental estatal coadyuvará con SEMARNAT y SADER en la vigilancia de lo que establece la Norma Oficial Mexicana NOM-015-SEMARNAT/SAGARPA-2007, tiene por objeto establecer las especificaciones técnicas de los métodos de uso del fuego en los terrenos forestales y en los terrenos de uso agropecuario, con el propósito de prevenir y disminuir los incendios forestales. **LA-3.1.4** La autoridad ambiental estatal elaborará una norma técnica estatal que regule las quemas agrícolas.	PM_{10} 2,512 $PM_{2.5}$ 1,330 SO_2 41 CO 6,895 NOx 306 COV 746 NH_3 138 CO_2 269,589 CH_4 289 N_2O 12 CN 121 CO_2e 280,993

MEDIDA	ACCIONES	META REDUCCIÓN AL 2030 (t/año)
M-3.2 Promoción para la reducción, prevención y control de emisiones en la gestión de residuos sólidos	**LA-3.2.1** La autoridad ambiental estatal en coordinación con la PROFEPA vigilará el cumplimiento de la NOM-083-SEMARNAT-2003, especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial. **LA-3.2.2** La autoridad ambiental estatal actualizará el diagnóstico de la disposición de residuos en el Estado, que identifique las prácticas de quema de residuos y disposición inadecuada, así como las prácticas donde haya control de emisiones de biogás y de su reutilización. **LA-3.2.3** La autoridad ambiental estatal establecerá un programa de clausura de todos los sitios de disposición final que operan como tiraderos a cielo abierto. **LA-3.2.4** La autoridad ambiental estatal en coordinación con las autoridades municipales establecerán esquemas que amplíen la cobertura de la recolección de residuos para reducir la disposición inadecuada de los mismos. **LA-3.2.5** La autoridad ambiental estatal diseñará una campaña permanente de difusión y sensibilización para la población sobre los efectos a la salud y al medio ambiente que tiene la quema de residuos. **LA-3.2.6** La autoridad ambiental estatal fortalecerá la aplicación de criterios de la economía circular, dentro de su programa estatal de gestión integral de residuos.	PM_{10} 171 $PM_{2.5}$ 157 SO_2 5 CO 388 NOx 27 COV 295 NH_3 0 CO_2 28,929 CH_4 10,867 N_2O 1 CN 19 CO_2e 333,460
M-3.3 Reducción de las emisiones por el consumo doméstico de leña y prevención de la exposición de las personas al humo de leña.	**LA-3.3.1** La autoridad ambiental estatal fortalecerá el programa de sustitución paulatina de fogones tradicionales con estufas mejoradas y/o sistemas con estufas de inducción magnética. En un promedio de 10 mil anuales. **LA-3.3.2** La autoridad ambiental estatal llevará a cabo acuerdos con las instituciones académicas del estado, para que diseñen y certifiquen estufas mejoradas de bajo costo, adecuadas a las necesidades locales. **LA-3.3.3** La autoridad ambiental estatal apoyará la instalación de estufas en las localidades con alta tasa de marginación, así como también capacitación para su mantenimiento y en su caso autoconstrucción. **LA-3.3.4** La autoridad ambiental estatal diseñará campañas de promoción y sensibilización dirigidas a las familias que utilizan leña para informar sobre los problemas que ocasionan a la salud de las familias la exposición a las emisiones generadas en su quema- y los beneficios en la economía y en su calidad de vida, por el uso de otras opciones tecnológicas. **LA-3.3.5** La autoridad ambiental estatal se coordinará con organizaciones de la sociedad civil y de las instituciones participantes, como la Organización Panamericana de la salud, para ampliar las capacidades de promoción e instalación de las estufas mejoradas **LA-3.3.6** La autoridad ambiental estatal establecerá un programa de monitoreo y verificación del proceso de instalación y uso de las estufas mejoradas.	PM_{10} 1,832 $PM_{2.5}$ 1,764 SO_2 52 CO 15,307 NOx 629 COV 4,718 NH_3 115 CO_2 401,546 CH_4 878 N_2O 27 CN 210 CO_2e 433,175

MEDIDA	ACCIONES	META REDUCCIÓN AL 2030 (t/año)
M-3.4 Fortalecer el programa del manejo de fuego y prevención de incendios forestales	**LA-3.4.1** La autoridad ambiental estatal participará con la CONAFOR y la SADER en las acciones de manejo del fuego en quemas pecuarias y agrícolas, durante los períodos de mayor ocurrencia de incendios y de mayores concentraciones de contaminantes atmosféricos (la época invernal y de estiaje). **LA-3.4.2** La autoridad ambiental estatal apoyará a la CONAFOR en el fortalecimiento de las capacidades y equipamiento de ejidatarios y comunidades forestales que apoyen en las mejores prácticas para el manejo de fuego. **LA-3.4.3** La autoridad ambiental estatal fortalecerá su vinculación en el grupo de trabajo permanente entre CONAFOR, CONANP, SADER, BIENESTAR y PROFEPA, para el análisis y evaluación periódica de las acciones propuestas para la prevención de incendios. **LA-3.4.4** La autoridad ambiental estatal promoverá con la CONAFOR el diseño de campañas de sensibilización dirigidas a la población sobre los riesgos de los incendios forestales y como prevenirlos. **LA-3.4.5** La autoridad ambiental estatal coadyuvará en el cumplimiento con lo establecido en la NORMA Oficial Mexicana NOM-015-SEMARNAT/SAGARPA-2007, Que establece las especificaciones técnicas de métodos de uso del fuego en los terrenos forestales y de uso agropecuario.	PM_{10} 135 $PM_{2.5}$ 114 SO_2 13 CO 1,335 NOx 40 COV 93 NH_3 13 CO_2 21,696 CH_4 23 N_2O 3 CN 8 CO_2e 23,143

TABLA 76. ESTRATEGIA 4. EFICIENCIA ENERGÉTICA

MEDIDA	ACCIONES	META REDUCCIÓN AL 2030 (t/año)
M-4.1 Elaborar e implementar el Programa de Auditoría Ambiental y Certificación de Edificaciones Sustentables	**LA-4.1.1** La autoridad ambiental estatal con la participación de la Secretaría de Planeación y Finanzas, la Agencia de Energía del estado de Puebla, Cámara de Comercio local, universidades, centros comerciales y organismos de la sociedad civil, desarrollarán e implementarán un Programa de Certificación de Edificaciones Sustentables, en colaboración con actores importantes de los sectores de servicios, comercio y construcción. **LA-4.1.2** Definirán esquemas de difusión para las edificaciones que obtengan certificación a través de medios digitales y canales de la Secretaría **LA-4.1.3** Promoverán el otorgamiento de incentivos económicos para las empresas que logren la certificación al Programa	La medida puede aportar hasta un 40% de reducción de emisiones GEI respecto del total de emisiones asociadas a edificios privados de los sectores de servicios, comercial y de educación, 164,226 ton CO_2e al 2030.
M-4.2 Eficiencia energética en edificios gubernamentales (municipal/ estatal).	**LA-4.2.1** El Ejecutivo Estatal con la participación de la autoridad ambiental estatal, la Agencia de Energía estatal, Secretaría de Planeación y Finanzas y las diversas dependencias del Gobierno del Estado de Puebla, diseñarán el mecanismo de reporte de emisiones de GEI para órganos centralizados y descentralizados del estado de Puebla, así como cada uno de los Ayuntamientos. **LA-4.2.2** Revisarán las fuentes de emisión (directas/indirectas) significativas, así como seleccionarán edificios e instalaciones gubernamentales a intervenir.	La medida puede llegar a aportar hasta un 40% de reducción de emisiones GEI respecto del total de emisiones asociadas a servicios gubernamentales, lo que representa 1,563 ton CO_2e al 2030.

MEDIDA	ACCIONES	META REDUCCIÓN AL 2030 (t/año)
	LA-4.2.3 Realizarán un diagnóstico energético por edificio y establecimiento de metas, medidas y presupuesto. **LA-4.2.4** Definirán conceptos, objetivos y razones de cálculo de emisiones de GEI de los edificios gubernamentales a través de la creación de capacidades de las dependencias del Estado, **LA-4.2.5** Elaborarán un programa/ esquema y procedimientos donde se plasmen los pasos que cada organismo (descentralizado/ centralizado) debe seguir para estimar las emisiones de GEI de sus operaciones, donde como objetivo se pretende que cada dependencia posea una guía adecuada a las operaciones que realizan y que tengan mayor conocimiento de las razones para hacerlo. **LA-4.2.6** Cumplirán con los objetivos de reducción de dichas emisiones a través del tiempo por medio de: buenas prácticas dentro de las edificaciones y de proyectos de eficiencia energética para intervención en cada establecimiento sujeto al programa. **LA-4.2.7** Cumplirán con las obligaciones a nivel federal en el Marco del Registro Nacional de Emisiones.	
M-4.3 Incentivos verdes para la adquisición de sistemas de calentamiento solar o sistemas fotovoltaicos en Micro, Pequeñas y Medianas empresas (MiPyMEs).	**LA-4.3.1** La Agencia de Energía del estado de Puebla con la participación de la autoridad ambiental estatal, la Secretaría de Planeación y Finanzas, empresas constructoras, Cámara Nacional de la Industria de la Construcción, empresas e instituciones proveedoras de equipos de energía solar, fotovoltaica y fototérmica, se coordinarán para la publicación de resultados y beneficios del Programa “Incentivos Verdes” para las MiPyMEs **LA-4.3.2** Evaluarán y difundirán el alcance del Programa. **LA-4.3.3** Difundirán los beneficios y procedimientos con los pasos que cada interesado debe seguir para aplicar al Programa de “Incentivos Verdes” y en su caso, la ampliación a unidades residenciales en concordancia a la lo que establece en la Estrategia de Eficiencia y Transición Energética del estado de Puebla. **LA-4.3.4** Realizarán de campañas y capacitaciones con información acerca del beneficio de la adopción de tecnologías y prácticas de eficiencia energética en los sectores residencial y comercial. **LA-4.3.5** Construir el Catálogo de Proveedores del Sector Energético en Puebla (CAPROSEP) a través de la difusión y promoción de su registro a empresas proveedoras de energía solar fotovoltaica y fototérmica en el estado de Puebla, para que la población tenga acceso a información confiable, oportuna y de fácil consulta. **LA-4.3.6** Difundirán los instrumentos de política pública asociados al fomento de la energía renovable como el Fondo para la Transición Energética y el Aprovechamiento Sustentable de la Energía (FOTEASE) para proyectos o programas que diversifiquen y enriquezcan las opciones para el cumplimiento de las metas en materia de energías limpias y eficiencia energética.	Se estima que la reducción máxima alcanza un 40%, lo cual representa 594,893 tonCO_2e al 2030.

6.2.2. Eje 2. Establecimiento de medidas de fortalecimiento de la gestión de la calidad del aire

Tabla 77. Estrategia 5. Fortalecimiento de la gestión de la calidad del aire

MEDIDA	OBJETIVO	ACCIONES
M-5.1 Rediseñar el monitoreo de la calidad del aire de la ZMVP y ampliarlo a otras áreas del Estado.	Fortalecer el monitoreo de la calidad del aire para que la población cuente con información transparente, confiable y disponible al momento	**LA-5.1.1** La autoridad ambiental estatal con la participación de la CAMe, SEMARNAT, INECC y la academia, realizarán estudios de caracterización de las estaciones de monitoreo atmosférico. **LA-5.1.2** Realizarán estudios que permitan identificar áreas sensibles a la contaminación y la instalación de equipos de medición en ellas. **LA-5.1.3** Realizarán estudios para instalar estaciones de monitoreo de la calidad del aire en otras ciudades del estado. **LA-5.1.4** Ampliarán el sistema de monitoreo de la calidad del aire en el estado de Puebla. **LA-5.1.5** Evaluarán la pertinencia de implementar un sistema de monitoreo con sistemas de medición de bajo costo para estudios en microambientes y de exposición personal. **LA-5.1.6** Promoverán estudios para documentar el impacto de la contaminación atmosférica, especialmente del ozono, en zonas rurales y áreas naturales protegidas. **LA-5.1.7** Gestionarán y colaborarán con la SEMARNAT la actualización de la NOM 156. **LA-5.1.8** Fortalecerán el sitio WEB de calidad del aire con la finalidad de difundir la información generada de calidad del aire.
M-5.2 Mantener actualizado el inventario de emisiones de contaminantes, compuestos y gases de efecto invernadero	Contar con mejores datos, para aumentar las capacidades de planeación y gestión de la calidad el aire y del cambio climático de los gobiernos locales.	**LA-5.2.1** La autoridad ambiental estatal con la participación de la CAMe, la SEMARNAT y el INECC, Identificarán estudios y acciones de jurisdicción local para mejorar las estimaciones realizadas en las categorías más emisoras. **LA-5.2.2** Se coordinarán con los gobiernos municipales para generar información de estos y mejorar la estimación de emisiones a nivel municipal. **LA-5.2.3** Acordarán los estudios o acciones a realizar para mejorar las fuentes de datos que alimentan el desarrollo de los inventarios de emisiones y las fuentes de financiamiento. **LA-5.2.4** Actualizarán los inventarios de emisiones a los años 2024, 2026 y 2028 y 2030. **LA-5.2.5** Con el desarrollo de nuevos inventarios, realizarán un recálculo de los inventarios de emisiones previamente elaborados a partir del año base. **LA-5.2.6** Destinarán mayores recursos al área encargada de elaborar los inventarios de emisiones.
M-5.3 Desarrollo de un programa de contingencias ambientales atmosféricas de la ZMVP y municipios que cuenten con sistemas de monitoreo atmosférico.	Desarrollar un Programa de Contingencias Ambientales Atmosféricas para la protección de la salud de la población conforme a las normas oficiales mexicanas.	**LA-5.3.1** La autoridad ambiental estatal establecerá un calendario para el desarrollo del programa de contingencias ambientales. **LA-5.3.2** Establecerán niveles de activación para contingencias por ozono, $PM_{2.5}$ y PM_{10}. **LA-5.3.3** Actualizarán las acciones que debe aplicar cada uno de los actores incluidos en el programa, así como los tiempos correspondientes de inicio y terminación. **LA-5.3.4** Publicarán en la gaceta oficial del estado de Puebla el Programa de Contingencias Ambientales Atmosféricas de la ZMVP.

6.2.3. Eje 3. OCSAS y adaptación al cambio climático (Establecimiento de medidas ante el cambio climático).

En materia de estrategias de adaptación ante el cambio climático, se definieron las medidas y sus acciones con base en los sectores considerados; biodiversidad, forestal, agrícola, hídrico y uno vinculado a objetivos de conservación socio ambiental que fueron identificados por los asistentes a las reuniones de consulta pública realizadas.

Tabla 78. Estrategia 6. Adaptación de la biodiversidad al cambio climático

MEDIDA	OBJETIVO	ACCIÓN
M-6.1 Aumento de la red de instrumentos de conservación territorial, declarando Áreas Naturales Protegidas (ANP) o Áreas Destinadas Voluntariamente para la Conservación (ADVC)	Incrementar el área en la que los elementos clave (priorizados con base biocultural y económica) tengan el menor impacto generado por procesos antrópicos y tengan la menor exposición al cambio climático	**LA-6.1.1** CONANP con la participación de la autoridad ambiental estatal, priorizarán sitios para promover el establecimiento de las ANP y ADVC. **LA-6.1.2** Establecerán contacto con los actores de interés en los territorios priorizados. **LA-6.1.3** Definirán potencial de cada territorio respecto a los actores relevantes. **LA-6.1.4** Realizarán talleres en conjunto con los actores de interés para definir planes de manejo. **LA-6.1.5** Reseleccionarán prioridades respecto a sitios con poco potencial por razones socioeconómicas.
M-6.2 Establecimiento de nuevas UMAs	Proporcionar alternativas de medios de vida a las comunidades mediante el uso legal y sustentable de la biodiversidad.	**LA-6.2.1** La autoridad ambiental estatal con la participación de la SDR, CONANP, SEMARNAT, autoridades municipales y agrarias, priorizarán especies y/o sitios para promover el establecimiento de UMA. **LA-6.2.2** Establecerán contacto con los actores interesados. **LA-6.2.3** Realizarán talleres en conjunto con los actores de interés para identificar necesidades y viabilidad. **LA-6.2.4** Elaborarán un plan de manejo para las UMAs.
M-6.3 Implementación de programas de reintroducción de especies	Mantener poblaciones viables de especies prioritarias en sitios donde han sido extirpadas.	**LA-6.3.1** La autoridad ambiental estatal con la participación de la SDR, CONANP, SEMARNAT, autoridades municipales y agrarias, seleccionará especies prioritarias para la reintroducción de acuerdo su exposición al cambio climático. **LA-6.3.2** Identificarán sitios impactados, principalmente cercanos o dentro de ANP, ADVC y/o UMA. **LA-6.3.3** Promoverá en conjunto con los aliados programas de reintroducción de las especies clave, preferentemente mediante procesos participativos de restauración, seguimiento y monitoreo.
M-6.4 Establecimiento de programas de migración asistida de especies (disminución de la exposición de las especies al cambio climático)	Posibilitar la dispersión de las especies a través del paisaje hacia sitios con condiciones climáticas idóneas.	**LA-6.4.1** La autoridad ambiental estatal con la participación de la SDR, CONANP, SEMARNAT, PROFEPA, identificarán las especies priorizadas con mayor exposición a cambio climático **LA-6.4.2** Identificarán los sitios con climas homólogos a los actuales de preferencia en sitios dentro o cercanos a ANP, ADVC y UMA **LA-6.4.3** Apoyarán el establecimiento de viveros y criaderos en localidades cercanas a los sitios de reintroducción **LA-6.4.4** Realizar programas comunitarios de crianza - reintroducción y seguimiento. **LA-6.4.5** Apoyarán técnicamente a implementar un programa de migración asistida **LA-6.4.6** Apoyarán técnicamente a establecer programas de monitoreo de los programas de producción, crianza, reintroducción y de la migración asistida.

MEDIDA	OBJETIVO	ACCIÓN
M-6.5 Disminución de la extracción y el cambio de uso del suelo por monocultivos de agave mediante la promoción de mejores prácticas en ferias de mezcal artesanal	Disminuir la extracción ilegal y el cambio de uso de suelo por monocultivos de agave mediante la promoción de mejores prácticas en ferias de mezcal artesanal.	**LA-6.5.1** La SDR con la participación de la autoridad ambiental estatal, la Secretaría de Economía de Puebla, SEMARNAT, CONAFOR, PROFEPA, CONANP, SADER, coadyuvarán a definir buenas prácticas en el cultivo y extracción de agave mezcalero. **LA-6.5.2** Apoyarán la elaboración de guías de buenas prácticas. **LA-6.5.3** Identificarán productores artesanales. **LA-6.5.4** Distribuirán guías entre productores artesanales. **LA-6.5.5** Realizar talleres sobre buenas prácticas entre productores y promotores de eventos. **LA-6.5.6** Promoverán que los organizadores de ferias de mezcal destaquen la participación de productores cuyo producto es sustentable en toda la cadena productiva. **LA-6.5.7** Vigilarán el cumplimiento con la normatividad vigente en materia de cambios de usos del suelo.
M-6.6 Diversificación productiva sustentable mediante identificación de nuevos mercados para especies y/o productos, considerando los criterios de sustentabilidad, trazabilidad y legalidad en la cadena productiva.	Promover la diversificación productiva sustentable para aumentar la capacidad adaptativa de las comunidades.	**LA-6.6.1** La SDR con la participación de la autoridad ambiental estatal, Secretaría de Economía de Puebla, SEMARNAT, PROFEPA, CONAFOR, SADER, realizarán un análisis del potencial de elementos clave para la creación de nuevos mercados sustentables **LA-6.6.2** Definirán apoyos a productores dispuestos a participar en nuevos mercados **LA-6.6.3** Aplicación de un programa de apoyo con base en la potencialidad de nuevos mercados sustentables. **LA-6.6.4** Apoyarán la realización de ferias y eventos para fomentar el comercio justo y sustentable.
M-6.7 Manejo, control y erradicación de especies exóticas invasoras (incluye domésticos de libre rango y ferales)	Controlar y erradicar especies exóticas invasoras mediante la elaboración y aplicación de programas de manejo para el control y erradicación de especies exóticas invasoras.	**LA-6.7.1** La autoridad ambiental estatal con la participación de la CONABIO, CONANP, realizarán un estudio sobre los impactos de especies exóticas invasoras en el estado y medidas para su manejo, control o erradicación **LA-6.7.2** Identificarán los sitios con mayor impacto y las especies involucradas. **LA-6.7.3** Priorizarán sitios de acción **LA-6.7.4** Apoyarán la elaboración de programas específicos de manejo, control y erradicación por especie y sitio.
M-6.8 Incrementar el reconocimiento sobre la importancia de la conservación de los ecosistemas y paisajes sustentables. Mediante el impulso de la meliponicultura y apicultura como actividad económica que mejore los procesos de polinización.	Mejorar e incrementar la meliponicultura y apicultura como actividad económica que mejore los procesos de polinización, incremente el reconocimiento por la importancia de la conservación de los ecosistemas e impulse paisajes sustentables.	**LA-6.8.1** SDR con la participación de la autoridad ambiental estatal, Secretaría de Economía de Puebla, SADER, identificarán buenas prácticas de apicultura y meliponicultura. **LA-6.8.2** Identificarán individuos y sociedades con experiencia en buenas prácticas relacionadas con la apicultura y meliponicultura. **LA-6.8.3** Determinarán apoyos y procedimientos para productores que apliquen buenas prácticas. **LA-6.8.4** Apoyarán la realización de ferias e intercambio de experiencias para promover el interés en distintos sectores (por ejemplo, ganaderos) **LA-6.8.5** Registrarán productores que recibirán apoyos. **LA-6.8.6** Aplicarán programa de apoyo al sector apícola – melipolícola.

TABLA 79. ESTRATEGIA 7. ADAPTACIÓN FORESTAL AL CAMBIO CLIMÁTICO

MEDIDA	OBJETIVO	ACCIÓN
M-7.1 Fortalecer las estrategias estatales de manejo Agroforestal.	Fortalecer y diversificar los sistemas productivos promoviendo soluciones basadas en la naturaleza y desincentivando la deforestación.	**LA-7.1.1** La SDR con la participación de la Secretaría de Bienestar, SEMARNAT, SADER, Promotoría de Desarrollo Forestal en Puebla, INIFAP, la autoridad ambiental estatal, Secretaría de Bienestar Puebla (SBP), fortalecerán la Estrategia Estatal de Producción Agroforestal que considere las condiciones socioambientales regionales actuales y bajo escenarios de cambio climático y que favorezca prácticas de producción y consumo sostenibles y la conservación de los recursos naturales. **LA-7.1.2** Realizarán un estudio de factibilidad y viabilidad de la Estrategia para asegurar la rentabilidad de los productos, y la aceptación social de la Estrategia. **LA-7.1.3** Implementarán e impulsarán la Estrategia Estatal de Producción Agroforestal a lo largo del estado. **LA-7.1.4** Desarrollarán e implementarán un Sistema de Monitoreo y Evaluación de la Estrategia Estatal de Producción Agroforestal.
M-7.2 Análisis de factibilidad para el establecimiento de bancos de germoplasma de especies forestales y no forestales.	Mantener la diversidad genética vegetal del estado de Puebla	**LA-7.2.1** La autoridad ambiental estatal con la participación de la CONAFOR, INIFAP y comunidades locales, elaborarán los estudios requeridos por la autoridad competente para la obtener la autorización y permisos correspondientes. **LA-7.2.2** Evaluarán la pertinencia de construir y equipar un banco de germoplasma vegetal que albergue semillas de importancia, en riesgo, endémicas, nativas, amenazadas, raras y en peligro de extinción. **LA-7.2.3** Evaluarán la pertinencia de dotar de recursos humanos y monetarios permanentes al banco de germoplasma vegetal. **LA-7.2.4** Evaluará la pertinencia de la colecta y mantenimiento del material genético vegetal del estado.
M-7.3 Aumento de la superficie forestal bajo esquemas de Pago por Servicios Ambientales en el estado de Puebla	Promover la conservación de los ecosistemas y el apoyo a comunidades, ejidos, Asociaciones Regionales de Silvicultores y propietarios de terrenos forestales a través esquemas de Pago por Servicios Ambientales (PSA).	**LA-7.3.1** La autoridad ambiental estatal con la CONAFOR y empresas y asociaciones del estado de Puebla identificarán entidades que promuevan la conservación de ecosistemas mediante el PSA. **LA-7.3.2** Identificarán potenciales candidatos a recibir apoyo a través de esquemas de PSA. **LA-7.3.3** Proporcionarán el apoyo técnico a los potenciales candidatos en la elaboración de solicitudes, a través de canalizarlos con técnicos certificados para que puedan elaborar de manera conjunta la solicitud. **LA-7.3.4** Darán acompañamiento técnico durante el tiempo que se reciba el apoyo de PSA.
M-7.4 Enverdecimiento urbano	Aumentar los servicios ambientales y disminuir la vulnerabilidad de la población e infraestructura de las zonas urbanas.	**LA-7.4.1** La autoridad ambiental estatal, con la participación de la Secretaría de Infraestructura del estado de Puebla, Instituto Municipal de Planeación, Autoridades municipales, población urbana, Organizaciones de la Sociedad Civil, realizarán un diagnóstico de las normas, programas, proyectos a nivel federal, estatal y municipal, que sustenten o puedan sustentar la implementación de acciones de infraestructura verde como medidas de mitigación y

MEDIDA	OBJETIVO	ACCIÓN
		adaptación al cambio climático, y de desarrollo urbano sostenible. **LA-7.4.2** Implementarán las acciones elegidas con el acompañamiento de expertos. **LA-7.4.3** Establecerán un sistema de monitoreo y evaluación participativo que permita medir la eficacia y permanencia de la infraestructura verde implementada.
M-7.5 Bosques Urbanos.	Establecer la estrategia para contar con más de 10m^2 de zona verde/habitante en las principales ciudades del estado de Puebla.	**LA-7.5.1** La autoridad ambiental estatal con la participación de la CONAFOR, Autoridades municipales, Institutos Municipales de Planeación, realizarán un inventario de áreas verdes y su arbolado en las localidades urbanas del estado de Puebla para actualizar el indicador áreas verdes/habitantes. **LA-7.5.2** Elaborarán un diagnóstico para identificar sitios potenciales para la reforestación, restauración o aforestación de bosques urbanos. **LA-7.5.3** Diseñarán e implementarán una estrategia regional de reforestación, restauración y aforestación urbana con un enfoque para el manejo y la expansión del bosque urbano, como estrategia para mitigar los efectos negativos del cambio climático, y favorecer la igualdad y equidad de la población. **LA-7.5.4** Diseñarán e implementarán una campaña de sensibilización sobre la importancia de los bosques urbanos en la salud de la población y la conservación de ecosistemas. **LA-7.5.5** Establecerán un programa de mantenimiento y monitoreo de los bosques urbanos como espacios educativos, recreativos y de conservación de la biodiversidad.
M-7.6 Restauración y reforestación de ecosistemas vulnerables al cambio climático	Impulsar la restauración y reforestación de la vegetación natural y de sitios vulnerables al cambio climático, para aumentar la resistencia y resiliencia de los ecosistemas forestales y aumentar el volumen de recarga de los acuíferos.	**LA-7.6.1** La autoridad ambiental estatal con la participación de autoridades municipales, CONAFOR, CONANP, realizarán un estudio socio ambiental para identificar sitios potenciales para la restauración de ecosistemas forestales vulnerables al cambio climático, que considere la capacidad de fijación de carbono y de infiltración de agua de lluvia, así como beneficios socioambientales para la población. **LA-7.6.2** Generarán e implementarán una estrategia regional de restauración y revegetación que considere a las comunidades locales y pueblos originarios con perspectiva de género e igualdad sustantiva. **LA-7.6.3** Adquirirán especies nativas, de relevancia para el sector forestal y resistentes al cambio climático. **LA-7.6.4** Prepararán los sitios elegidos para llevar acciones de restauración y reforestación. **LA-7.6.5** Realizarán jornadas de reforestación inclusivas y con enfoque de género, para fortalecer los sumideros de carbono y la recarga de acuíferos. **LA-7.6.6** Establecerán un programa permanente de mantenimiento y monitoreo de la salud y estado de la vegetación de las áreas intervenidas.

TABLA 80. ESTRATEGIA 8. ADAPTACIÓN AGRÍCOLA AL CAMBIO CLIMÁTICO

MEDIDA	OBJETIVO	ACCIÓN
M-8.1 Estudio sobre la aptitud de distintos cultivos importantes en el estado de Puebla ante los riesgos de los impactos del cambio climático.	Determinar cuáles son los cultivos en el estado de Puebla que continuarán siendo productivos bajo escenarios de cambio climático y reducir los riesgos de los impactos del cambio climático en el sector para promover el cambio de cultivos, de localización geográfica y temporalidad, así como de formas de cultivar) y sus cadenas de valor.	**LA-8.1.1** La SDR con la participación de la autoridad ambiental estatal, SADER, INAES, realizarán una priorización de los productos agrícolas a estudiar (ya sea por relevancia cultural, productiva o redituables). **LA-8.1.2** Generarán de mapas de aptitud por cultivos con condiciones actuales y futuras del clima para conocer el cambio en su distribución en suelos agrícolas del estado. **LA-8.1.3** Realizarán estudios sobre formas de producción agrícola (tradicional, regenerativa, agroforestal, agroecológica) para determinar cuáles son las formas que cumplen mejor con la sustentabilidad, el medio ambiente y aptitud para cultivos. **LA-8.1.4** Elaborarán un estudio sobre cadenas de valor de los productos seleccionado para encontrar las soluciones y fortalecer las mismas al identificar a los actores.
M-8.2 Fortalecimiento de la cobertura de los seguros ante eventos climáticos extremos para el sector agrícola y pecuario.	Contar con un sistema de transferencia de riesgo para el sector agrícola contra riesgos climáticos mediante el fortalecimiento de la cobertura de los seguros.	**LA-8.2.1** La SDR con la participación de la SADER, Agroasemex, Secretaría Hacienda y Crédito Público}, realizarán alianzas con áreas del gobierno federal en la construcción de seguros y financiamiento al campo (FIRA). **LA-8.2.2** Establecerán alianzas con fondos de aseguramiento agropecuario y rural las cuales son asociaciones civiles de productores que con sus propios recursos se otorgan el servicio de seguro agropecuario. **LA-8.2.3** Realizarán alianzas con compañías privadas de seguros con experiencia en la construcción de seguros. **LA-8.2.4** Establecerán alianzas con organizaciones internacionales como el Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) con experiencia en la construcción de programas piloto de seguros climáticos.
M-8.3 Ampliar la cobertura estatal de los Programas de Ordenamiento Ecológico del Territorio y Planes de Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano	Evitar y reducir conflictos sociales relacionados con el uso de suelo relacionado con la actividad agrícola. Establecer una política para evitar que incremente la frontera agrícola para evitar las emisiones de GEI por el cambio de uso de suelo mediante el desarrollo y/o actualización de los programas de ordenamiento ecológico del territorio, planes de ordenamiento territorial y de desarrollo urbano.	**LA-8.3.1** La autoridad ambiental estatal con la participación de los gobiernos municipales de Puebla, SEMARNAT, SEDATU, coordinarán con la SEMARNAT y SEDATU el establecimiento de bases para el desarrollo conjunto de los procesos de planeación territorial y ambiental que compatibilicen y complementen la formulación y las disposiciones de los ordenamientos en materias ecológica, territorial y de desarrollo urbano. **LA-8.3.2** Elaborarán y/o actualizarán el Programa de Ordenamiento Ecológico del Territorio (PEOT) del estado. **LA-8.3.3** Elaborar y/o actualizar el Plan de Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano (POTyDU) del Estado. **LA-8.3.4** Elaborar Programas de Ordenamiento Ecológico del Territorio Local (POETL) en los municipios que carecen de él. **LA-8.3.5** Apoyarán técnicamente en la actualización de los POETL en los municipios que lo tengan. **LA-8.3.6** Elaborar Planes de Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano en los municipios que carecen de él. **LA-8.3.7** Actualizar los Planes de Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano en los municipios que tengan. **LA-8.3.8** Establecerán medidas de aplicación a través de evaluación de impacto ambiental.

MEDIDA	OBJETIVO	ACCIÓN
M-8.4 Estrategia estatal de suelo para la agricultura sostenible ante los riesgos de los impactos del cambio climático	Fomentar, fortalecer y coordinar acciones para promover e incrementar el manejo sostenible de los suelos agropecuarios del territorio, que contribuya a la seguridad alimentaria y el bienestar de la población, mediante la conservación de sus múltiples funciones y la restauración de suelos agropecuarios degradados.	**LA-8.4.1** La SDR con la participación de la autoridad ambiental estatal, SADER, INIFAP, desarrollarán estrategias para el uso sostenible del suelo mediante un enfoque agroecológico que contribuya a conservar la biodiversidad, salud, funciones del suelo y su productividad. **LA-8.4.2** Diseñarán programas de acompañamiento técnico con la participación de agricultores, técnicos y el sector privado, para el manejo sostenible del suelo que incluya planes de producción sostenible y de conservación a nivel de microcuenca, subcuenca o cuenca. **LA-8.4.3** Implementarán programas de acompañamiento técnico con la participación de agricultores, técnicos y el sector privado, para el manejo sostenible del suelo que incluya planes de producción sostenible y de conservación a nivel de microcuenca, subcuenca o cuenca. **LA-8.4.4** Establecerán programas de incentivos para garantizar el manejo sostenible de los suelos agropecuarios en marco de las condiciones climáticas y socio ecológicas a nivel regional. **LA-8.4.5** Reducirán el uso excesivo de fertilizantes mediante el establecimiento de programas regionales con recomendaciones de dosis óptimas y el uso de aplicaciones divididas sincronizadas con base en el requerimiento nutrimental de los cultivos (tiempo) y técnicas adecuadas de aplicación (lugar). **LA-8.4.6** Promoverán la implementación de sistemas de labranza reducida de acuerdo con la capacidad de uso o unidad de suelo y fomentar prácticas para la retención y reincorporación residuos vegetales al suelo que incrementen el contenido de materia orgánica y coadyuve a la reducción de quemas agropecuarias, incluida la cosecha en verde de caña de azúcar. **LA-8.4.7** Conservarán o incrementarán la capacidad del suelo para la captura, infiltración y almacenamiento de agua, mediante prácticas y tecnologías adecuadas para cada contexto socio ecológico, como el policultivo, riego de conservación, retención de residuos de cosecha, cultivos de cobertura, adecuación de fechas de siembra, rotación de cultivos, terrazas, tinas ciegas, entre otras. **LA-8.4.8** Facilitarán el acompañamiento técnico para la rehabilitación de suelos degradados con base en las experiencias locales, los programas de la Secretaría y proyectos desarrollados en colaboración académicos y organismos nacionales e internacionales. **LA-8.4.9** Coordinarán la participación de académicos, productores y técnicos en la recopilación de información y desarrollo de materiales que integren las prácticas y técnicas para el manejo sostenible de suelos y la restauración de suelos degradados disponibles a nivel local, para su difusión entre agricultores. **LA-8.4.10** Establecerán e implementarán los indicadores para el monitoreo regional de las prácticas de manejo sostenible de suelos y restauración integral de suelos degradados, con la participación de diversos actores, para el seguimiento anual de los resultados durante períodos mínimos de 5 a 10 años.

TABLA 81. ESTRATEGIA 9. ADAPTACIÓN HÍDRICA AL CAMBIO CLIMÁTICO

MEDIDA	OBJETIVO	ACCIÓN
M-9.1 Gestión del agua sostenible en la agricultura	Aumentar el uso eficiente de los recursos hídricos en el sector agrícola.	**LA-9.1.1** La SDR con la participación de CONAGUA, IMTA, CECADESU-SEMARNAT, la autoridad ambiental estatal, Consejos Consultivos de Cuencas, diseñarán la estrategia que considere sistemas de captación y del uso de agua de lluvia en prácticas agrícolas que cubran el suelo con rastrojo para conservar la humedad por más tiempo, la instalación de sistemas de riego más eficientes, filtros para recarga de acuíferos, el uso de dispositivos "atrapa niebla" para condensar vapor y almacenar agua y el mantenimiento a sistemas de represas. **LA-9.1.2** Realizarán una campaña de difusión de la estrategia de gestión del agua sostenible en la agricultura.
M-9.2 Sistemas de riego de alta eficiencia	Eficientizar el uso del agua destinada para producción agrícola	**LA-9.2.1** La SDR con la participación de la autoridad ambiental estatal, Autoridades municipales, IMTA, CONAGUA, Consejos Consultivos de Cuenca promoverán una estrategia para la implementación de riego de alta eficiencia. **LA-9.2.2** Realizarán un análisis de viabilidad sobre los sistemas de riego en las regiones Puebla. **LA-9.2.3** Identificarán sitios, cultivos y productores beneficiarios para implementar la estrategia **LA-9.2.4** Brindarán asesoría técnica a los productores beneficiados sobre el uso y mantenimiento del sistema de riego. **LA-9.2.5** Implementarán de la estrategia de sistemas de riesgo de alta eficiencia. **LA-9.2.6** Realizarán un monitoreo en los sitios de implementación sobre la reducción del uso del agua. .
M-9.3 Reactivación y optimización operativa de plantas de tratamiento para aguas residuales Aumento del volumen tratado de aguas residuales.	Disminuir la contaminación asociada a la disposición de aguas residuales mediante la reactivación y optimización operativa de las plantas de tratamiento para aguas residuales en el estado de Puebla.	**LA-9.3.1** La Comisión Estatal de Agua y Saneamiento con la participación del Sistema Operador de los Servicios de Agua Potable y Alcantarillado de Puebla (SOAPAP), la autoridad ambiental estatal, CONAGUA, IMTA, SDR, Autoridades municipales, Consejos Consultivos de Cuenca, actualizarán el inventario y diagnóstico de las plantas de tratamiento aguas residuales (PTAR) municipales del Estado, con la finalidad de determinar su capacidad de tratamiento real, así como identificar sitios potenciales para instalar nuevas PTAR y sistemas alternativos de tratamiento de aguas residuales. **LA-9.3.2 A** partir de los resultados del diagnóstico y de un estudio de costo efectividad, apoyarán la rehabilitación de las plantas de tratamiento que lo requieran. **LA-9.3.3** Apoyarán la construcción de nuevas PTAR en los sitios identificados en el diagnóstico **LA-9.3.4** Promoverán la instalación de sistemas alternativos de tratamiento de aguas residuales en zonas rurales. **LA-9.3.5** Impulsarán a nivel normativo, la instalación-inclusión de sistemas de captación y aprovechamiento de biogás en las nuevas PTAR. **LA-9.3.6** Impulsar la instalación-inclusión de sistemas de captura y aprovechamiento de biogás generado en las PTAR.

MEDIDA	OBJETIVO	ACCIÓN
M-9.4 Recarga natural e inducida de acuíferos	Aumentar el volumen de recarga de los acuíferos mediante la identificación de e implementación de las técnicas adecuadas.	**LA-9.4.1** La Comisión Estatal de Agua y Saneamiento con la participación de la autoridad ambiental estatal, las autoridades municipales, IMTA, CONAGUA, Consejos Consultivos de Cuenca, seleccionarán sitios de implementación para la recarga gestionada del acuífero (MAR), priorizando aquellos acuíferos que presentan ya una sobreexplotación y estrés hídrico. **LA-9.4.2** Seleccionarán la técnica más adecuada de recarga artificial. **LA-9.4.3** Promoverán la elaboración de un proyecto ejecutivo para cada sitio seleccionado donde se llevará a cabo la recarga artificial del acuífero. **LA-9.4.4** Implementarán la recarga artificial de acuíferos en los sitios seleccionados. **LA-9.4.5** Realizarán el monitoreo del nivel piezométrico de los sitios intervenidos, así como de la calidad del agua utilizada para la recarga artificial del acuífero (NOM-014-CONAGUA-2003) y el agua extraída de los pozos cercanos a la zona intervenida para asegurar que no se esté contaminando el acuífero (NOM-003-CNA-1996).
M-9.5 Sistemas de captación y almacenamiento de agua de lluvia (SCALL	Instalar sistemas de captación y almacenamiento de agua de lluvia (SCALL) en zonas urbanas y rurales del estado de Puebla, que aseguren el derecho humano al agua establecido en el Artículo 4, párrafo 6 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos	**LA-9.5.1** La autoridad ambiental estatal con la participación de la Secretaría del Bienestar, DR, Autoridades municipales, IMTA, CONAGUA, Organismos Operadores, desarrollarán una estrategia a nivel estatal para la implementación de SCALL a nivel vivienda, escuelas y centros de trabajo, con énfasis en zonas urbanas con alta demanda de agua, y zonas rurales con alta marginación **LA-9.5.2** Realizarán un análisis de viabilidad financiera, social y ambiental de la estrategia diseñada **LA-9.5.3** Difundirán en zonas rurales, con apoyo de las autoridades locales y organizaciones de la sociedad civil, la captación de agua de lluvia como medida para el cuidado de la salud humana y el medio ambiente **LA-9.5.4** Incentivarán a través de la normatividad vigente en materia de construcción, que las viviendas, escuelas y centros de trabajo en zonas urbanas instalen SCALL para uso humano **LA-9.5.5** Desarrollarán y construirán SCALLs, conforme a los lineamientos y normatividad nacional vigente. **LA-9.5.6** Brindarán asesoría y capacitación técnica para el uso y mantenimiento adecuado de los sistemas **LA-9.5.7** Monitorearán anualmente los SCALL instalados
M-9.6 Drenaje separativo y pavimento permeable en localidades urbanas	Impulsar el desarrollo de infraestructura que permita la captación y conducción diferencial del agua de lluvia y las aguas residuales.	**LA-9.6.1** Secretaría de Infraestructura del estado de Puebla con la participación de la Comisión Estatal de Agua y Saneamiento, Organismos Operadores de Agua Potable y Alcantarillado, Autoridades municipales, analizarán e identificarán el marco legal aplicable y proponer mecanismos de alineación de políticas para la construcción de nueva infraestructura hídrica sostenible **LA-9.6.2** Realizarán un diagnóstico de los sistemas de alcantarillado en las ciudades y municipios del estado de Puebla, desde un enfoque de cambio climático y vulnerabilidad.

MEDIDA	OBJETIVO	ACCIÓN
		LA-9.6.3 Diseñarán y publicarán una estrategia a nivel estatal para la construcción de drenajes separativos e instalación de pavimento permeable en localidades urbanas. **LA-9.6.4** Elaborarán un análisis de viabilidad financiera, social y ambiental de la estrategia diseñada y los sitios potenciales a intervenir. **LA-9.6.5** Capacitarán al personal de la Secretaría de Infraestructura del estado de Puebla, y homólogos municipales, sobre el uso y correcta colocación de pavimento permeable. **LA-9.6.6** Capacitarán al personal de la Comisión Estatal de Agua y Saneamiento del estado de Puebla y Organismos Operadores municipales sobre el cuidado y mantenimiento del drenaje pluvial. **LA-9.6.7** Establecerán alianzas con la CONAGUA, la SCT y la SEDATU para impulsar la construcción de infraestructura urbana sostenible y resiliente. **LA-9.6.8** Construirán sistemas de drenaje y alcantarillado separativo en ciudades elegidas. **LA-9.6.9** Re-encarpetarán y colocarán pavimento permeable en zonas con alto potencial de infiltración dentro de las localidades urbanas.
M-9.7 Pago por servicios ambientales hídricos	Promover la conservación de los ecosistemas y el apoyo a comunidades y ejidos a través esquemas de Pago por Servicios Ambientales (PSA) hídricos.	**LA-9.7.1** La autoridad ambiental estatal con la participación de la CONAFOR y la SDR, identificarán entidades que promuevan la conservación de ecosistemas mediante el Pago por Servicios Ambientales. **LA-9.7.2** Identificarán potenciales candidatos a recibir apoyo de esquemas de PSA. **LA-9.7.3** Apoyarán a los potenciales candidatos en la elaboración de solicitudes. **LA-9.7.4** Darán acompañamiento técnico durante el tiempo que se reciba el apoyo de PSA
M-9.8 Mejoramiento de prácticas de manejo agronómico	Reducir la cantidad y/o impacto ambiental de los nutrientes, plaguicidas y herbicidas lixiviados a los acuíferos a través del mejoramiento de las prácticas de manejo agronómicas.	**LA-9.8.1** La SDR con la participación de la autoridad ambiental estatal, autoridades municipales, INIFAP, CONCYTEP, Comité Estatal de Sanidad Vegetal, realizarán un diagnóstico sobre volúmenes y tipos de insumos agrícolas utilizados para la fertilización, el manejo y control de plagas y malezas en las zonas agrícolas del Estado. **LA-9.8.2** Identificarán los esquemas de manejo alternativos con el fin de disminuir la cantidad y/o impacto ambiental de los insumos aplicados, logrando un control similar o mejor de las plagas respectivas. **LA-9.8.3** Identificarán los sitios y productores a participar con base en el diagnóstico y los esquemas de manejo alternativos identificados. **LA-9.8.4** Brindarán asesoría técnica a los productores sobre los esquemas de manejo alternativo. **LA-9.8.5** Monitorearán y sistematizarán la información obtenida de los productores y sitios en los que se implementan los cambios de manejo. **LA-9.8.6** Publicarán la información sistematizada en las páginas del gobierno de Puebla.

TABLA 82. ESTRATEGIA 10. MEDIDAS OCSA

MEDIDA	OBJETIVO	ACCIÓN
M-10.1 Plan de conservación de Anfibios.	Conservar las poblaciones de especies de anfibios prioritarias del Estado.	**LA-10.1.1** La autoridad ambiental estatal con la colaboración de la SEMARNAT, Priorizarán especies de acuerdo con el estado de sus poblaciones, hábitats, comportamiento y vulnerabilidad al cambio climático. **LA-10.1.2** Identificarán de hábitats acuáticos perennes y estacionales relevantes. **LA-10.1.3** Reducirán del uso de plaguicidas en zonas con influencia en los hábitats acuáticos relevantes. **LA-10.1.4** Fomentarán el establecimiento de una UMA para la reproducción en cautiverio de las especies prioritarias en conjunto con comunidades y actores interesados. **LA-10.1.5** Identificarán sitios candidatos para reintroducción o translocación de especies, considerando la exposición al cambio climático. **LA-10.1.6** Reintroducirán y/o translocarán individuos a los sitios identificados. **LA-10.1.7** Monitorearán las poblaciones reintroducidas o translocadas bajo un enfoque de manejo adaptativo. **LA-10.1.8** Controlarán y erradicarán especies invasoras en hábitats relevantes y sitios candidatos para la reintroducción o translocación.
M-10.2 Plan de conservación de orquídeas	Conservar las poblaciones de orquídeas del Estado.	**LA-10.2.1** La SDR con la participación de la autoridad ambiental estatal, SEMARNAT, PROFEPA, realizarán una priorización de orquídeas de acuerdo con el estado de sus poblaciones, historias de vida y vulnerabilidad al cambio climático. **LA-10.2.2** Fomentarán el establecimiento una UMA para la reproducción in vitro de las orquídeas en conjunto con comunidades y actores interesados. **LA-10.2.3** Identificarán sitios candidatos para reintroducción o translocación de especies, considerando la exposición al cambio climático y presencia de polinizadores. **LA-10.2.4** Reintroducirán y/o translocarán individuos a los sitios identificados. **LA-10.2.5** Monitorearán las poblaciones reintroducidas o translocadas. **LA-10.2.6** Identificarán los principales sitios de extracción y comercio ilegal. **LA-10.2.7** Fortalecerán la inspección y vigilancia para combatir la extracción ilegal.
M-10.3 Manejo de hábitat para la apifauna	Aumentar la diversidad de abejas para mantener el servicio ecosistémico de polinización.	**LA-10.3.1** La SDR con el apoyo de la autoridad ambiental estatal, SADER, CONABIO, gobiernos municipales, identificarán una paleta de especies vegetales como recursos florales, considerando la fenología y la idoneidad climática bajo proyecciones de cambio climático. **LA-10.3.2** Identificarán prácticas específicas de conservación del suelo para permitir la anidación.

MEDIDA	OBJETIVO	ACCIÓN
		LA-10.3.3 Identificarán sitios potenciales para el establecimiento de las comunidades vegetales melíferas, en contextos urbanos, periurbanos y rurales, tanto agrícolas como no manejados. **LA-10.3.4** Identificarán los arreglos de vegetación adecuados para los diferentes contextos. **LA-10.3.5** Apoyarán el diseño de un programa de educación ambiental sobre abejas, polinización y su relación con el cambio climático. **LA-10.3.6** Difundirán la implementación de la estrategia de manejo de hábitat para aumentar la diversidad de abejas y otros polinizadores. **LA-10.3.7** Generarán información de línea base sobre las poblaciones de abejas en los sitios de implementación. **LA-10.3.8** Realizarán el monitoreo de las poblaciones de abejas en los sitios de implementación.
M-10.4 Plan de Protección de murciélagos	Conservar las poblaciones de murciélagos del Estado.	**LA-10.4.1** La SDR con la colaboración de la autoridad ambiental estatal, SEMARNAT, SADER, CONABIO, identificarán cuevas y otros sitios de descanso de murciélagos relevantes en el Estado. **LA-10.4.2** Promoverán la protección de cuevas y otros sitios de descanso relevantes en el Estado. **LA-10.4.3** Fomentarán prácticas productivas de agaves y sus productos derivados que sean amigables con los murciélagos. **LA-10.4.4** Apoyarán a productores para la identificación y obtención de certificaciones de procesos amigables con los murciélagos. **LA-10.4.5** Gestionarán la Implementación de un programa de educación ambiental sobre los murciélagos y los servicios ecosistémicos que proveen.
M-10.5 Protección de cactáceas y matorrales	Conservar las poblaciones de cactáceas en los matorrales del Estado.	**LA-10.5.1** SDR con la colaboración de la autoridad ambiental estatal, SEMARNAT, SADER, PROFEPA, fomentarán la implementación de un programa de estabulación de ganado. **LA-10.5.2** Fortalecerán de la inspección y vigilancia para combatir la extracción y aprovechamiento ilegal. **LA-10.5.3** Identificarán especies de cactáceas con alto valor económico en el mercado nacional e internacional. **LA-10.5.4** Promoverán el establecimiento de UMA para la propagación de las especies identificadas en conjunto con comunidades y actores interesados. **LA-10.5.5** Brindarán apoyo a productores para la comercialización de las especies identificadas en el mercado nacional e internacional.

6.2.4. Eje 4. Salud ambiental

Tabla 83. Estrategiia11. Salud ambiental

MEDIDA	Objetivo	ACCIONES
M-11.1 Actualización y ejecución del programa de vigilancia epidemiológica para contaminantes del aire para el estado de Puebla	Operar un Programa de Vigilancia Epidemiológica de los efectos de la mala calidad del aire que genere información diaria, de manera confiable, oportuna y eficiente, sobre los casos de padecimientos relacionados con la exposición aguda y crónica asociados a contaminantes atmosféricos, con el fin de conocer su frecuencia, prevenir la exposición y controlar los efectos adversos en la salud de la población.	**LA-11.1.1** La autoridad ambiental estatal con la participación de la Dirección de Protección contra Riesgos Sanitarios (DPRIS) de la Secretaría de Salud de Puebla, instancias federales e instituciones académicas, coordinarán la firma de un convenio de colaboración entre la autoridad ambiental estatal y la Dirección de protección contra riesgos sanitarios (DPRIS) de la Secretaría de Salud. **LA-11.1.2** Conformarán un comité de expertos en el área de contaminantes atmosféricos y efectos en salud. **LA-11.1.3** Determinarán la morbi-mortalidad diaria de los indicadores de efectos agudos y crónicos en población general y grupos vulnerables en la ZMVP y compartir esa información con la autoridad ambiental estatal. **LA-11.1.4** Establecerán un programa que genere información continua y sistemática sobre daños específicos en la salud de la población, relacionados con la exposición a contaminantes atmosféricos.
M-11.2 Generación periódica de información epidemiológica diaria de padecimientos seleccionados de centros de salud centinela para el programa de vigilancia epidemiológica de la ZMVP	Contar con la base de datos diaria del número de padecimientos en salud relacionados con la exposición aguda y crónica a contaminantes atmosféricos de centros de salud centinela para el programa de Vigilancia Epidemiológica.	**LA-11.2.1** La Secretaría de Salud del estado de Puebla con la participación de la Secretaría de Salud Federal, ISSSTE, Seguro Social, Instituciones privadas de salud y la autoridad ambiental estatal, seleccionarán los centros de salud centinela. **LA-11.2.2** Capacitarán al personal de los centros de salud centinela para que registren adecuadamente y de manera diaria los padecimientos relacionados con la exposición a los contaminantes atmosféricos. **LA-11.2.3** Compartirán con la autoridad ambiental estatal la información de los casos de padecimientos relacionados con la exposición crónica y aguda a los contaminantes atmosféricos. **LA-11.2.4** Generarán los valores de los indicadores de calidad del aire de los contaminantes medidos en la red de monitoreo de calidad del aire. **LA-11.2.5** Elaborarán gráficos de series de tiempo con los indicadores diarios de calidad del aire y el número de casos de padecimientos tanto de exposición aguda como de exposición crónica.
M-11.3 Evaluación económica de los impactos en la salud de los casos de morbilidad y mortalidad relacionadas con la exposición aguda y crónica de la población a los	Contar con estimaciones económicas de los impactos en la salud de la población por exponerse de forma crónica y aguda a los contaminantes atmosféricos que permitan justificar la implementación de medidas para reducir los niveles de	**LA-11.3.1** La autoridad ambiental estatal con la participación de la Secretaría de Salud del estado de Puebla e institutos de investigación, seleccionarán los contaminantes y padecimientos en la salud que se evaluarán. **LA-11.3.2** Seleccionarán las funciones exposición respuesta que relacionan cuantitativamente las concentraciones del contaminante y con el incremento de casos de morbi-mortalidad. **LA-11.3.3** Evaluarán la exposición de la población en función de los datos de calidad del aire registrados en la red de monitoreo de la ZMVP.

MEDIDA	Objetivo	ACCIONES
contaminantes atmosféricos	contaminación en la ZMVP.	**LA-11.3.4** Caracterizarán los casos de mortalidad y morbilidad atribuibles a la contaminación del aire. **LA-11.3.5** Monetizarán los casos de mortalidad y morbilidad atribuibles a la contaminación del aire.
M-11.4 Fomento para la realización de estudios epidemiológicos que permitan identificar y cuantificar la incidencia de la contaminación atmosférica sobre la salud de la población asociación de padecimientos en salud y las concentraciones de contaminantes del aire	Generar datos para la obtención de funciones exposición respuesta de la población de la ZMVP derivadas de estudios epidemiológicos que cuantifiquen la asociación estadística entre los niveles de contaminación del aire y sus efectos en el incremento de indicadores de morbimortalidad para apoyar tanto el programa de contingencias ambientales atmosféricas como la evaluación de impactos en la salud.	**LA-11.4.1** La DPRIS con la participación de la autoridad ambiental estatal, Universidades y centros de investigación, participarán en las propuestas para el financiamiento a los sectores académicos y de investigación para el desarrollo de estudios epidemiológicos que relacionen cuantitativamente los cambios en la exposición de la población susceptible con los cambios en indicadores de morbimortalidad en el estado. **LA-11.4.2** Apoyarán la publicación de los estudios epidemiológicos en revistas científicas para asegurar su calidad.
M-11.5 Mejoramiento de las condiciones intradomiciliarias para reducir la incidencia de tripanosomiasis americana y dengue	Reducción de la incidencia de tripanosomiasis americana y dengue.	**LA-11.5.1** Los Gobiernos municipales con la participación de la Secretaría de Bienestar estatal, Secretaría de Salud estatal, apoyarán la instalación de mosquiteros en puertas y ventanas. **LA-11.5.2** La sustitución de pisos de tierra por pisos de cemento. **LA-11.5.3** El enlucido de paredes y techos. **LA-11.5.4** El pintado de paredes y techos de color blanco.
M-11.6 Mejoramiento de las condiciones peridomiciliarias para reducir la incidencia de tripanosomiasis americana y dengue	Reducción de la incidencia de tripanosomiasis americana y dengue.	**LA-11.6.1** Los gobiernos municipales con la participación de la Secretaría de Bienestar estatal, Secretaría de Salud estatal, apoyarán la limpieza de acumulaciones de materiales. **LA-11.6.2** la poda de vegetación adyacente al domicilio. **LA-11.6.3** La eliminación y/o tapado de recipientes que acumulen agua. **LA-11.6.4** La construcción de corrales para restricción de movimiento de aves domésticas. **LA-11.6.5** La restricción de movilidad de libre rango. **LA-11.6.6** El control de poblaciones de perros ferales.
M-11.7 Contribución en la Reducción de la incidencia de tripanosomiasis americana y dengue	Desarrollar sistemas de alerta temprana.	**LA-11.7.1** La autoridad ambiental estatal con la participación de los gobiernos municipales, Secretaría de Bienestar estatal, Secretaría de Salud estatal, elaborarán un desarrollo metodológico de los modelos para detección temprana. **LA-11.7.2** Determinarán su viabilidad técnica y financiera. **LA-11.7.3** Implementación de un sistema de alerta temprana.

6.2.5. Eje 5. Gestión del conocimiento.

Tabla 84. Estrategia 12. Capacitación

MEDIDA	Objetivo	ACCIONES
M-12.1 Fortalecimiento de las capacidades, conocimientos y la apropiación de las estrategias y actividades del PROAIRE-PEACC a través del fomento del involucramiento de diversos actores bajo una visión de participación interactiva e igualitaria	Generar involucramiento activo de distintos sectores de la población para la adopción e implementación de las estrategias que integran el PROAIRE-PEACC a través de espacios de sensibilización y diálogo en los que se establezcan acuerdos de colaboración.	**LA-12.1.1** La autoridad ambiental estatal con la participación de la Coordinación de Comunicación Social del estado de Puebla, Comité Núcleo del PROAIRE-PEACC, Organismos de la Sociedad Civil, autoridades municipales, mapearán y caracterizarán a los actores clave de distintos sectores que pueden ser potenciales beneficiarios, involucrados en las mesas de diálogo y de la implementación de las estrategias y medidas del PROAIRE-PEACC. **LA-12.1.2** Identificarán el perfil de cada actor clave para vincularlo con sus necesidades particulares que pueden ser atendidas por las actividades que integran el PROAIRE-PEACC **LA-12.1.3** Promoverán la elaboración de un documento rector que permita dirigir de manera estrategia las actividades del Programa hacia los sectores de la población con mayor aptitud y territorios con factibilidad. **LA-12.1.4** Elaboración de una estrategia de vinculación entre los talleres de fortalecimiento de capacidades con mecanismos de apropiación de resultados y medidas concretas del PROAIRE-PEACC **LA-12.1.5** Darán seguimiento y evaluación de las percepción previas y posteriores a la implementación de las mesas de diálogo y las acciones y talleres de fortalecimiento de capacidades en los distintos sectores de la población que reflejen la apropiación del Programa. **LA-12.1.6** Identificarán las necesidades en términos de fortalecimiento de capacidades, infraestructura y tecnología de los distintos sectores para reducir la emisión de GEI y otros contaminantes **LA-12.1.7** Definirán de manera colaborativa los siguientes pasos para la atención de las necesidades identificadas. **LA-12.1.8** Apoyarán la elaboración participativa y aplicación de un protocolo o guía de requisitos mínimos para asegurar la inclusión de mujeres y personas vulnerables (interseccionalidad) en todas las acciones, talleres, mesas de diálogo y estrategias que se implementen a partir del PROAIRE-PEACC.
M-12.2 Diseño e implementación de una estrategia de sensibilización ambiental dirigida al público en general del estado de Puebla, que contribuya a la mejora de la calidad del aire, la	Adoptar un enfoque de adaptación social para el mejoramiento de la calidad del aire, la mitigación y adaptación ante el cambio climático, mediante el apoyo de mecanismos eficientes de difusión, comunicación y de	**LA-12.2.1** La autoridad ambiental estatal con la participación de la SEP del estado de Puebla, expertos en pedagogía, OSC especializadas en educación ambiental, académicos, diseñarán campañas de concientización dirigidas al público en general para un manejo sostenible del agua en el contexto del cambio climático. **LA-12.2.2** Apoyarán la implementación de campañas de concientización sobre la gestión adecuada del agua, que promueva el reconocimiento del recurso hídrico como un elemento vital para la seguridad alimentaria, la salud, la protección de los ecosistemas y la biodiversidad.

MEDIDA	Objetivo	ACCIONES
mitigación y la adaptación ante el cambio climático	participación inclusiva. Con ello se busca socializar el Programa de manera didáctica e interactiva al público en general, específicamente a las nuevas generaciones, para que conozcan la problemática actual en materia de calidad del aire, cambio climático y las acciones que se pueden implementar para fomentar la adaptación y la mejora de la calidad del aire.	**LA-12.2.3** Generarán materiales de difusión y comunicación sobre la importancia y recomendaciones para la producción agrícola sostenible en el contexto local y del cambio climático. **LA-12.2.4** Facilitarán espacios de diálogo entre productores que implementen buenas prácticas de producción agrícola y productores convencionales, para el intercambio de experiencias, conocimientos y técnicas locales que contribuyan a la mitigación y adaptación ante el cambio climático. **LA-12.2.5** Apoyar el diseño de una estrategia de comunicación dirigida a todos los sectores de Puebla, sobre los impactos potenciales del cambio climático proyectados en el territorio y las acciones propuestas en el PEACC para la mitigación y adaptación ante el cambio climático. **LA-12.2.6** Promover la implementación de la estrategia de comunicación y difusión a través de distintos medios de comunicación (SPOT en radio, redes sociales, carteles, entre otros), para informar y concientizar a las personas del territorio sobre los impactos del cambio climático y la relevancia de la corresponsabilidad para la implementación de las acciones propuestas en el PEACC. **LA-12.2.7** Implementarán campañas de divulgación con la sociedad sobre los efectos de la mala calidad del aire y las acciones propuestas en el PROAIRE para contribuir en el mejoramiento del índice de calidad del aire. **LA-12.2.8** Apoyarán la impresión de materiales resultantes de la estrategia de comunicación e implementación de una capacitación a profesores y profesoras de escuelas para el uso de los materiales.
M-12.3 Fomento de la educación sobre las mejores prácticas y soluciones locales del sector agrícola	Difundir prácticas sustentables para que los productores locales mejoren sus sistemas de producción y cuiden el medio ambiente	**LA-12.3.1** La Secretaría de Educación del estado de Puebla con la participación del Centro de Bachillerato Tecnológico Agropecuario, SDR, INIFAP, SADER, SEMARNAT, la autoridad ambiental estatal identificarán colaborativamente las líneas de investigación prioritarias para la mejora de prácticas y soluciones en el sector agrícola. **LA-12.3.2** Establecerán e implementarán esquemas y estrategias de investigación en colaboración con los centros de bachilleratos tecnológicos agropecuarios y universidades tecnológicas descentralizadas. **LA-12.3.3** Promoverán el establecimiento de parcelas demostrativas en conjunto con los bachilleratos y universidades **LA-12.3.4** Organizarán encuentros e intercambios de experiencias entre productores y productoras, donde las sedes sean los sitios con parcelas demostrativas. **LA-12.3.5** Sistematizarán y analizarán la información recopilada a través de estos encuentros.

TABLA 85. ESTRATEGIA 13. COMUNICACIÓN Y DIFUSIÓN

MEDIDA	Objetivo	ACCIONES
M-13.1 Implementación de campañas de información y difusión para la prevención de zoonosis	Reducir la incidencia de tripanosomiasis americana y dengue en el estado de Puebla.	**LA-13.1.1** La autoridad ambiental estatal con la participación de los gobiernos municipales, Secretaría de Bienestar estatal y Secretaría de Salud estatal, diseñarán una estrategia para la implementación de la campaña de información para la prevención de zoonosis para diferentes medios de comunicación y públicos objetivo. **LA-13.1.2** Crearán lo contenidos de la campaña de información para la prevención de la zoonosis. **LA-13.1.3** Apoyarán la implementación de la campaña de la campaña de información para la prevención de la zoonosis. **LA-13.1.4** Actualizarán contenidos de la campaña periódicamente.
M-13.2 Fortalecimiento, desde un enfoque didáctico y de socialización para la comunicación de información sobre la calidad del aire	Poner a disposición de la sociedad información clara, actualizada y con mensajes claves, que permita que las personas de distintos sectores conozcan la calidad del aire, las fuentes de contaminación, los impactos en la salud y las acciones que pueden implementarse para mejorar la calidad del aire.	**LA-13.2.1** La autoridad ambiental estatal con la participación de los gobiernos municipales, Secretaría de Bienestar estatal y Secretaría de Salud estatal, definirán de manera colaborativa con los profesionistas y especialistas los mensajes clave sobre el tema de la calidad del aire y los efectos en la salud. **LA-13.2.2** Generarán herramientas visuales y didácticas que permitan el entendimiento por parte de distintas personas de la sociedad de los mensajes clave **LA-13.2.3** Crearán un espacio virtual en el portal de la REMA mediante el cual la población pueda vincularse e intercambiar ideas para la participación social en el tema de la calidad del aire
M-13.3 Socialización del PROAIRE-PEACC a través de estrategias específicas que consideren las brechas digitales, la pluriculturalidad y diversidad lingüística, así como factores que limiten el acceso a la información	Difundir el Programa a través de diversas vías digitales y no digitales que sean de fácil acceso para incrementar el alcance de socialización, asegurando que las personas de distintos sectores, géneros, edades, lenguas, entre otros, tengan acceso a la consulta, retroalimentación e involucramiento del Programa.	**LA-13.3.1** La autoridad ambiental estatal con la participación de los gobiernos estatal y municipal, comisarios ejidales y comunales, OSC, escuelas primarias, secundarias y de bachillerato, universidades, realizarán un mapeo de plataformas y redes sociales oficiales para la difusión del Programa. **LA-13.3.2** Definirán de manera colaborativa los mensajes claves y claros sobre el Programa, así como la metodología empleada para su socialización. **LA-13.3.3** Generarán distintos materiales de difusión que se adapten a los diversos contextos locales. **LA-13.3.4** Publicarán y actualizarán los materiales de difusión generados. **LA-13.3.5** Realizarán la traducción del Programa (o resumen ejecutivo del mismo) a las distintas variantes lingüísticas para que pueda ser consultado con los pueblos y comunidades originarias de Puebla. **LA-13.3.6** Apoyarán la implementación de talleres y ferias de difusión del Programa en las comunidades sin acceso a internet.
M-13.4 Campaña permanente de cultura y ahorro del agua.	Contribuir al incremento de la capacidad adaptativa y la resiliencia de las poblaciones ante eventos de estrés hídrico en los	**LA-13.4.1** La autoridad ambiental estatal con la colaboración del área de comunicación del gobierno de Puebla, diseñarán la estrategia de la campaña de cultura y ahorro de agua para diferentes medios de comunicación y públicos objetivo. **LA-13.4.2** Crearán los contenidos acordes con el público objetivo.

MEDIDA	Objetivo	ACCIONES
	sectores rural y urbano a través del fomento del uso sostenible del agua.	**LA-13.4.3** Implementar y fortalecer las campañas de cultura y ahorro de agua. **LA-13.4.4** Actualizarán cada año los contenidos de la campaña de cultura y ahorro de agua. **LA-13.4.5** Actualizarán la estrategia de la campaña.
M-13.5 Fortalecimiento de las campañas en medios de comunicación masiva dirigida a la población para emitir recomendaciones que permitan reducir el riesgo de la población y en particular de la población de mayor riesgo, a través del índice de calidad del aire y salud	Mejorar la eficacia de las campañas de comunicación para que la población susceptible reduzca su riesgo de presentar efectos en la salud.	**LA-13.5.1** La autoridad ambiental estatal con la colaboración de la Secretaría de Salud y la Coordinación de Comunicación Social del estado de Puebla, concertarán la emisión de boletines y spots con los medios de comunicación que operan en el estado. **LA-13.5.2** Elaborarán boletines con datos de calidad del aire continuos y confiables provenientes de la red de monitoreo de contaminantes atmosféricos. **LA-13.5.3** Publicarán permanentemente la situación de la calidad del aire a través del índice de calidad del aire y salud de acuerdo con las especificaciones de la NOM-172-SEMARNAT-2019 y emitir las recomendaciones correspondientes a la población susceptible para que reduzca su riesgo de presentar efectos en la salud.

TABLA 86. ESTRATEGIA 14. INVESTIGACIÓN

MEDIDA	Objetivo	ACCIONES
M-14.1 Fortalecimiento del desarrollo de proyectos de investigación y desarrollo tecnológico en calidad del aire y cambio climático	Generar información a través de la investigación y del desarrollo tecnológico para apoyar la toma de decisiones en materia de cambio climático, en el mejoramiento de la calidad del aire y en la protección de la salud de la población en el estado de Puebla.	**LA-14.1.1** La autoridad ambiental estatal con la colaboración de la Coordinación de Comunicación Social del estado de Puebla, Comité Núcleo del ProAire-PEACC, Organismos de la Sociedad Civil, universidades locales y centros de investigación, CONCYTEP, INECC y CONANP, continuarán con la política de establecer convenios de colaboración con centros de investigación e instituciones de educación superior para desarrollar una agenda conjunta de investigación vinculada a temas de cambio climático y de calidad del aire. **LA-14.1.2** Desarrollar investigaciones relacionadas con los impactos del cambio climático en los Elementos Clave del Territorio. **LA-14.1.3** Realizar estudios que permitan reducir la incertidumbre en la elaboración de los inventarios de emisiones de GyCEI, contaminantes criterio y sustancias tóxicas. **LA-14.1.4** Desarrollar investigaciones en materia de química atmosférica para la región de Puebla orientada a reducir las concentraciones de O_3 y de las $PM_{2.5}$. **LA-14.1.5** Apoyarán la elaboración de proyectos de investigación que permitan desarrollar un sistema de pronóstico y modelación de la calidad del aire. **LA-14.1.6** Realizarán estudios de exposición personal en viviendas donde se quema biomasa.

6.3. Análisis e identificación de las principales fuentes de emisión de GEI y CCVC, así como el desarrollo de propuestas de medidas de mitigación, su alineación con los instrumentos nacionales (NDC, PECC, ENCC)

Las principales fuentes de emisión de GEI y de CCVC consideradas en este estudio, se identificaron con base el inventario de emisiones, línea base 2020, elaborado para este estudio, la revisión de las COAs estatales y de información sobre industria de competencia estatal de libre acceso en la SEMARNAT, además de la revisión de diversas publicaciones que plantean cuales son las fuentes que contribuyen con emisiones tanto de contaminantes criterio como de GyCEI.

Por otro lado, se revisó la Estrategia Estatal de Cambio Climático de Puebla, la Estrategia Nacional de Cambio Climático (ENCC) y los compromisos de México respecto a las Contribuciones Nacionalmente Determinadas (NDC), para determinar si las líneas de acción consideradas para mitigar las emisiones de GEI y CCVC, estaban vinculadas o alineadas a éstas.

La Estrategia Estatal de Cambio Climático del estado de Puebla establece como ejes estratégicos:

1) Manejo resiliente y sustentable del agua.
2) Aprovechamiento regenerativo de la biodiversidad.
3) Impulso de una cultura y economía regenerativa.
4) Aceleramiento de la descarbonización estatal.
5) Fortalecimiento de conocimientos y capacidades climáticas.
6) Disminución Integral de Riesgos y Vulnerabilidades

Por su parte la ENCC tiene como ejes principales, tanto para adaptación (A) y mitigación (M)

- Reducir la vulnerabilidad y aumentar la resiliencia del sector social ante los efectos del cambio climático.
- Reducir la vulnerabilidad y aumentar la resiliencia de la infraestructura estratégica y sistemas productivos ante los efectos del cambio climático.
- Conservar y usar de forma sustentable los ecosistemas y mantener los servicios ambientales que proveen.

Sus pilares que aplican a este documento son:

A1. Reducir la vulnerabilidad y aumentar la resiliencia del sector social ante los efectos del cambio climático.

A2. Reducir la vulnerabilidad y aumentar la resiliencia de la infraestructura estratégica y sistemas productivos ante los efectos del cambio climático.
A3. Conservar y usar de forma sustentable los ecosistemas y mantener los servicios ambientales que proveen.
M1. Acelerar la transición energética hacia fuentes de energía limpia.
M2. Reducir la intensidad energética mediante esquemas de eficiencia y consumo responsable.
M3. Transitar a modelos de ciudades sustentables con sistemas de movilidad, gestión integral de residuos y edificaciones de baja huella de carbono.
M4. Impulsar mejores prácticas agropecuarias y forestales para incrementar y preservar los sumideros naturales de carbono.
M5. Reducir emisiones de Contaminantes Climáticos de Vida Corta y propiciar co-beneficios de salud y bienestar.

Respecto a la NDC, los componentes considerados en el análisis fueron:

A. Prevención y atención de impactos negativos en la población humana y en el territorio.
B. Sistemas productivos resilientes y seguridad alimentaria.
C. Conservación, restauración y aprovechamiento sostenible de la biodiversidad y de los servicios ecosistémicos.
D. Gestión integrada de los recursos hídricos con enfoque de cambio climático.

En la COP 27 realizada en el 2023, México presentó una nueva meta de mitigación al 2030, consistente en una reducción de emisiones de GEI no condicionada del 35%.

El análisis realizado muestra que si existe una alineación con algunos de estos instrumentos, como se muestra en la Tabla 87.

TABLA 87. MEDIDAS DE MITIGACIÓN Y ADAPTACIÓN Y SU ALINEACIÓN CON LA NDC, LA ESTRATEGIA ESTATAL DE CAMBIO CLIMÁTICO 2021-2030 (EECC) Y LA ENCC

FUENTE DE EMISIÓN	MEDIDA	Alienación con la NDC, ENCC EECC Puebla		
		NDC	ENCC	EECC Puebla
Transporte	**M-1.1** Desarrollo de un programa de electromovilidad para el sector transporte	Mitigación	M1, M5	M4
	M-1.2 Reducción de emisiones en el transporte pesado de carga y de pasajeros.	Mitigación	M1, M3, M5	M4
	M-1.3 Reducción de emisiones en el transporte particular ligero	Mitigación	M1, M3, M5	M4
Industria	**M-2.1** Reducción de emisiones en el sector industrial	Mitigación	M2, M5	M4
	M-2.2 Reducción de emisiones en el sector de producción de ladrillo	Mitigación	M2, M5	M4

FUENTE DE EMISIÓN	MEDIDA	Alienación con la NDC, ENCC EECC Puebla		
		NDC	ENCC	EECC Puebla
Quema de biomasa y residuos	**M-3.3** Reducción de las emisiones por el consumo doméstico de leña	Mitigación	M2, M5	M4
	M-3.4 Mejores prácticas para el manejo de fuego y prevención de incendios forestales	Mitigación	M4, M5	M4
	M-3.2 Reducción, prevención y control de emisiones en la gestión de residuos sólidos	Mitigación	M3, M5	M4
Eficiencia energética	**M-4.1** Programa de Auditoría Ambiental y Certificación de Edificaciones Sustentables	Mitigación	M2, M3	M4
	M-4.2 Eficiencia energética en edificios gubernamentales (municipios / estatal).	Mitigación	M2, M3	M4
	M-4.3 Incentivos verdes para la adquisición de sistemas de calentamiento solar o sistemas fotovoltaicos en Micro, Pequeñas y Medianas empresas (MiPyMEs).	Mitigación	M2, M3	M4
6. Adaptación biodiversidad	**M-6.1** Aumento de la red de instrumentos de conservación territorial estableciendo Áreas Naturales Protegidas (ANP) o Áreas Destinadas Voluntariamente para la Conservación (ADVC)	Mitigación, C	A1, A3	A 2, 3, 6
	M-6.2 Establecimiento de UMA	C	A3	A 2, 3, 6
	M-6.3 Implementación de programas de reintroducción de especies	C	A3	A 2, 6
	M-6.4 Establecimiento de programas de migración asistida de poblaciones de especies (disminución de la exposición de las especies al cambio climático)	C	A3	A 2, 6
	M-6.5 Disminución de la extracción y el cambio de uso del suelo por monocultivos de agave mediante la promoción de mejores prácticas en ferias de mezcal artesanal	C, B	A3	A 2, 3, 5
	M-6.6 Diversificación productiva sustentable mediante identificación de nuevos mercados para especies y/o productos, considerando los criterios de sustentabilidad, trazabilidad y legalidad en la cadena productiva	B	A1, A2, A3	A 2, 3, 5
	M-6.7 Manejo, control y erradicación de especies exóticas invasoras (incluye domésticos de libre rango y ferales)	A, B, C	A3	A 2
	M-6.8 Incrementar el reconocimiento sobre la importancia de la conservación de los ecosistemas y paisajes sustentables. Mediante el impulso de la meliponicultura y apicultura como actividad económica que mejore los procesos de polinización	B, C	A2, A3	A 2, 3, 5, 6
7. Adaptación Forestal	**M-7.1** Fortalecer las estrategias estatales de manejo agroforestal	Mitigación, B	A1, A2, A3	A 2, 6
	M-7.2 Análisis de factibilidad para el establecimiento de bancos de	B, C	A3	A 2

FUENTE DE EMISIÓN	MEDIDA	Alienación con la NDC, ENCC EECC Puebla		
		NDC	ENCC	EECC Puebla
	germoplasma de especies forestales y no forestales			
	M-7.3 Aumento de la superficie forestal bajo esquemas de Pago por Servicios Ambientales en el estado de Puebla	Mitigación, C	A3	A 2, 3, 5
	M-7.4 Enverdecimiento urbano	Mitigación, C	A3	A 2, 3, 6
	M-7.5 Bosques Urbanos	Mitigación, C	A3	A 2, 3, 6
	M-7.6 Restauración y reforestación de ecosistemas vulnerables al cambio climático	Mitigación, C	A1, A3	A 2, 3, 6
8. Adaptación Agrícola	**M-8.1** Estudio sobre la aptitud de distintos cultivos importantes en el estado de Puebla ante los riesgos de los impactos del cambio climático	B	A1, A2	A 1, 5, 6
	M-8.2 Fortalecimiento de la cobertura de los seguros ante eventos climáticos extremos para el sector agrícola y pecuario	B	A2	A 6
	M-8.3 Ampliar la cobertura estatal de los Programas de Ordenamiento Ecológico del Territorio y Planes de Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano	A, C	A1	A 6
	M-8.4 Estrategia estatal de suelo para la agricultura sostenible ante los riesgos de los impactos del cambio climático	B, C	A1, A3	A 5, 6
9. Adaptación Hídrica	**M-9.1** Gestión del agua sostenible en la agricultura	D	A1, A2	A 1
	M-9.2 Sistemas de riego de alta eficiencia	D	A1, A2	A 1
	M-9.3 Reactivación y optimización operativa de plantas de tratamiento para aguas residuales Aumento del volumen tratado de aguas residuales municipales	Mitigación, D	A1, A3	A 1
	M-9.4 Recarga natural e inducida de acuíferos	C, D	A1	A 1
	M-9.5 Sistemas de captación y almacenamiento de agua de lluvia (SCALL)	A, D	A1	A 1
	M-9.6 Drenaje separativo y pavimento permeable en localidades urbanas	D	A1	A 1
	M-9.7 Pago por servicios ambientales hídricos	C, D	A1, A3	A 1, 2, 3, 5
	M-9.8 Mejoramiento de prácticas de manejo agronómico	A, D	A2	A 1, 4
10. Medidas OCSA	**M-10.1** Plan de conservación de Anfibios	C	A3	A 2, 3, 6
	M-10.2 Plan de conservación de orquídeas	C	A3	A 2, 3, 6
	M-10.3 Manejo de hábitat para la apifauna	C	A3	A 2, 3, 6
	M-10.4 Plan de Protección de murciélagos	C	A3	A 2, 3, 6
	M-10.5 Protección de cactáceas y matorrales	C	A3	A 2, 3, 6

Fuente: Elaboración propia

6.4. Determinación de metas y escenarios de reducción de contaminantes criterio, GyCEI y de CCVC para el periodo 2030, línea base 2020.

Uno de los objetivos principales del ProAire-PEACC, es mejorar la calidad del aire que se respira en las localidades del estado de Puebla y para ello, se plantean una serie de medidas agrupadas en 3 estrategias. Se estima que para el año 2030, se reducirá el 29% de las emisiones de $PM_{2.5}$ y de los precursores de ozono se reducirá el 26% NOx y 18% de los COV. Ver Tabla 88 y figuras 136 al 139. En el Capítulo 4. Análisis de factores y fuentes que afectan la calidad del aire y exacerban el cambio climático, se identifican los valores base obtenidos en la actualización del inventario de emisiones del estado de Puebla.

Tabla 88. Reducción de emisiones

ESTRATEGIAS	EMISIONES (Toneladas)											
	PM_{10}	$PM_{2.5}$	SO_2	CO	NO_X	COV	NH_3	CO_2	CH_4	N_2O	CN	CO_2e
Estrategia 1. Movilidad y Transporte Sustentable	589	485	151	38,464	9,873	4,221	81	882,717	97	21	129	890,920
Estrategia 2. Industria, comercio y servicios	5,994	4,466	2,142	5,379	4,381	6,747	5	366,749	288	58	303	390,120
Estrategia 3. Reducción de emisiones en la quema de biomasa y residuos	4,651	3,366	111	23,925	1,002	5,852	267	721,761	12,058	43	358	1,070,772
*Reducción total	11,234	8,317	2,404	67,768	15,256	16,820	353	1,971,227	12,443	122	790	2,351,812
	28%	30%	44%	24%	26%	20%	1%	11%	13%	9%	28%	11%

*El porcentaje de reducción es respecto a las emisiones totales de origen antropogénico

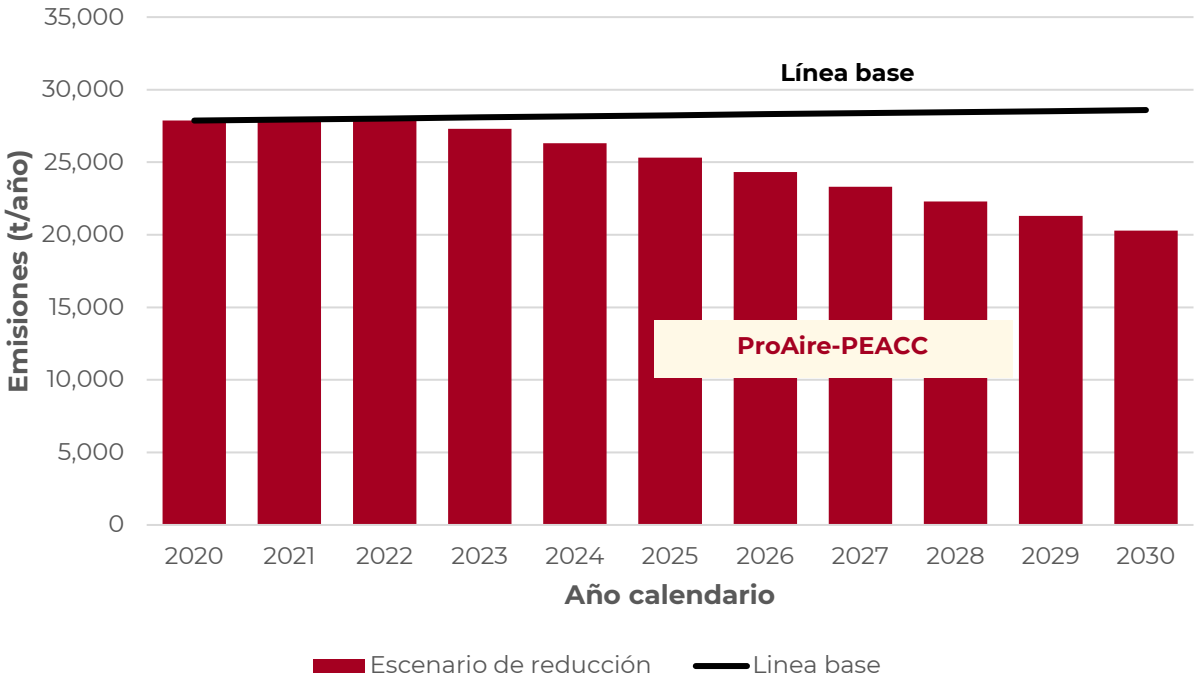


Figura 136. Tendencia de la reducción de emisiones de $PM_{2.5}$, respecto a su línea base

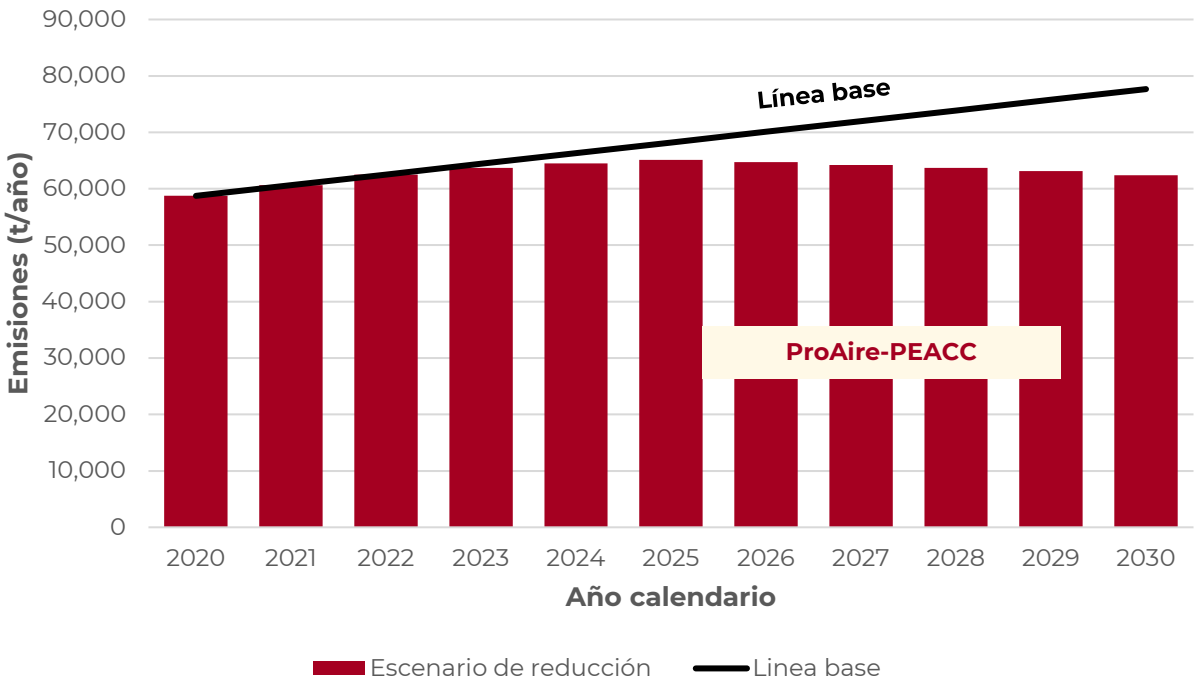


FIGURA 137. TENDENCIA DE LA REDUCCIÓN DE EMISIONES DE NO_X, RESPECTO A SU LÍNEA BASE

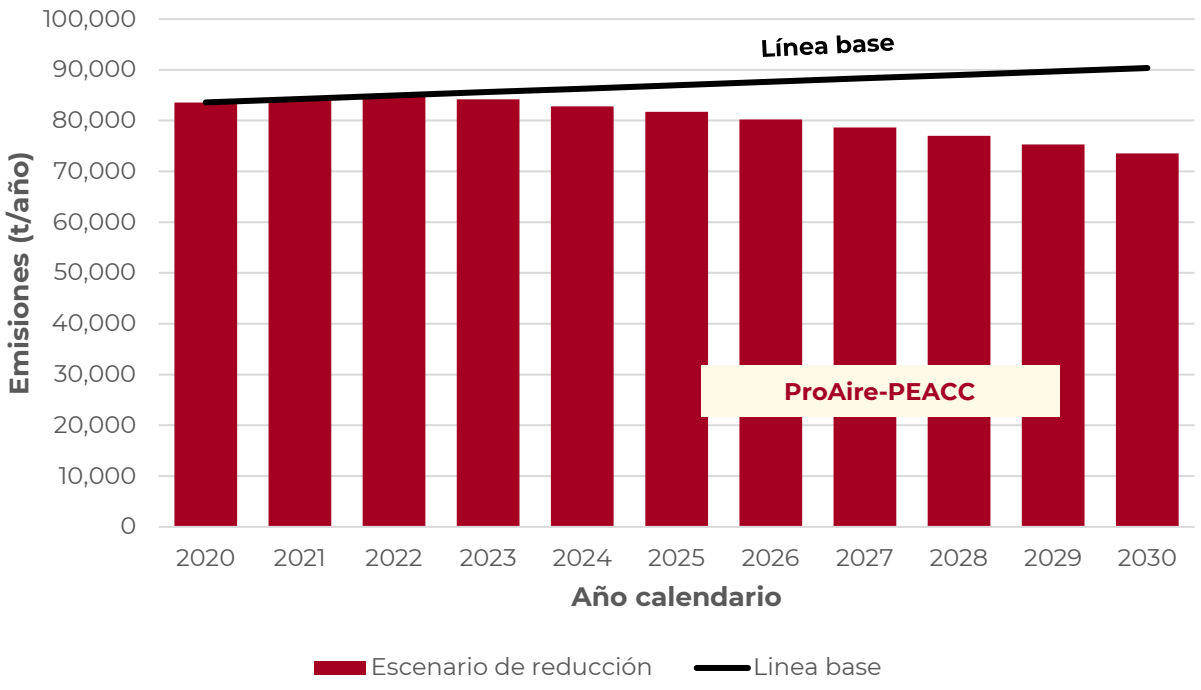


FIGURA 138. TENDENCIA DE LA REDUCCIÓN DE EMISIONES DE COV, RESPECTO A SU LÍNEA BASE

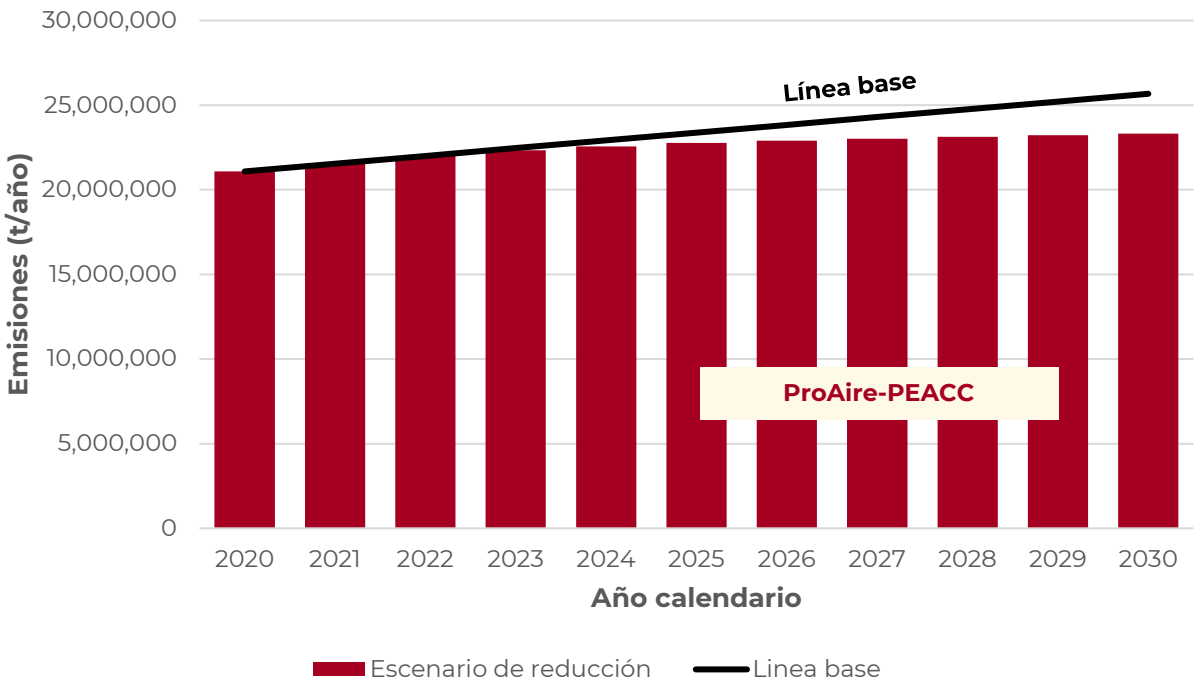


FIGURA 139. TENDENCIA DE LA REDUCCIÓN DE EMISIONES DE CO_2E, RESPECTO A SU LÍNEA BASE

En la Tabla 89 se muestran la reducción de emisiones por contaminante y medida.

TABLA 89. REDUCCIÓN DE EMISIONES

Estrategias -medidas	Emisiones (toneladas)											
	PM_{10}	$PM_{2.5}$	SO_2	CO	NO_X	COV	NH_3	CO_2	CH_4	N_2O	CN	CO_2e
Estrategia 1. Movilidad y Transporte Sustentable	**589**	**485**	**151**	**38,464**	**9,873**	**4,221**	**81**	**882,717**	**97**	**21**	**129**	**890,920**
M-1.1 Desarrollo de un programa de electromovilidad para el sector transporte	88	66	44	7,696	1,827	714	12	241,924	27	6	14	244,369
M-1.2 Reducción de emisiones en el transporte pesado de carga y de pasajeros.	416	370	0	0	2,128	0	0	0	0	0	107	0
M-1.3 Reducción de emisiones en el transporte particular ligero	0	0	0	0	2,661	1,141	0	0	0	0	0	0
M-1.4 Gestión de la demanda	19	11	22	5,952	853	513	11	133,808	14	4	2	135,377
M-1.5 Ciudad Peatonal incluyente	36	19	41	11,023	1,579	950	20	247,793	26	8	4	250,698
M-1.6 Control de emisiones en el uso de las motocicletas	29	18	43	13,792	825	902	38	259,192	30	2	2	260,476

Estrategias -medidas	Emisiones (toneladas)											
	PM_{10}	$PM_{2.5}$	SO_2	CO	NO_X	COV	NH_3	CO_2	CH_4	N_2O	CN	CO_2e
Estrategia 2. Industria, comercio y servicios	**5,994**	**4,466**	**2,142**	**5,379**	**4,381**	**6,747**	**5**	**366,749**	**288**	**58**	**303**	**390,120**
M-2.1 Reducción de emisiones en el sector industrial	3,021	1,748	2,099	0	3,965	731	0	0	0	0	237	0
M-2.2 Reducir emisiones en el sector de producción de ladrillo	2,955	2,700	19	5,233	159	134	5	122,438	268	57	53	145,135
M-2.3 Reducción de compuestos orgánicos volátiles en productos de uso doméstico y recubrimiento arquitectónico	0	0	0	0	0	2,315	0	0	0	0	0	0
M-2.4 Reducción de emisiones en la distribución y uso de gas LP doméstico	18	18	23	146	257	1,832	0	244,311	20	0.4	12	244,986
M-2.5 Instalación de sistemas de recuperación de vapores en estaciones de servicio del estado de Puebla	0	0	0	0	0	1,130	0	0	0	0	0	0
M-2.6 Distribución de gasolinas menos volátiles en la Zona Metropolitana del Valle de Puebla	0	0	0	0	0	605	0	0	0	0	0	0
Estrategia 3. reducción de emisiones en la quema de biomasa y residuos	**4,651**	**3,366**	**111**	**23,925**	**1,002**	**5,852**	**267**	**721,761**	**12,058**	**43**	**358**	**1,070,772**
M-3.1 Regulación y control de quemas agrícolas e implementación de buenas prácticas de labranza	2,512	1,330	41	6,895	306	746	138	269,589	289	12	121	280,993
M-3.2 Reducción, prevención y control de emisiones en la gestión de residuos	171	157	5	388	27	295	0	28,929	10,867	1	19	333,460
M-3.3 Reducir las emisiones por el consumo doméstico de leña	1,8z32	1,764	52	15,307	629	4,718	115	401,546	878	27	210	433,175
M-3.4 Mejores prácticas para el manejo de fuego y prevención de incendios	135	114	13	1,335	40	93	13	21,696	23	3	8	23,143
Reducción total y porcentaje de reducción respecto a las emisiones totales de origen antropogénico	**11,234**	**8,317**	**2,404**	**67,768**	**15,256**	**16,820**	**353**	**1,971,227**	**12,443**	**122**	**790**	**2,351,812**
	28%	**30%**	**44%**	**24%**	**26%**	**20%**	**1%**	**11%**	**13%**	**9%**	**28%**	**11%**

Fuente: Elaboración propia

6.5. Análisis Costo Beneficio de algunas medidas

6.5.1. Medidas analizadas

Las medidas para las que se llevó a cabo el análisis costo-beneficio fueron las siguientes:

M-1.1 Desarrollo de un programa de electromovilidad para el sector transporte

M-1.2 Reducción de emisiones de transporte pesado de carga y de pasajeros

M-1.5 Ciudad peatonal incluyente

M-1.6 Control de emisiones en el uso de las motocicletas

M-2.1 Reducción de emisiones en el sector industrial

M-2.2 Reducción de emisiones en el sector de producción de ladrillo

M-2.1 Reducción de las emisiones por el consumo doméstico de leña

M-3.1 Regulación y control de quemas agrícolas e implementación de buenas prácticas de labranza

M-3.4 Mejores prácticas para el manejo de fuego y prevención de incendios

M-4.2 Eficiencia energética en edificios gubernamentales

Fueron seleccionadas tomando en cuenta que tiene metas de reducción medibles y que sus costos son tangibles y cuantificables con relativa facilidad.

6.5.2. Metodología

Para llevar a cabo el análisis se utilizó la función Valor Presente Neto (VPN), que calcula el valor neto presente de una inversión a partir de una tasa de descuento y una serie de flujos de caja o pagos (valores negativos) e ingresos (valores positivos) futuros. Siendo n es el número de flujos de caja, la fórmula de VPN es:

$$VPV = \sum_{j=1}^{n} \frac{values_j}{(1 + rate)^j}$$

Para la tasa de descuento de referencia se tomó la tasa objetivo del Banco de México publicada el 11 de febrero de 2023 en:

https://www.banxico.org.mx/mercados/tasas-precios-referencia-valo.html

Para los precios en dólares, se tomó el tipo de cambio FIX publicado por el Banco de México el 14 de febrero de 2023. El tipo de cambio FIX es determinado por el Banco de México los días hábiles bancarios con base en un promedio de

las cotizaciones del mercado de cambios al mayoreo para operaciones liquidables el segundo día hábil bancario siguiente. Dichas cotizaciones se obtienen de plataformas de transacción cambiaria y otros medios electrónicos con representatividad en el mercado de cambios. El dato se obtuvo en:

https://www.banxico.org.mx/tipcamb/tipCamMIAction.do?idioma=sp

Considerando que entre los objetivos fundamentales del Programa se encuentra la reducción de emisiones de GEI, se tomó como indicador de los beneficios el volumen de toneladas de dióxido de carbono equivalente (tCO_2e) que representan las acciones propuestas en las medidas que cuentan con metas en tal sentido.

A fin de establecer una comparación adecuada, se identificaron valores monetarios para dicha variable con base en el precio por tCO_2e de tres fuentes diferentes:

1) El Programa Cap and Trade de California, Estados Unidos que entró en vigor el 1° de enero del 2012 con el objetivo de reducir las emisiones de GEI fijando un límite máximo estricto a nivel estatal para las emisiones a la vez que emplea mecanismos de mercado para lograr los objetivos de reducción.
2) El precio promedio histórico de futuros de carbono en Estados Unidos para la serie de tiempo noviembre de 2015, fecha de celebración de la COP 21 del CMNUCC en París, Francia, hasta febrero de 2023.
3) El valor del impuesto promedio por tCO_2e en Zacatecas, Tamaulipas, Querétaro, Yucatán y Estado de México al 15 de diciembre de 2022, último dato publicado.

Se aplicaron los valores de las tres fuentes para conocer la sensibilidad de las medidas analizadas ante diferentes precios de la tCO_2e y verificar que los resultados no variaran dependiendo de la fuente y el precio utilizado.

Para cada medida, el número de unidades a sustituir y los estudios, asesorías, capacitaciones y campañas a realizar, así como las metas de reducción de tCO_2e, fueron tomados directamente de las acciones propuestas en cada medida.

Se realizó investigación documental exhaustiva y se solicitaron cotizaciones exprofeso para obtener datos sobre precios de adquisición, mantenimiento y operación de vehículos (incluyendo capacidades de recarga eléctrica) y equipos, así como para la información específica siguiente:

- Los costos de recarga de vehículos eléctricos por cada tipo de unidad y por día, que se tomaron de la CFE con base en la tarifa Gran Demanda en Media Tensión Horaria o GDMTH, suponiendo que la recarga se efectúa

en un horario de 12:00 am a 6:00 am, que es la recomendada por los concesionarios por ser la más barata, y fueron tomados de:

- https://www.greenlux.com.mx/paneles-solares-monterrey/tarifas-cfe-para-casa-negocio-y-sus-costos/#:~:text=Como%20es%20bimestral%20en%20horario,%243.082%2C%20estos%20precios%20m%C3%A1s%20IVA
- Los costos de construcción y mantenimiento de ciclovías se tomaron principalmente de lo reportado por el Gobierno de la Ciudad de México. Las fuentes consultadas fueron:
- *"Costos de construcción y mantenimiento de infraestructura ciclista"* (2016) de la Secretaría de Movilidad de la Ciudad de México: https://data.mobilitymexico.mx/dataset/costos-de-construccion-y-mantenimiento-de-infraestructura-ciclista.
- *"Manual de diseño de ciclovías urbanas"* (2016) del Instituto de Políticas para el Transporte y el Desarrollo (ITDP): https://www.itdp.mx/wp-content/uploads/2016/12/manual_de_diseno_de_ciclovias_urbanas_itdp_2016.pdf
- *"Cálculo de costos de la construcción y mantenimiento de ciclovías en Bogotá"* (2017) de la Universidad Nacional de Colombia: https://revistas.unal.edu.co/index.php/coyuntura/article/view/70643
- *"El costo de construir una ciclovía"* (2019) de El Universal: https://www.eluniversal.com.mx/metropoli/el-costo-de-construir-una-ciclovia
- Los costos de operación para la fabricación de ladrillos. Estos costos corresponden a la producción con la tecnología recomendada en la medida (hornos MK3 de doble salida). La unidad de medida estándar que se adoptó fue el millar de ladrillos tipo tabique para construcción.
- En el caso de la medida de manejo de fuego y prevención de incendios, el personal por equipar.

Para todas las medidas se adoptó como periodo de análisis el horizonte de planeación del Programa, es decir 2023-2030. Se hicieron los siguientes supuestos:

1) En el primer año (2023) se realizan las inversiones
2) Los gastos en estudios, asesorías y capacitación se incurren también durante el primer año
3) A partir del segundo año se incurre en gastos de operación y mantenimiento
4) Específicamente para la medida de manejo de fuego y prevención de incendios, los gastos en campañas de difusión se incurren anualmente.

La memoria de cálculo se presenta en archivo electrónico (Anexo 1).

6.5.3. Resultados

Medidas con una relación Costo-Beneficios negativa

Para las medidas relacionadas con reducción de emisiones mediante la sustitución de vehículos de transporte de pasajeros, de carga y motocicletas por vehículos eléctricos y vehículos con tecnologías de control de emisiones actualizadas (tipo Euro VI y EPA 10), el análisis costo-beneficio señala que a los precios de la t CO_2e adoptados, los beneficios no alcanzan a cubrir los costos en el periodo analizado.

Puede suponerse que este resultado es una combinación de los siguientes factores:

- Los precios elevados de los vehículos
- Los altos costos de los centros de carga para los vehículos eléctricos de transporte de carga y de pasajeros
- Los elevados costos de mantenimiento por unidad del transporte RBT
- El número de unidades que se propone sustituir en el horizonte de planeación

En el caso de la medida para la reducción de emisiones en el sector de producción de ladrillo, los beneficios tampoco cubren los costos estimados, en buena medida debido al número de unidades a sustituir.

Para el caso de sustitución de transporte público de pasajeros en carriles confinados (RUTA), se realizó un ejercicio adicional suponiendo la sustitución de las unidades actuales por trolebuses semejantes a los que recientemente se han puesto en operación en la Ciudad de México. Dado que esas unidades cuentan con baterías que les permite desplazarse sin necesidad de catenaria hasta por 100 kilómetros, se supuso la sustitución sin el requerimiento de construir las catenarias, la misma inversión en centros de carga, el mismo costo de recarga y un costo de mantenimiento 50% menor en comparación con los autobuses eléctricos. El resultado también fue negativo, aunque la relación costo beneficio mejoró sensiblemente.

Lo anterior, no implica que deban descartarse estas medidas, debido a que social y ambientalmente presenta beneficios que compensan los costos implicados, en otras palabras, si solo se ven las medidas bajo la óptica de costo financiero deberían descartarse, pero los beneficios en salud, economía y los ahorros en costos en infraestructura y que la sociedad deberá asumir por efectos del cambio climático compensan los esfuerzos que los gobiernos realicen en apoyo a este tipo de proyectos.

Medidas con una relación Costo-Beneficio extraordinariamente positiva

En el caso de las medidas propuestas para la reducción de emisiones en el sector industrial, en la distribución y uso de gas Lp y en la reducción de quemas agrícolas e implementación de buenas prácticas de labranza, los beneficios superan por mucho los costos proyectados.

Sin embargo, debe observarse que las acciones propuestas consisten solamente en estudios y campañas de difusión cuyo costo se incurre solamente en el año de arranque. Por otra parte, debe señalarse que dichas acciones propuestas tienen como supuesto que las conclusiones y recomendaciones a las que arriben serán implementadas y producirán la reducción de emisiones de tCO_2e esperada como meta.

Medidas con una relación Costo-Beneficio positiva

En el caso de las medidas de reducción de las emisiones por construcción de ciclovías, por consumo doméstico de leña, de mejores prácticas para el manejo de fuego y prevención de incendios y reducción de emisiones en edificios gubernamentales, las acciones y metas propuestas resultan efectivas para que la relación costo-beneficio sea positiva, es decir, los beneficios superan considerable y razonablemente a los costos incurridos.

En la siguiente tabla, se presenta un concentrado de las medidas y los beneficios positivos y los negativos en color rojo, También a manera de ejemplo se presentan tres gráficas muestran claramente el comportamiento de los costos versus beneficios. Las gráficas con las barras en color rojo muestran las medidas con una relación costo/beneficio negativo. La comparación se realizó tomando la referencia del Programa *Cap and Trade* de California, Estados Unidos.

TABLA 90. RELACIÓN DE MEDIDAS CON SUS BENEFICIOS (NEGATIVOS Y POSITIVOS)

Medida	Beneficio
Desarrollo de un programa de electromovilidad para el sector transporte	-$11,813,771,854.25
Reducción de emisiones de transporte pesado de carga y de pasajeros	-$117,927,382,278.14
Ciudad peatonal incluyente	$423,248,818.79
Control de emisiones en el uso de las motocicletas	-$2,976,810,090.12
Reducción de emisiones en el sector industrial	$858,724,264.60
Reducción de emisiones en el sector de producción de ladrillo	-$2,402,591,983.84
Reducción de las emisiones por el consumo doméstico de leña	$1,689,112,382.88
Regulación y control de quemas agrícolas e implementación de buenas prácticas de labranza	$699,878,797.90
Mejores prácticas para el manejo de fuego y prevención de incendios	$1,982,049,544.95
Eficiencia energética en edificio gubernamentales	$2,021,250.91

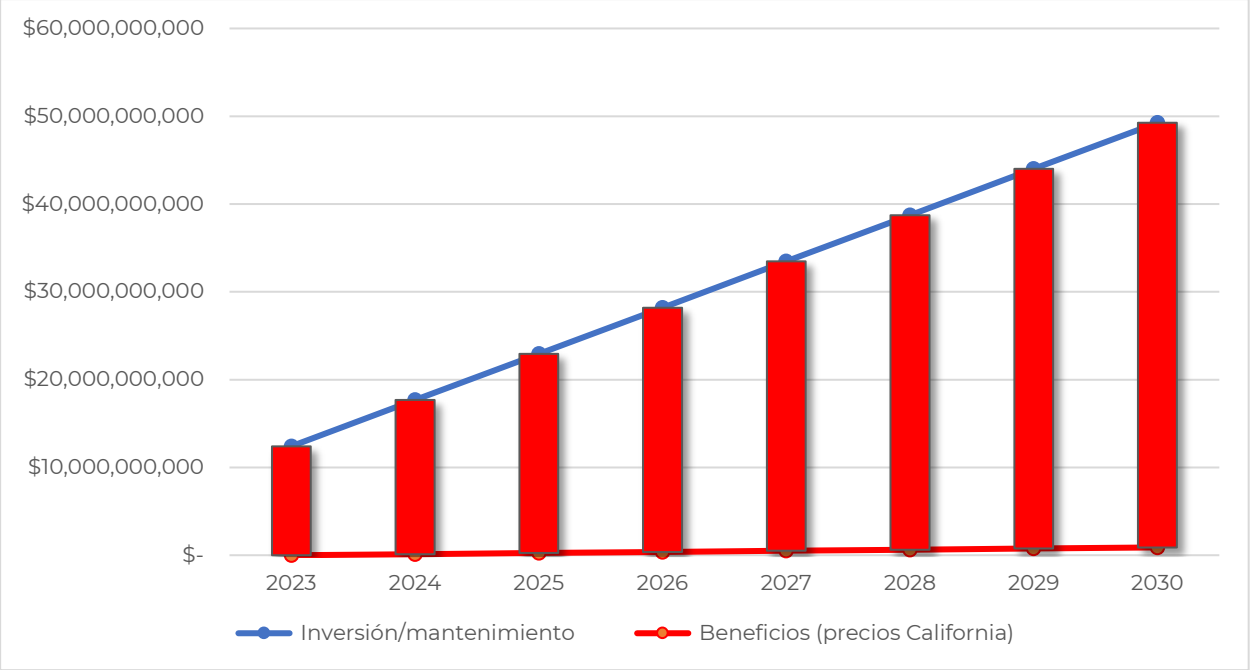


FIGURA 140. DESARROLLO DE UN PROGRAMA DE ELECTROMOVILIDAD PARA EL SECTOR TRANSPORTE

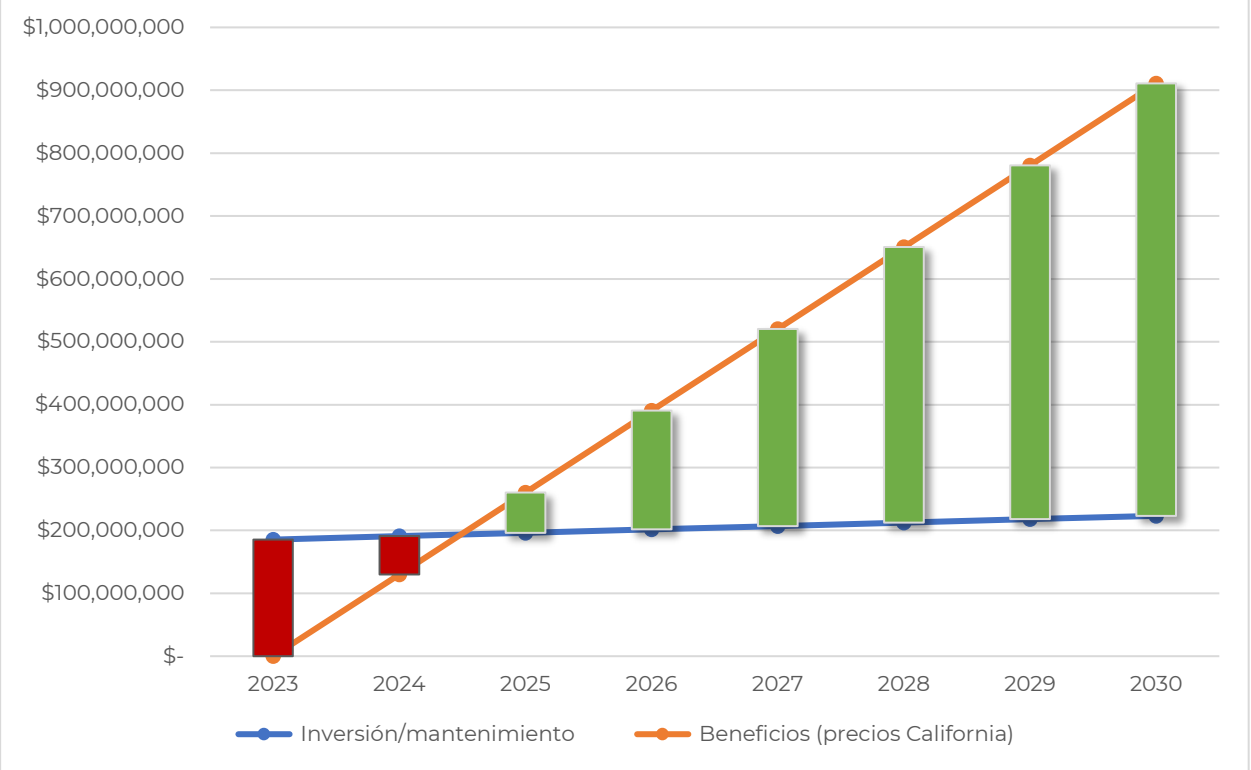


FIGURA 141. CIUDAD PEATONAL INCLUYENTE

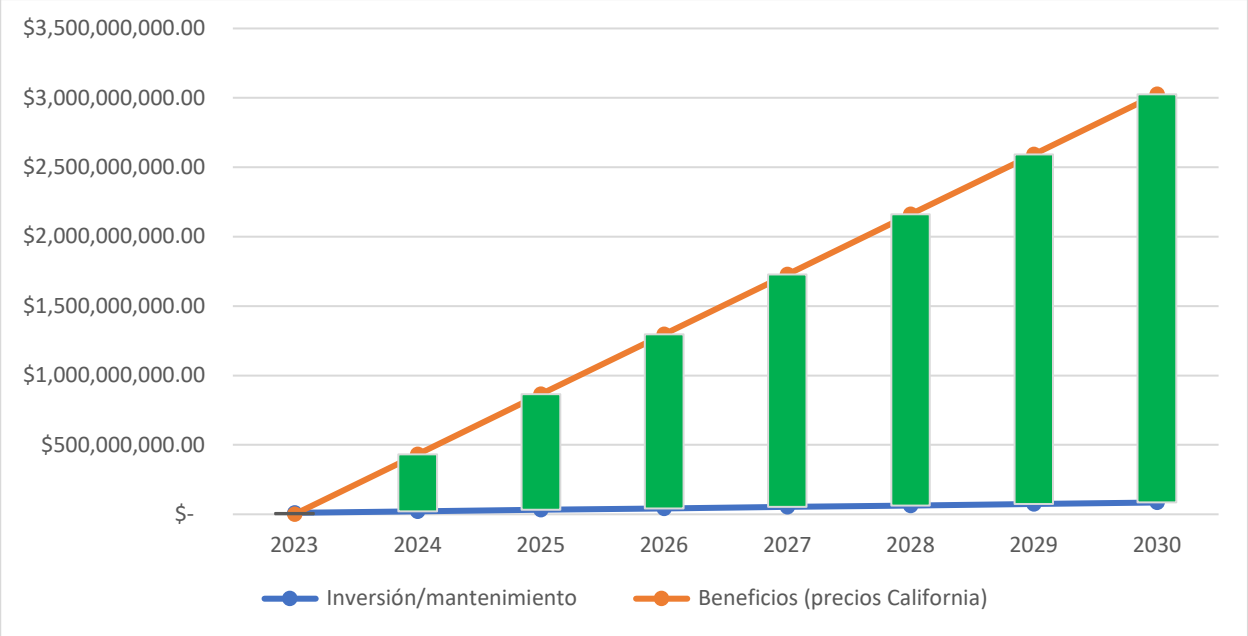


FIGURA 142. MEJORES PRÁCTICAS PARA EL MANEJO DE FUEGO Y PREVENCIÓN DE INCENDIOS

6.6. INDICADORES DE SEGUIMIENTO Y EVALUACIÓN.

En archivo electrónico (Anexo 2), se incluye la matriz con los indicadores de seguimiento y evaluación.

Para mayor información de este capítulo, consultar el documento electrónico "ESTRATEGIAS, MEDIDAS Y LÍNEAS DE ACCIÓN"en el sitio WEB https://calidaddelaire.puebla.gob.mx/views/principal.php.



7

Comunicación, financiamiento y reporte

7. COMUNICACIÓN, FINANCIAMIENTO Y REPORTE

7.1. SENSIBILIZACIÓN, PARTICIPACIÓN CIUDADANA Y COMUNICACIÓN DE LA CALIDAD DEL AIRE Y EL CAMBIO CLIMÁTICO.

En los últimos años se han reconocido ampliamente los efectos que está generando la mala calidad del aire, su relación con el incremento de gases de efecto invernadero y su consecuente impacto en el incremento del cambio climático (UCAR, 2022). Los cambios observados y las predicciones climáticas afectarán globalmente a las sociedades y a los sistemas de la Tierra a tal nivel que la vida como la conocemos actualmente se pone en riesgo. Estos impactos a nivel socio ecológico también tienen incidencia desde la perspectiva de derechos, reconociendo que un ambiente funcional, limpio y saludable, así como la salud, la comida y un adecuado modo de vida son derechos humanos, cuyo goce se verá afectado por el cambio climático (UNEP, 2015).

Bajo este contexto es responsabilidad de los gobiernos a nivel federal, estatal y municipal colaborar de forma articulada con actores clave y la sociedad en general para abordar las problemáticas de los impactos del cambio climático de la misma forma que se respeten y promuevan los derechos humanos. Una de las primeras pautas para ello es socializar las decisiones, compromisos y propuestas de acciones que se generan, tanto en compromisos nacionales, como en los gobiernos locales. Esto implica retomar que el acceso a la información y la participación pública para tomar decisiones en el sector ambiental se ha reconocido como un derecho humano, en donde las y los ciudadanos tienen derecho a acceder a la información ambiental que poseen las autoridades y participar en la elaboración de programas que afecten a nivel ambiental (Convention on Access to Information, 2001; UN, 2018).

La participación permite que cada individuo ejerza su función en la sociedad, exprese sus intereses y opiniones sobre las acciones del sistema político y de gobernanza (Mohammad y Farjana, 2018) de una forma libre e interactiva que tenga incidencia en la toma de decisiones (Agarwal, 2001). Con ello se remarca la importancia de la participación para movilizar la toma de decisiones a nivel ambiental (y no sólo como un medio, sino como un fin en sí (Pasquier-Merino, 2014), el cual abre camino a desarrollar e implementar estrategias con las personas que habitan en los sitios donde se busca generar proyectos y acciones que aportan a la atención de amenazas y problemáticas que afectan a la sociedad y la naturaleza.

Las propuestas de medidas de adaptación y mitigación son estrategias que se buscan implementar para contrarrestar los efectos del cambio climático y las problemáticas subyacentes. Diversas de sus acciones también involucran intervención en territorios donde la gente se desenvuelve cotidianamente para realizar actividades de sustento, por lo que estas medidas pueden interferir desproporcionadamente en los medios de vida de diversos sectores y, por lo tanto, en los derechos humanos (UNEP, 2015). Por ello es fundamental que, previo a la implementación de medidas, se desarrolle una estrategia adecuada de comunicación que difunda de manera adecuada e informada los impactos de una mala calidad del aire, del cambio climático y de las medidas que se tomarán. En segundo lugar, que asegure una correspondencia con las necesidades de la población y, sobre todo, involucre la toma de decisiones sobre calidad del aire y el cambio climático de una manera participativa, particularmente en la validación y retroalimentación por actores locales de diversos sectores.

El PROAIRE-PEACC tiene como objetivo establecer estrategias que permitan reducir y regular la generación de emisiones contaminantes, así como formular acciones de adaptación y mitigación ante los efectos potenciales del cambio climático en el estado de Puebla. Para ello, es importante promover el interés y la vinculación participativa de la sociedad en general. Esto permitirá la implementación colectiva de las estrategias definidas en materia de calidad del aire y cambio climático, mientras que tendrá una contribución en el cuidado del medio ambiente, la protección de la salud y el bienestar de la población. En este sentido, este capítulo introduce con un resumen de las actividades de socialización realizadas a lo largo de la elaboración del Programa, incluyendo las reuniones mantenidas con el Grupo de Trabajo Núcleo y los talleres de difusión y retroalimentación con la sociedad en general.

La segunda sección resalta las percepciones de la ciudadanía que participó en los talleres de socialización del Programa, enfatizando en aquellos factores que detonan la mala calidad del aire y sus consecuencias a nivel salud y bienestar, así como los efectos de la pérdida de los Elementos Clave ante el cambio climático. En la última sección se presenta la estrategia de socialización que considera los alcances de la primera etapa de difusión con la sociedad y propone una serie de líneas de acción clave para incrementar el involucramiento en la implementación del Programa.

7.1.1. Participación e involucramiento de la ciudadanía en el desarrollo e implementación del ProAire

Desde el desarrollo del Programa se mantuvo una estrecha relación con las Direcciones de calidad del aire y cambio climático de la SMADSOT para elaborar el contenido del documento, incorporar insumos relevantes para el estado y obtener retroalimentación y validación sobre los avances en cada

tema. Para ello, se realizaron múltiples reuniones presenciales y virtuales semanalmente para presentar las propuestas de abordaje, metodologías y resultados parciales. De forma paralela se conformó el Grupo de Trabajo Núcleo integrado por actores clave con experiencia e interés en el tema para mantener reuniones de seguimiento, validación y retroalimentación al Programa. Este grupo se conformó a partir de un listado de actores definidos por la SMADSOT y se tomó protesta formal para formar parte de las reuniones subsecuentes.

Otro componente relevante en el proceso de involucramiento y participación fue el acercamiento a la sociedad en general para presentar el Programa y retroalimentarlo con perspectivas locales. Se realizaron talleres participativos en cinco macrorregiones del estado de Puebla dirigidos a la sociedad civil, organizaciones no gubernamentales, instituciones de gobierno con competencia en el tema, autoridades municipales, autoridades agrarias, academia, colectivos y otros. Estos talleres y reuniones se resumen en la siguiente línea del tiempo que refleja el proceso iterativo realizado y menciona los objetivos específicos de cada uno de estos eventos.

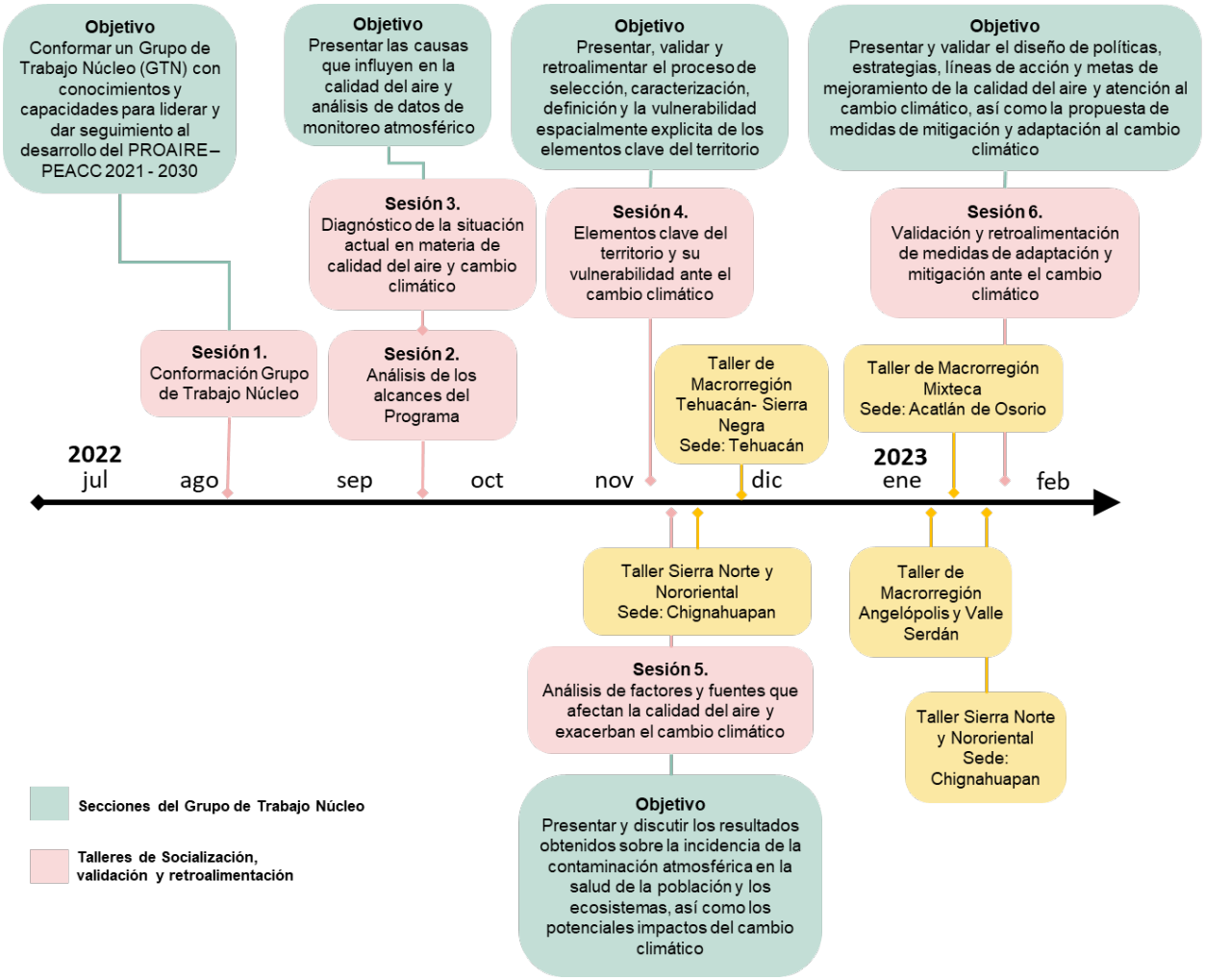


FIGURA 140. PROCESO DE PARTICIPACIÓN E INVOLUCRAMIENTO EN EL DESARROLLO DEL PROGRAMA

7.1.2. Percepción de la ciudadanía sobre calidad del aire y cambio climático.

Durante los cinco talleres de socialización con las comunidades de las macrorregiones de la Sierra Norte y Nororiental; Angelópolis y Valle de Serdán; Mixteca y Valle de Atlixco; y Valle de Tehuacán y Sierra Negra, se consultó la percepción de los representantes de cada región con respecto al cambio climático y la calidad del aire. Para obtener sus opiniones, se les hicieron preguntas detonadoras acerca de los sectores o actores que afectan la calidad del aire en su región, la manera en que la mala calidad del aire les afecta y cuáles son las soluciones que se han implementado para atender las problemáticas.

Además, en el campo de cambio climático, se realizaron preguntas con enfoque en los elementos clave del territorio (ECT), sus usos como servicios ecosistémicos con enfoque social, cultural y económico, y, las consecuencias de la pérdida de los ECT. Finalmente, se les pidió a los participantes priorizar tres ECT que por sus características y atributos fueron reconocidos como Objetos de Conservación Socio-Ambientales (OCSA) y con base en ello, se buscó identificar de qué forma los efectos del cambio climático pueden impactar en ellos y esto a su vez, afectar los beneficios directos que obtienen las personas de las distintas macrorregiones de Puebla y en sus actividades productivas remuneradas.

Percepción de actores y/o sectores responsables de la mala calidad del aire

Los principales sectores que se perciben como responsables de la mala calidad del aire en las comunidades son los sectores privados como ladrilleras, textiles, mineras, constructoras, plantas de energía, cementeras, pavimentadoras y confección, empresas que generan aceites, fábricas de plásticos, lavanderías, sector avícola (excrementos y quema de plumas), residuos de rastros, uso de gas natural, abono de ganado, hornos de carbón, trituradoras de calcio y liberación de químicos y gases por empresas privadas.

Otro actor relevante, son las personas de la sociedad civil realizando acciones como el uso y quema de leña, la quema de basura, producción de barbacoa, quema de pastizales en terrenos abandonados, personas fumadoras, excrementos de mascotas en vías públicas, uso de gas natural, quema de bosques, quema de pirotecnia, sobrepoblación, transporte público en malas condiciones, el uso de vehículos automotores y la descarga de aguas residuales en ríos y lagos.

Por último, se identificó que el origen de estas problemáticas es principalmente la mala gestión del gobierno y la corrupción. Se enfatizó la mala regulación de empresas, sanciones “débiles” ante delitos ambientales, el mal manejo de residuos, tanto desde la recolección hasta la disposición final en los rellenos sanitarios y drenajes mal manejados.

La percepción de las afectaciones por la mala calidad del aire

Las afectaciones se centraron en los problemas de salud, principalmente respiratorios como neumopatía (incluso cáncer de pulmón) y problemas crónicos en vías respiratorias. También se mencionaron afectaciones en los ojos, identificadas por tener constante irritación y cataratas. Se enfatizó que presentan problemas intestinales por contaminación de alimentos a través del aire. También se mencionaron las afectaciones a la salud mental, se enfatizó la tristeza por no poder salir a caminar y la depresión por tener familiares enfermos. Al igual que un menor rendimiento en el trabajo por afecciones a la salud o un ambiente inadecuado al detectar aromas desagradables.

También se mencionaron las afectaciones al ambiente por la pérdida de espacios arbolados y la contaminación de los cuerpos de agua y suelo. Además, se mencionó la contaminación visual al no poder observar los volcanes. Por último, se dijo que la mala calidad del aire provoca migración forzada por la emisión de gases hediondos, ya sea por acumulación de desechos o por industrias. Igualmente, se mencionó que la contaminación del aire provoca mayores gastos asociados a la atención médica y pérdida de fuerza de trabajo por el mal estado de salud.

Soluciones percibidas para atender las problemáticas de calidad del aire

Se han implementado diversas ecotecnias, como estufas ahorradoras, calentadores solares, biodigestores y membranas para la mitigación de residuos de granjas avícolas. Además, se han establecido reglamentos internos para evitar la quema de basura y se ha involucrado a las autoridades para regularla. Se han llevado a cabo programas de educación ambiental en escuelas y colonias, así como organización entre vecinos para exigir el cierre de empresas contaminantes. También se cuenta con organización vecinal para la limpieza de tiraderos en ríos y basura en calles.

El gobierno ha realizado cierres de tiraderos por malos manejos, pero esta acción ha resultado contraproducente para la población, ya que se visualiza el problema aislado y no se habilitan nuevos tiraderos ni rellenos sanitarios, lo que provoca que se abran tiraderos ilegales o se acumulen los desechos en las calles y cuerpos de agua. Asimismo, se han propuesto medidas para regular permanentemente las ladrilleras en San Pedro Cholula, ya que el seguimiento de cualquier revisión es complicado ya que no están reguladas. También se han aplicado regulaciones de la pirotecnia como sucedió en el municipio de Chila. También se mencionaron las Áreas Naturales Protegidas como sumideros naturales de carbono.

Algunas de las problemáticas identificadas en la implementación de soluciones, han sido la falta de seguimiento, la incompatibilidad de las ecotecnias con los proveedores de servicios. Por ejemplo, la propuesta por

parte de la comunidad para la implementación de celdas solares con apoyo de la CFE fue negada. Además, los biodigestores no recibieron el debido mantenimiento por lo que fueron inhabilitados. Al igual que las membranas para la contención de desechos de las granjas avícolas, que se desbordaron al canal por ausencia de un buen manejo y seguimiento del proyecto.

Por otro lado, se propusieron soluciones de parte de los participantes para abordar la problemática de la calidad del aire entre ellas resaltan la verificación vehicular obligatoria, en caso específico de los camiones de carga, inspecciones a centros de verificación vehicular, inspecciones y regulaciones de empresas, al igual que revisiones de licencias de funcionamiento, instalación y mantenimiento de plantas de tratamiento de residuos, campañas de sensibilización dirigidas al sector privado, incorporar la materia de educación ambiental al sistema educativo. También se propuso crear un departamento que regule y proponga alternativa para las ladrilleras.

Percepción de los Elementos Clave del Territorio como Objetos de Conservación Socioambiental

Los Elementos Clave del Territorio (ECT) son considerados relevantes por su alta sensibilidad al cambio climático, su representatividad en el territorio y por su relevancia como servicio ecosistémico para la sociedad. Los representantes de cada región perciben y valoran los ECT de acuerdo con su nivel de conocimiento de estos en el territorio y su vinculación con su comunidad y el ecosistema presente. Esta sección destaca la diversidad de importancia de los ECT que por sus características y atributos fueron reconocidos por parte de las personas como Objetos de Conservación Socio-Ambientales (OCSA), identificando 11 OCSA (ver más en el Informe de los procesos de socialización del PROAIRE-PEACC):

Murciélagos, algunas comunidades conocen profundamente su importancia en los procesos de polinización y mantenimiento de los ecosistemas, mientras que otras comunidades no tienen conocimiento ni valorización del grupo, sino que lo asocian a "algo malo". Sin embargo, se reconoció su importancia en la polinización de la vegetación local y de los cultivos de los que muchas familias obtienen recursos económicos. También, indicaron la relevancia del control de plagas y enfermedades que realizan, así como de la dispersión de semillas de las especies vegetales.

Abejas, resaltó su importancia como polinizadores de la vegetación natural y de los cultivos que son de importancia económica y para la alimentación de las familias locales. Gracias a ellas se mantienen las actividades de apicultura y meliponicultura que son el sustento de muchos productores y sus familias.

Rapaces, reconocidas por su relevancia en el control de las poblaciones de plagas como ratones, también al alimentarse de la carroña reducen los malos olores, limpian los terrenos y los paisajes. La presencia de estas aves ha

permitido el desarrollo del ecoturismo para la observación de aves, lo cual genera una fuente de ingresos para las familias locales.

Orquídeas, se identificó que purifican el aire, brindan belleza al paisaje, forman parte de la identidad cultural de diversos pueblos, además de que las personas se benefician del comercio de estas plantas para su uso ornamental. También son reconocidas como bioindicadoras de zonas húmedas y conservadas.

A**gaves**, se reconocieron por su importancia cultural, histórica y económica, ya que generan empleos y una importante derrama económica por la producción de bebidas alcohólicas como el mezcal, el tequila y el pulque.

Especies forestales, se reconocieron como de gran importancia debido a que representan una fuente de ingresos económicos que benefician a las personas del estado, ya que se generan empleos mediante la elaboración y venta de muebles, de madera, venta de leña y carbón, y la elaboración de artesanías de madera. Gracias a ellas se obtiene leña que es utilizada para la preparación de los alimentos del hogar y para calentar el agua.

Matorral desértico rosetófilo, mencionado como un sitio de preservación de plantas medicinales que son utilizadas para la atención de padecimientos como la gastritis y la diabetes. Las plantas de este ecosistema son usadas como de ornato, los frutos como la pitaya y los nopales, así como algunas especies de gusanos forman parte de la dieta de las personas. Por otro lado, son el hábitat de una gran cantidad de especies silvestres, son sitios de anidación de diversas aves.

Matorral crasicaule, reconocido porque las personas obtienen plantas medicinales, frutos como la pitaya, agaves para la elaboración de mezcal y pulque, plantas para el adorno de espacios públicos, productos de palma y brinda sombra para los animales y las personas. Gracias a este ecosistema se mantienen actividades económicas de las cuales se ven beneficiadas las personas de las regiones, por ejemplo, los recorridos turísticos, ecoturísticos, ferias y producción de mezcal.

Reptiles, fueron reconocidos porque contribuyen al control de plagas que pueden resultar en afectaciones en la salud y en la producción en campos agrícolas. A nivel cultural, los reptiles forman parte de la cosmovisión de las comunidades y reconocen a ciertos individuos como especies de poder que cuidan los cultivos y aseguran la producción.

Cactáceas, indicadas como proveedoras de alimentos como tunas, pitayas, xoconostle, garambullos, nopales, entre otros, que son la base de la alimentación de las familias locales, además de que representan un ingreso económico a través de su venta. También, son utilizadas como plantas de ornato y como cercas vivas.

Anfibios, se priorizaron ya que se reconocen como controladores de plagas principalmente de mosquitos durante la temporada de lluvias. También son una parte fundamental de la cadena alimenticia y gracias a ello se mantienen otras especies silvestres. Con respecto a las actividades económicas asociadas, se mencionó la venta de ajolotes. Resultando en 11 OCSA prioritarios para los representantes de las macroregiones del estado de Puebla:

Consecuencias ante la pérdida de los Elementos Clave del Territorio ante el impacto del Cambio Climático y las presiones humanas

Las principales problemáticas vertidas en la pérdida de los ECT/OCSA fueron que habría una pérdida de la cultura local, la alteración de las cadenas alimenticias y los ecosistemas, los gastos económicos extra para los agricultores, la pérdida de cosechas, el aumento de plagas, la degradación del suelo, los derrumbes, el incremento de sequías, la generación de enfermedades, la pérdida de aire limpio, el aumento de la temperatura, la pérdida de superficie de captación de agua, la pérdida de polinización de plantas con interés comercial y, por tanto, pérdidas económicas, y la disminución de turistas.

Por otro lado, las personas que se encuentran en zonas urbanas saben la importancia del ECT/OCSA pero no por su uso directo sino por su belleza, importancia en mantenimiento de la biodiversidad y utilidad para actividades productivas primarias. La pérdida de los ECT/OCSA, por tanto, es una amenaza para la salud y el bienestar de la comunidad y el medio ambiente del que dependen.

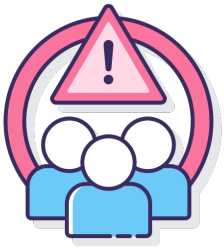
Los resultados de la percepción de los representantes de las diversas regiones de Puebla nos permiten entender mejor la visión de las comunidades sobre el cambio climático y la calidad del aire, así como la relación y valoración que existe de las distintas regiones con sus ecosistemas, su importancia cultural, social y económica. Al igual que las consecuencias en la pérdida de los ECT/OCSA y las principales problemáticas y obstáculos en las soluciones que se han propuesto para abordar los temas relacionados con la calidad del aire.

7.1.3. Estrategia de socialización

La gestión de la calidad del aire, así como la mitigación y adaptación ante el cambio climático no sólo se fundamenta en el cumplimiento y vigilancia de la Ley y los acuerdos generados entre los órdenes de gobierno. También se busca la participación consciente, activa y comprometida por parte de la sociedad del territorio. En este sentido, es de suma importancia informar adecuadamente a la sociedad sobre la situación actual de la calidad del aire y de los potenciales efectos del cambio climático en el territorio, para que exista una sensibilización

hacia la población, garantizar sus derechos al acceso a la información en temas medio ambientales y aportar a la implementación de acciones colectivas orientadas a través de la apropiación del PROAIRE-PEACC.

Considerando la importancia de incentivar este involucramiento de la sociedad en la implementación del Programa, así como los intereses y perspectivas de que destacaron las personas asistentes a los talleres, se identificaron diversos puntos estratégicos para definir los siguientes pasos para la socialización. La presente estrategia de comunicación estará dirigida a seis tipos de audiencias específicas, las cuales se describen a continuación:

Público en general 	La socialización del Programa con la población en general deberá considerar mensajes clave que sean claros y comprensibles, así como canales de comunicación accesibles, que faciliten el entendimiento de la información técnica generada sobre calidad del aire y cambio climático. Esto permitirá promover el interés y la vinculación de la población de todas las edades en la implementación, monitoreo y evaluación de las distintas medidas desarrolladas para el mejoramiento de la calidad del aire, así como la mitigación y adaptación ante el cambio climático.
Población vulnerable 	En este tipo de audiencia se toman en cuenta distintos enfoques de vulnerabilidad social, económica y ambiental. Por un lado, se consideran a aquellas poblaciones con un índice de rezago social, lo cual requiere de estrategias de difusión específicas que consideren las brechas digitales, el acceso a la información, edades y los distintos niveles de escolaridad presentes. Debido al contexto, este grupo en particular es más sensible a la mala calidad del aire y a los efectos del cambio climático. Por otro lado, gracias a los análisis realizados durante este Programa, ha sido posible identificar aquellas zonas del territorio en las cuales se están emitiendo mayores contaminantes y GEI. Esto permite focalizar a municipios, localidades y/o comunidades y con base en ello, definir una estrategia específica de difusión sobre cómo reducir estas fuentes contaminantes que ponen en riesgo la salud y bienestar de las personas. Asimismo, los análisis de vulnerabilidad espacialmente explícita ante el cambio climático permiten identificar las zonas con mayor vulnerabilidad y sobre las cuales se deberán de priorizar la implementación de acciones, por lo que la estrategia de comunicación deberá de ser enfocada particularmente en la difusión e implementación de las medidas de adaptación y mitigación en las zonas con mayor vulnerabilidad.

Sector privado 	El sector privado considera a todas aquellas empresas privadas (grandes, medianas y pequeñas), así como a productores agrícolas y pecuarios del territorio. Este sector en particular se ha identificado como uno de los que contribuye en mayor medida a la mala calidad del aire, por lo que se requiere de una estrategia de difusión específica que permita concientizar y sensibilizar a los empresarios y productores sobre los efectos de la mala calidad del aire en la salud y el bienestar de las personas. Es importante mencionar que esta estrategia de difusión deberá de ser asertiva, considerando las necesidades de los empresarios y productores, para que se generen alianzas de colaboración que permitan implementar acciones para la reducción de la emisión de contaminantes y que también, se traduzcan en beneficios a las actividades económicas.
Agencias de cooperación internacional, nacionales, OSC y agentes con potencial financiador 	Las estrategias para la mejora de la calidad del aire y para la mitigación y adaptación ante el cambio climático requieren de la coordinación intersectorial de las partes interesadas y del financiamiento de distintas fuentes. En este sentido, es importante generar una estrategia de difusión dirigida a agentes financiadores que tengan objetivos y metas relacionadas con la calidad del aire y el cambio climático. Asimismo, deben permitir alinear esfuerzos y objetivos comunes que contribuyan a mejorar la calidad del aire y favorecer la mitigación y adaptación al cambio climático
Profesionistas 	En este grupo se encuentran representados profesionistas de distintos sectores que son actores clave en la implementación de las medidas establecidas de calidad del aire y cambio climático. Por ello, se incluyen a personas de los tres órdenes de gobierno relacionados con el medio ambiente, cambio climático, movilidad, energía, desarrollo urbano, salud pública, educación y comunicación. La estrategia de comunicación dirigida a esa audiencia deberá sectorizar la información técnica, según sean las responsabilidades y atribuciones de cada uno de los profesionistas. Esto permitirá que exista una corresponsabilidad entre los actores y las medidas y, por lo tanto, su implementación sea más efectiva.
Especialistas 	Esta audiencia está compuesta por aquellas personas expertas en los temas de calidad del aire y cambio climático. Se incluyen académicas y académicos y organizaciones de la sociedad civil del territorio. La estrategia de difusión del PROAIRE-PEACC se propone que se realice a través de reuniones y mesas de diálogo mediante las cuales se comparta la información técnica y se promueva el intercambio de opiniones e información relevante. También, en estos espacios se podrán identificar algunas medidas que puedan ser implementadas de la mano de este grupo de especialistas.

A continuación, se enlistan una serie de propuestas rectoras para dirigir la implementación de una estrategia de comunicación sobre los temas clave y las acciones que propone el Programa. Estas permiten que los acuerdos y compromisos no sólo se mantengan a nivel de gobierno, sino que sea socializados a la población en general, permitiendo el acceso libre a la información ambiental, fortaleciendo la toma de decisiones y, sobre todo, abriendo camino a la apropiación de acciones que permiten incrementar la adaptación y mitigar el cambio climático. Con ello se pueden lograr acciones más efectivas con resultados de mayor impacto y que sean acompañados y apropiados por la sociedad.

1. Fortalecer desde un enfoque didáctico la infraestructura actual para la comunicación de información sobre la calidad del aire

Audiencia	Población en general	Sector privado	Agencias de cooperación internacional	Profesionistas	Especialistas
					

El Gobierno de Puebla cuenta con la Red Estatal de Monitoreo Atmosférico (REMA), la cual pone a disposición de la sociedad la información actualizada sobre el monitoreo de la calidad del aire, el índice Aire y Salud y el índice de Calidad del Aire (ICA), para su consulta. Sin embargo, es importante resaltar que la información es presentada bajo tecnicismos que pueden dificultar el entendimiento de los resultados del monitoreo de la calidad del aire. Por ello, se recomienda utilizar un lenguaje adecuado y herramientas visuales que permitan que los usuarios realicen la interpretación de los resultados del monitoreo con información y ejemplos claros de fuentes de contaminantes y de impactos en la salud. A su vez, esto promueve el interés en tomar acciones específicas que contribuyan a la reducción de los contaminantes de la calidad del aire, desde distintos ámbitos (hogar, escuela, trabajo, entre otros).

2. Socialización de los instrumentos actualizados sobre calidad del aire y cambio climático del estado de Puebla

Audiencia	Población en general	Sector privado	Población vulnerable
			

La Secretaría de Medio Ambiente, Desarrollo Sustentable y Ordenamiento Territorial (SMADSOT) del gobierno de Puebla, ha puesto a disposición de la sociedad los instrumentos estatales actualizados en materia de calidad del aire y cambio climático, tales como la Estrategia de Eficiencia y Transición Energética del estado de Puebla y la Estrategia Estatal de Cambio Climático 2021-2030, para su consulta. En estas estrategias se establecen acciones de mitigación y adaptación ante los efectos del cambio climático, así como las recomendaciones que fomenten el uso eficiente de la energía para minimizar el impacto ambiental. El PROAIRE-PEACC a su vez, se alinea y contribuye al cumplimiento de estas medidas, retoma los esfuerzos implementados y también, propone nuevas medidas estratégicas para el mejoramiento de la calidad del aire y para la mitigación y adaptación al cambio climático.

Si bien estos instrumentos se encuentran disponibles en el portal de la SMADSOT, el entendimiento de la información técnica no siempre tiene el impacto esperado en la sociedad. En este contexto, se propone realizar de la mano de los profesionistas y expertos acciones de socialización de la información a través de distintas herramientas visuales como cárteles, infografías, videos interactivos, entre otros. También, para tener un mayor alcance y acercamiento de estos temas a la sociedad se deberán implementar talleres, pláticas informativas, ferias y/o foros en los que se comparta la información con mensajes claros y sencillos con las distintas personas de la sociedad de Puebla.

Estos acercamientos con la sociedad serán un antecedente para que las personas conozcan el contexto y la relevancia de la elaboración e implementación del PROAIRE-PEACC del estado de Puebla.

3. Socialización del PROAIRE-PEACC a través de portales y redes sociales

Audiencia	Población en general	Sector privado	Agencias de cooperación internacional	Profesionistas	Especialistas	Población vulnerable
						

Los portales digitales y las redes sociales son consideradas como medios de difusión masivos, que permiten lograr una comunicación interactiva y dinámica con distintos tipos de usuarios. El gobierno de Puebla ha generado estos medios en materia de calidad del aire y cambio climático para mantener un vínculo con la población, en los que se encuentra disponible información relevante y se invita al intercambio de comentarios y dudas al respecto.

Considerando los esfuerzos que existen de difusión de la información a través de estos medios, se propone que se realice la socialización del PROAIRE-PEACC

a través de estos medios con herramientas digitales que mediante mensajes clave y claros, estrategias didácticas y pedagógicas. Esto permite que los distintos usuarios comprendan la información presentada, se interesen por estos temas de relevancia para el bienestar de la población y sean corresponsables de la implementación de acciones para mejorar la calidad del aire y la mitigación y adaptación ante el cambio climático.

A continuación, se muestran los portales y páginas de información con las que cuenta el estado de Puebla, en los que se podría cargar esta información para la consulta de la población en general:

DEPENDENCIA	DIRECCIÓN URL	DESCRIPCIÓN
SMADSOT	https://calidaddelaire.puebla.gob.mx/views/principal.php	La página está diseñada bajo el esquema institucional del Gobierno Federal, con un estilo de difusión de instrumentos generados en materia de calidad del aire. Funciona como un portal en el que el usuario puede consultar los resultados en tiempo real del monitoreo atmosférico, se brinda información relevante sobre las fuentes fijas y la verificación vehicular. Existe un apartado de "Programas" en los que se encuentran disponibles las versiones del PROAIRE 2012-2020 y 2006-2011, así como el inventario de emisiones. Para tener un acercamiento con la sociedad, se encuentra disponible un directorio de datos de contacto de la SMADSOT, la Subsecretaría de Gestión Ambiental y Sustentabilidad Energética, la Dirección de Gestión de Calidad del Aire, el Departamento de Monitoreo y Evaluación de Emisiones, y el Departamento de Verificación y Regulación de Fuentes.
SMADSOT	https://smadsot.puebla.gob.mx/cambio-climatico-y-ciudades-inteligentes/2-uncategorised/32-estrategia-de-eficiencia-y-transicion-energetica-del-estado-de-puebla	Portal del gobierno de Puebla en el que se encuentra disponible para su consulta los siguientes instrumentos: • Estrategia Estatal de Cambio Climático 2021-2030 • Estrategia de Eficiencia y Transición Energética del estado de Puebla • Medidas Fiscales Federales y Locales para el estado de Puebla
SINAICA-SEMARNAT) y INECC	https://sinaica.inecc.gob.mx/index.php	Portal que recaba, transmite y publica información de calidad del aire que se genera en las estaciones de monitoreo, entre ellas las presentes en el estado de Puebla. El portal pone a disposición del usuario la visualización y descarga de datos crudos de calidad del aire y de variables meteorológicas en tiempo real, así como indicadores de calidad del aire.

DEPENDENCIA	DIRECCIÓN URL	DESCRIPCIÓN
CAMe	https://www.gob.mx/comisionambiental	Portal del gobierno de México en el que se encuentran disponibles los comunicados relacionados con la calidad del aire (por ejemplo, avisos de contingencia ambiental). También, multimedia como fotografías y Videos, así como materiales de divulgación de calidad del aire, Programa Hoy no Circula, verificación vehicular, entre otros. Además, está a disposición del usuario documentos para consulta, ligas de interés y transparencia.
CAMe	https://twitter.com/CAMegalopolis	Página oficial de Twitter activa en la que se publican diversas recomendaciones para mejorar la calidad del aire, Programa Hoy no Circula, verificación vehicular y se comparten avisos importantes
SMADSOT	https://twitter.com/AmbienteGobPue	Página oficial de Twitter activa en la que se publican avisos sobre las estrategias de reforestación, ANP de carácter estatal y federal, incendios, seguridad hídrica, contaminación, entre otra información ambiental

4. Socialización del PROAIRE-PEACC a través de estrategias específicas que consideren las brechas digitales y otras limitantes de acceso a la información

Audiencia	Población en general	Sector privado	Población vulnerable
			

La difusión del PROAIRE-PEACC deberá de considerar una estrategia de socialización que permita llevar el mensaje a todas las personas del territorio. Si bien la mayoría de las personas del estado de Puebla tiene acceso a internet y a otros servicios que habilitan el acceso a la información, existen localidades, comunidades y ejidos que no cuentan con estos servicios, ni tampoco disponen y/o cuentan con conocimientos sobre cómo utilizar dispositivos electrónicos.

En este contexto, se requiere de una estrategia de socialización en la que la información llegue de manera directa a estas personas, con mensajes clave y materiales que faciliten la comprensión de la información y la apropiación del PROAIRE-PEACC. Entre estas estrategias se encuentra la facilitación de pláticas de difusión, talleres, foros y ferias.

5. Encuentros entre expertos y profesionistas para la socialización del Programa

Audiencia	Agencias de cooperación internacional	Profesionistas	Especialistas





La difusión del PROAIRE-PEACC con personas expertas y profesionistas en materia de calidad del aire y cambio climático requiere que se lleve a cabo a través de espacios de diálogo (reuniones, mesas de trabajo, entre otros), en los que se puedan compartir sus opiniones y recomendaciones para la implementación, monitoreo y evaluación de las medidas propuestas en el Programa. Además, debido a la experiencia con la que cuentan y al sector al que representan, pueden definir de manera colectiva estrategias a partir de las cuales se puedan vincular a estudiantes, organizaciones de la sociedad civil, sector privado, entre otros, en la implementación del Programa.

También serán estos dos grupos de audiencia los que puedan funcionar como agentes de puente para el reconocimiento de fuentes de financiamiento que puedan ser requeridas para la implementación de acciones específicas definidas en el Programa.

6. Socialización del PROAIRE-PEACC con el sector privado

Audiencia	Sector privado	Agencias de cooperación internacional	Profesionistas	Especialistas






De acuerdo con el diagnóstico y los análisis realizados en el presente Programa, se determinó que el sector privado es uno de los que a partir de los procesos de producción contribuye de manera considerable a la mala calidad del aire. Por ello, es que se han propuesto medidas que permitan reducir la generación y emisión de contaminantes y GEI, sin embargo, para que estas medidas puedan implementarse a través de acuerdos entre las partes interesadas y de manera coordinada se requieren de espacios de diálogo específicos.

En este sentido, se propone que se realicen mesas de diálogo a partir de reuniones con representantes del sector privado, profesionistas y especialistas, para presentar de manera clara los resultados del PROAIRE-PEACC y que de

esta forma se reconozcan las atribuciones y responsabilidades de cada sector y se identifiquen las áreas de oportunidad que beneficien a ambas partes en las que el sector privado se pueda vincular para mejorar la calidad del aire. Asimismo, estas mesas de diálogo serán espacios de confianza y de co-creación de estrategias en las que se identifiquen las tecnologías, metodologías, capacidades que hacen falta por fortalecer e implementar para que los procesos de producción sean más eficientes y se reduzcan las emisiones de contaminantes y GEI.

También, es importante que en estas reuniones se compartan los hallazgos más relevantes del componente de cambio climático, para que el sector privado conozca los efectos potenciales del cambio climático en el territorio y, además, conozca los distintos enfoques a través de los cuales se pueda adaptar al cambio climático.

7. Generación de material lúdico y didáctico dirigido a estudiantes para promover la buena calidad del aire y la adaptación ante el cambio climático

Audiencia	Población en general	Profesionistas	Especialistas	Población vulnerable
				

Debido a que las niñas y los niños, así como también los jóvenes están experimentando los efectos del cambio climático y de la mala calidad del aire, es importante que exista una sensibilización sobre lo que ocurre en su territorio con respecto a estos dos temas. Las escuelas son espacios en los cuales se promueve el aprendizaje a través de distintas metodologías y herramientas específicas, por lo que el incorporar estos temas en su formación permitirá una concientización y que tomen acciones a nivel personal, familiar y colectivo para asegurar su bienestar ante este tipo de impactos.

En este contexto, se propone la generación de materiales lúdicos sobre cambio climático y calidad del aire, a través de los cuales los estudiantes tengan acceso a la información de manera didáctica y con mensajes claros y contundentes. Mientras que al mismo tiempo les permita despertar su interés y cambiar hábitos y formas de percibir su espacio que contribuyan de manera efectiva a la adaptación ante el cambio climático y para la mejora de la calidad del aire. Además, esto permitirá que los estudiantes funjan como promotores del conocimiento y que puedan escalar a distintos niveles, formando así una cadena de conocimiento y acciones que se traduzcan en el bienestar de la población del estado de Puebla.

7.2. Fuentes de financiamiento para proyectos de protección a la atmósfera y cambio climático.

Existen diversas fuentes de financiamiento que pueden contribuir a la concreción de las medidas propuestas, particularmente de aquellas que implican inversiones o adquisición de bienes o equipos.

Algunas fuentes pueden implicar créditos en condiciones blandas, lo que significa que deberá haber una fuente de pago. Otras pueden consistir en recursos a fondo perdido, en especial para la realización de estudios e investigaciones.

En todos los casos es imprescindible contar con proyectos bien estructurados que respondan adecuadamente a los enfoques, requerimientos y términos de referencia de las fuentes potenciales, además de que deben ser presentados oportunamente conforme a los calendarios que las propias fuentes determinan.

Lo anterior implica identificar la fuente y sus parámetros, el más importante de los cuales se refiere a los temas específicos que financia, los alcances, requisitos, plazos y las características que debe cumplir una solicitud en términos de información, presupuesto y cronograma, entre otros aspectos.

Las principales fuentes de financiamiento que se identificaron durante la elaboración del Programa se presentan a continuación.

Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos, S.N.C.

Banobras tiene por objeto financiar o refinanciar proyectos de inversión pública o privada de infraestructura y servicios públicos y apoyar el fortalecimiento institucional de los gobiernos federal, estatal y municipal. Cuenta con diferentes programas en los cuales las medidas pueden aplicar.

Programa Banobras-FAIS

Es un esquema financiero multianual que permite la anticipación y potenciación de los recursos del Fondo de Aportaciones para la Infraestructura Social (FAIS), para apoyar el desarrollo de obras, acciones sociales básicas e inversiones en beneficio de la población que en pobreza extrema y localidades con alto o muy alto nivel de rezago social, de acuerdo con los *"Lineamientos del Fondo de Aportaciones para la Infraestructura Social"* y conforme a la Ley General de Desarrollo Social, y en las zonas de atención prioritaria.

Adelanta hasta 25% de los recursos provenientes del FAIS que les corresponden a los municipios durante su administración, financiamiento que deberá destinarse exclusivamente a la ejecución de proyectos como agua potable; alcantarillado; drenaje; electrificación; infraestructura básica del sector educativo y del sector salud; mejoramiento de vivienda y urbanización.

Requisitos mínimos:

- Autorización del Congreso local y Constancia de Mayoría de Cabildo del municipio.
- Solicitar el ingreso al Programa.
- Proceso competitivo, en términos de la Ley de Disciplina Financiera de las Entidades Federales y Municipios.
- Presentar un Plan de Inversión Preliminar.

Crédito simple Banobras

El Crédito Simple puede destinarse a obras público-productivas y proyectos dentro de los campos de atención del Banco y no sólo a infraestructura social. Entre los proyectos que es posible financiar mediante el Crédito Simple están los de infraestructura para agua potable y saneamiento, de vialidades, de ahorro de energía, de equipamiento urbano y los de residuos sólidos.

Requisitos mínimos:

- Identificar los proyectos a partir del Plan de Inversión estatal o municipal.
- Presentar la solicitud para el financiamiento.
- Contar con una autorización firmada del Buró de Crédito.
- Tener la constancia de mayoría del cabildo, así como la autorización del Congreso local.
- Presentar un Plan de Inversión Preliminar.

Créditos en Cuenta Corriente de Banobras

Financiamiento que permite a los municipios contar con recursos para afrontar los compromisos derivados de inversiones públicas y privadas.

Requisitos:

- Solicitud de ingreso.
- Acuerdo de autorización del Cabildo para ingresar al Programa.
- Carta de adhesión al Programa.

Financiamiento de proyectos

Financiamientos apoyados en el otorgamiento de créditos y garantías para proyectos desarrollados como Asociaciones Público-Privadas (APP) que disponen de una fuente de pago propia, proveniente de la explotación de la concesión o contrato público o del cobro del servicio de que se trate. Los esquemas de Asociación Público-Privada, pueden ser Federales y/o Locales, en sus distintas modalidades: Concesiones, Proyectos de Prestación de Servicios (PPS) o Contratos de Obra Pública Financiada, entre otros.

Entre los principales sectores susceptibles de apoyo están:

- Agua (plantas de potabilización, plantas de tratamiento, acueductos, drenaje, saneamiento)
- Residuos sólidos (sistemas de gestión, recolección, tratamiento, confinamiento y aprovechamiento de residuos para generación de energía)
- Infraestructura urbana (transporte público masivo, vialidades urbanas, ciudades inteligentes circulares, proyectos verdes, entre otros)

Productos

Crédito directo a proyectos de infraestructura y servicios públicos bajo esquemas de cofinanciamiento y créditos sindicados con la banca comercial, como factor catalizador, que facilitan esquemas de financiamiento acordes con la capacidad de generación de flujo de los proyectos. Banobras participa otorgando recursos de largo plazo, esquemas de amortizaciones diferenciadas (tramo corto-tramo largo), periodos de gracia y esquemas de amortización de acuerdo con la maduración y capacidad de pago de los proyectos.

Requisitos:

- El proyecto de infraestructura debe estar concebido como APP (concesiones o Proyectos de Prestación de Servicios [PPS]) y contar con una “fuente de pago propia”.
- Los promotores deben comprometer una aportación de capital de acuerdo con las necesidades del proyecto del financiamiento requerido.
- El flujo de efectivo del proyecto debe cumplir con índices de cobertura mínimos respecto del servicio de la deuda del crédito.
  https://www.gob.mx/banobras

Fondo Nacional de Infraestructura (FONADIN)

Apoya en la planeación, diseño, construcción y transferencia de proyectos de infraestructura en los que participe el sector público y privado, en los sectores de comunicaciones, transporte, agua, medio ambiente y turismo, entre otros.

Consiste en:

- Apoyos Recuperables que incluyen el financiamiento para estudios y asesorías, garantías (de crédito, bursátiles, de desempeño y de riesgo político e incluso aportaciones de capital temporal).
- Apoyos No Recuperables que pueden ser aportaciones o subvenciones.

En el primer caso, son recursos que pueden destinarse a estudios y asesorías o a proyectos de infraestructura del sector público con alta rentabilidad social en los que se tenga prevista la participación del sector privado y que cuenten con fuente de pago propia. Las subvenciones son para dar equilibrio financiero a proyectos rentables socialmente, pero con baja rentabilidad financiera para los cuales se puede pactar algún esquema de compartición de ingresos o rentabilidad excedente.

Programas Sectoriales

- Programa Federal de Apoyo al Transporte Masivo (Potram), que prevé el otorgamiento de Apoyos Recuperables y No Recuperables a entidades del sector público y privado, para la elaboración de estudios e inversión en proyectos de infraestructura de transporte masivo y reorganización del transporte público como sistemas integrados, preferentemente en ciudades de más de 500 mil habitantes.
- Promagua que funciona a través de apoyos no recuperables para el financiamiento parcial de estudios y proyectos, para incentivar el desarrollo de proyectos bajo esquemas de Asociación Público-Privada que permitan incrementar y mejorar la calidad de los servicios en materia de cobertura de agua potable y saneamiento, y que permitan la sostenibilidad operativa y financiera de los organismos operadores.
- Proresol es un programa que destina apoyos financieros para el desarrollo de estudios y proyectos en materia de residuos sólidos urbanos (RSU) y que busca incentivar el desarrollo de proyectos bajo esquemas de Asociación Público-Privada que promuevan la visión de economía circular planteada por la SEMARNAT en materia de Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos y de Manejo Especial.

Requisitos:

- Pueden ser sujetos de apoyo los gobiernos estatales y municipales. En cuanto al sector privado, personas morales que sean beneficiarias de concesiones, permisos o contratos que permitan asociaciones público-privadas.
- Ante todo, los proyectos de infraestructura deben ser promovidos por el sector público; el Fonadin procederá a evaluar su elegibilidad de acuerdo con los criterios establecidos en sus Reglas de Operación.
  https://www.fonadin.gob.mx/fni2/

Nacional Financiera, S.N.C.

Nafin cuenta con diversos programas dentro de los cuales puede encontrarse financiamiento blando para varias de las medidas propuestas. Entre esos programas se encuentran los que se describen enseguida.

Impulso Nafin + Estados

Programa de financiamiento para la reactivación de las economías regionales y la conservación de empleos, facilitando el acceso al crédito para las Micro, Pequeñas y Medianas Empresas en coordinación con los gobiernos de las entidades federativas, destinados a aportarles capital de trabajo y adquisición de activos fijos.

- Monto hasta 5 millones de pesos
- Tasa hasta 14.75% anual fija sin comisión por apertura ni penalización por prepago.
- Plazo hasta 60 meses
- Sin garantía hipotecaria hasta 2.5 millones de pesos. En montos superiores, aplican las políticas de cada banco participante
- Gracia hasta 6 meses para el pago de capital o capital e intereses de acuerdo con la política de cada intermediario financiero.

Micro y pequeña empresa transportista

Programa de apoyo a la micro y pequeña empresa transportista con flota de 1 a 30 unidades motrices con financiamiento para la compra de unidades nuevas y seminuevas, modelos de 8 años de antigüedad máxima, a través de intermediarios financieros especializados.

- Monto máximo hasta 15 millones de pesos
- Tasa anual máxima 16% para unidades nuevas; 17.5% para unidades seminuevas
- Plazo 7 años para unidades nuevas; 5 años para unidades seminuevas, siempre y cuando el plazo del crédito más la antigüedad del vehículo, con base al modelo, no excedan 10 años.
- Enganche 10% para unidades nuevas; 15% para unidades seminuevas
- Las garantías del crédito deberán ser las propias del crédito, y de manera opcional, aval u obligado solidario o coacreditado o cotitular o coarrendatario.

Proyectos sustentables

Producto creado por Nafin para otorgar financiamiento de corto, mediano y largo plazo a empresas o intermediarios financieros mediante el diseño, estructuración e implementación de esquemas financieros conforme a las características particulares de cada proyecto prioritario y estratégico que

contribuya al cumplimiento de los objetivos del Plan Nacional de Desarrollo, en las líneas de acción necesarias para impulsar y orientar un crecimiento verde incluyente y facilitador que preserve el patrimonio natural al mismo tiempo que fomente la competitividad y el empleo.

Los proyectos prioritarios y estratégicos son los que contribuyen al cumplimiento de la meta del Gobierno Federal de alcanzar una participación del 35% en la generación total de electricidad con tecnologías limpias para el 2024.

Sujetos de financiamiento

- Empresas medianas o grandes o vehículos de propósito específico, constituidos en México para el desarrollo de proyectos de energía.

Destino de los recursos

- Financiamiento de la etapa de construcción y/o la etapa de operación y mantenimiento de proyectos de energía.
- Financiamiento del Impuesto al Valor Agregado (IVA) derivado de las inversiones requeridas para la construcción de proyectos de energía.

Requisitos

- Ser empresas medianas o grandes nacionales o con capital mayoritariamente extranjero, constituidas en México, o instituciones financieras nacionales o extranjeras sólidas u organismos financieros multilaterales.
- Acreditar solvencia moral y económica con base en los criterios institucionales, a través de la consulta a una sociedad de información crediticia.
- Acreditar el proceso de identificación y conocimiento del cliente o usuario.
- Que la empresa promotora del proyecto, así como el desarrollador, el constructor, el fabricante de la tecnología y el operador, acrediten una amplia experiencia y capacidad para el desarrollo de proyectos.
- Contar con una fuente de pago plenamente identificable.
  https://www.nafin.com/portalnf/content/home/home.html

Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF)

El Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF) es el financiador más grande del mundo para la protección de la biodiversidad, la restauración de la naturaleza, la reducción de la contaminación y la respuesta al cambio climático en los países en desarrollo. Durante las últimas tres décadas ha proporcionado más de USD22,000 millones en donaciones y financiamiento combinado y ha

movilizado otros USD120,000 millones en cofinanciamiento para más de 5,000 proyectos nacionales y regionales, además de 27 000 iniciativas dirigidas por la comunidad a través de su Programa de Pequeñas Donaciones.

Recientemente se lanzó la convocatoria para presentar propuestas que conformarán la cartera nacional de proyectos de México 2022-2026, a ser financiada con recursos del GEF en la modalidad de programas integrados en su octavo periodo de reposición (GEF-8), que comprende proyectos dentro de los programas de Restauración de Ecosistemas, Ciudades Sostenibles, Biomas Forestales Críticos y Desarrollo de Infraestructura de Transporte Verde (Anexa). https://www-thegef-org.translate.goog/who-we-are?_x_tr_sl=en&_x_tr_tl=es&_x_tr_hl=es-419&_x_tr_pto=sc

Fondo Verde para el Clima (GCF)

El GCF opera a través de una red de entidades acreditadas y socios que trabajan directamente con países en desarrollo para el diseño e implementación de proyectos, incluyendo bancos comerciales internacionales y nacionales, instituciones financieras de desarrollo multilaterales, regionales y nacionales, instituciones de fondos de capital, agencias de las Naciones Unidas y organizaciones de la sociedad civil.

El GCF puede estructurar su apoyo financiero a través de una combinación flexible de subvenciones, deuda concesional, garantías o instrumentos de capital para aprovechar la financiación combinada y atraer inversiones privadas para la acción climática en los países en desarrollo. Esta flexibilidad le permite apoyar la creación de mercados verdes.

El GCF tiene el mandato de invertir el 50% de sus recursos en mitigación y el 50% en adaptación en equivalente de subvención. Al menos la mitad de sus recursos de adaptación deben invertirse en los países más vulnerables al clima El GCF tiene como objetivo aprovechar las sinergias y minimizar las posibles compensaciones entre la adaptación y la mitigación.

El GCF busca tener un impacto dentro de ocho áreas de resultados de mitigación y adaptación:

- salud, seguridad alimentaria y agua;
- medios de vida de las personas y las comunidades;
- generación y acceso a la energía;
- transporte;
- infraestructura y entorno construido;
- ecosistemas y servicios ecosistémicos;
- edificios, ciudades, industrias y electrodomésticos, y
- bosques y uso de la tierra.

Los proyectos deben impulsar las bajas emisiones y resiliencia climática buscando sinergia entre las prioridades nacionales, el potencial para generar beneficios climáticos concretos, las consideraciones de costos y las oportunidades para generar co-beneficios.

Las ocho áreas de resultados cubren tanto la mitigación como la adaptación y brindan los puntos de referencia que guían al GCF para garantizar un enfoque estratégico al desarrollar programas y proyectos. Las áreas de resultados han sido seleccionadas debido a su potencial para generar un impacto sustancial en la mitigación y la adaptación.

En México Nacional Financiara y el Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza son entidades acreditadas para acceder al financiamiento del GCF mediante la presentación de proyectos.

https://www.greenclimate.fund/#

Sociedad Alemana de Cooperación Internacional GIZ

La Cooperación Alemana al Desarrollo (GIZ) brinda apoyo a México en proyectos de energía sostenible, protección del medio ambiente y los recursos naturales, en especial en los sectores de protección ambiental urbana e industrial, conservación de la diversidad biológica y cambio climático.

GIZ ayuda a modernizar la política ambiental en todos los niveles, asesora sobre la cooperación ambiental regional y desarrolla estrategias para integrar la protección ambiental en otras áreas de la política. Además, asesora en *la medición, reporte y verificación* (MRV) de las medidas de protección climática.

Proporciona asesoría para el desarrollo de mecanismos de financiación climática. Apoya el fortalecimiento de las capacidades de adaptación para aumentar la resiliencia, no solo a los extremos climáticos relacionados con el cambio climático, sino también a los cambios y riesgos graduales como el aumento de las temperaturas o la escasez de agua. El enfoque de GIZ al asesorar a los gobiernos, el sector privado y la sociedad civil tiene como objetivo la gestión integral del riesgo climático, el análisis y la planificación intersectoriales y el financiamiento de medidas de adaptación, incluido el seguro contra el riesgo climático.

https://www.giz.de/en/worldwide/33041.html

UK Partnering for Accelerated Climate Transitions (UK PACT)

UK PACT es un programa financiado por el gobierno del Reino Unido que apoya a los países que buscan superar las barreras para el crecimiento limpio y tienen un alto potencial de reducción de emisiones para acelerar la mitigación del cambio climático.

Apoya el desarrollo de capacidades a través de tres componentes:

- programas de país,
- intercambio de habilidades y comisiones de servicio,
- Proyecto Green Recovery Challenge Fund.

Los Programas de País se orientan a superar las barreras y limitaciones para un crecimiento limpio y para potenciar la reducción de emisiones. Proporcionan subvenciones para proyectos de desarrollo de capacidades en áreas prioritarias, que son entregados por socios implementadores seleccionados (como ONG, empresas, academia).

Las dos mayores barreras para implementar los objetivos climáticos del Acuerdo de París que se han identificado son la falta de marcos propicios o proyectos claros en tramitación. En ese sentido UK PACT ayuda a identificar sectores estratégicos y prioridades donde la financiación de UK PACT se puede utilizar de manera más efectiva. A continuación, el programa invita al mercado a presentar propuestas de proyectos que respondan a las prioridades acordadas con cada país socio.

Fondo de Desafío de Recuperación Verde (Green Recovery Challenge Fund)

Es un fondo de desarrollo de capacidades para apoyar las transiciones bajas en carbono y una recuperación económica verde, resiliente e inclusiva en los países elegibles para Ayuda Oficial para el Desarrollo (AOD).

El PACT México-Reino Unido apoya proyectos que responden a las prioridades emergentes de México, al tiempo que logran reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y la pobreza. Desde 2018 el PACT México-Reino Unido ha financiado proyectos, intercambio de habilidades y adscripciones en cinco sectores prioritarios:

- finanzas,
- movilidad,
- política de bajas emisiones de carbono,
- energía y
- naturaleza

Entre sus proyectos más relevantes se encuentran los siguientes.

Expansión de la infraestructura sostenible para vehículos eléctricos en el transporte urbano

Este proyecto suma esfuerzos con CFE-PAESE y Metrobús para el desarrollo de la electromovilidad. El Programa de Ahorro de Energía del Sector Eléctrico (PAESE) es una Unidad Empresarial (ONU) establecida por la Comisión Federal de Electricidad (CFE) para promover una cultura de ahorro y uso eficiente de la energía eléctrica. A través del PAESE, la CFE se encarga de promover el uso de la tecnología de movilidad eléctrica, ya sea para uso privado o para el transporte público.

La CFE busca promover el uso de vehículos eléctricos y detonar el crecimiento del mercado de la movilidad eléctrica debido a los beneficios ambientales de esta tecnología y las ventajas económicas que genera.

Se busca que los esfuerzos combinados contribuyan a la descarbonización del transporte en México. El proyecto brinda soporte técnico para establecer la factibilidad de incrementar la oferta de infraestructura de carga para vehículos eléctricos livianos en vías interurbanas. También contribuye al proceso de planificación estratégica hacia la electrificación de sistemas RBT.

Acelerar la implementación local de proyectos bajos en carbono y desarrollo sostenible

Este proyecto tiene como objetivo acelerar el flujo de capital verde para financiar proyectos locales bajos en carbono mediante la promoción del acceso a productos financieros verdes o el desbloqueo de contribuciones privadas a los gobiernos municipales.

El proyecto ha creado redes entre bancos, instituciones públicas, proveedores de tecnología y otras partes interesadas y ha proporcionado una metodología comprobada, herramientas integrales y asesoría para desarrollar las capacidades individuales e institucionales de los representantes de los gobiernos subnacionales para que puedan acceder a fuentes financieras para sus proyectos, lo que ha captado el interés de instituciones financieras, empresas privadas y actores relevantes, ayudando a proveer el flujo de financiamiento necesario para la implementación de modelos de negocios sostenibles que aseguren tanto una alta rentabilidad social como reducciones de emisiones de GEI.

Apoyando la agricultura sostenible y la agricultura en el sur rural de México

Este proyecto se enfoca en fortalecer la capacidad y las habilidades de las comunidades cuyos medios de vida están estrechamente vinculados a las cadenas de valor de productos y materias primas en el sector de la agricultura,

la silvicultura y otros usos de la tierra (AFOLU). Esto incluye la ganadería, la apicultura, la producción de resina y cacao. El desarrollo de capacidades tiene como objetivo reducir los impactos de los impulsores de la deforestación y la degradación forestal, y promover la conservación de los bosques y de los sumideros de carbono. A lo largo de la implementación del proyecto se han identificado mejoras en estas prácticas productivas vinculadas a los sistemas forestal, agrícola y alimentario.

Fortaleciendo el diseño de infraestructura pop-up de movilidad activa en México

Este proyecto brinda asistencia técnica a los gobiernos locales para ayudarlos a planificar e implementar carriles para bicicletas emergentes, instalaciones para peatones y proyectos de espacio público, buscando mejorar el diseño de la infraestructura de movilidad activa y construir ciudades amigables con el medio ambiente.

Alcance de la financiación del Fondo de Desafío de Recuperación Verde:

- Preparación de planes de acción para permitir una adopción más rápida de vehículos eléctricos en el transporte público (p. ej., autobuses eléctricos)
- Rediseño de redes de transporte público analizando los futuros patrones de movilidad y las normas de planificación urbana, considerando el impacto de la electrificación en la red, abordando la conectividad de última milla y los problemas de calidad del aire.
- Desarrollo de modelos comerciales sostenibles y escalables, estrategias de adquisición ecológica y servicios auxiliares de apoyo para acelerar el uso de vehículos eléctricos.

No está en el alcance de la financiación lo siguiente:

- Comercialización de nuevas tecnologías de carga/vehículos eléctricos
- Asistencia técnica para desarrollar planes nacionales holísticos de transporte sostenible
- Proyectos centrados principalmente en apoyar el uso de vehículos eléctricos en el transporte privado.

https://www.ukpact.co.uk/

Agence Française de Développement (AFD)

La Agencia Francesa de Desarrollo (AFD) es la encargada de la cooperación al desarrollo cuyos proyectos se centran en el clima, la biodiversidad, la paz, la educación, el desarrollo urbano, la salud y la gobernanza.

La AFD apoya a México a través de "préstamos ambientales" en los siguientes temas:

- preservación de bosques;
- planificación ecológica del territorio;
- economía del cambio climático;
- adaptación de la agricultura al cambio climático.
  https://www.afd.fr/es

Latin America and Caribbean Investment Facility – LACIF

El Instrumento para Inversiones en América Latina (conocido por sus siglas en inglés como LAIF) es uno de los mecanismos regionales de financiación combinada o "*blending*" de la Unión Europea que promueve la movilización de fondos de las instituciones financieras europeas y regionales, de los gobiernos y del sector privado para llevar a cabo proyectos de desarrollo sostenible en América Latina.

El objetivo de LAIF es ayudar a financiar proyectos en sectores clave para la consecución de los Objetivos de Desarrollo Sostenible, tales como: energías renovables, medio ambiente, agua y saneamiento, transporte urbano y rural y promoción PYMEs.

LAIF tiene tres objetivos estratégicos que se complementan y refuerzan mutuamente:

- Mejorar la calidad de la infraestructura incluida la eficiencia energética, los sistemas de energías renovables y las redes de transporte y comunicación sostenibles.
- Incrementar la protección del medio ambiente y apoyar la adaptación al cambio climático y su mitigación.
- Promover el desarrollo socioeconómico equitativo y sostenible mediante mejoras en la infraestructura de servicios sociales y la promoción de las PYMEs.

LAIF establece alianzas con instituciones financieras europeas (como AECID, AFD, EIB, KfW) y con bancos de desarrollo regionales (como BCIE, CAF, BID), para movilizar fondos y apalancar el financiamiento europeo de proyectos de desarrollo sostenible en América Latina. A menudo, este financiamiento mixto, compuesto de subvenciones, créditos y otros recursos, se combina con contribuciones de los países y/o de las instituciones beneficiarias en la región.

La Comisión Europea y sus Estados miembros aprueban la financiación de los proyectos siguiendo criterios como su contribución a los Objetivos de

Desarrollo Sostenible, su valor añadido y su capacidad para impulsar o apalancar otras iniciativas de desarrollo e innovación.

La gestión, tanto del componente de subvención de LAIF como del componente de crédito, es realizada por la institución o banco de desarrollo europeo que lidera la financiación del proyecto y que dispone de una alianza con LAIF. El seguimiento del componente del proyecto financiado por LAIF es realizado por la Delegación Europea en cada país donde se ejecuta, con el apoyo de la sede de LAIF en Bruselas.

Haga *click* para descargar la guía de operaciones *blending* de la UE.

Modalidades de financiación de LAIF

- Asistencia técnica "a la medida" para atender las necesidades específicas de un proyecto durante las fases de diseño, programación y ejecución, a fin de garantizar su calidad, eficiencia y sostenibilidad a largo plazo;
- Subvenciones a la inversión, para financiar componentes específicos de un proyecto (o un porcentaje del costo total del mismo) y reducir la cantidad de deuda que asume el país o la institución beneficiaria;
- Instrumentos financieros de riesgo compartido (como capital de riesgo y garantías) que permiten movilizar financiación pública o privada adicional.

Estas tres modalidades de financiación se pueden combinar permitiendo a la Unión Europea participar en proyectos que estarían fuera del alcance de los instrumentos convencionales de cooperación para el desarrollo.

LAIF financia proyectos en los siguientes sectores:

- suministro de agua y saneamiento;
- agricultura sostenible
- transporte
- gestión de desechos
- desarrollo urbano.
  https://www.eulaif.eu/es/sobre-laif

Fondo Francés para el Medio Ambiente Mundial (FFEM)

El objetivo del Fondo es probar soluciones y aprender de ellas para luego facilitar su difusión y despliegue en otros lugares o a mayor escala. Estas son las especificidades del FFEM y su carácter distintivo: la innovación y reproducibilidad de sus acciones.

Prioridades estratégicas

El FFEM ha centrado históricamente su intervención en las áreas de clima, biodiversidad, aguas internacionales, degradación de suelos, contaminantes químicos y capa de ozono.

Los proyectos apoyados por el FFEM contribuyen simultáneamente a los desafíos de varios de los principales convenios ambientales internacionales. Las áreas de interés abarcan:

- La lucha contra el cambio climático y sus efectos adversos, con especial referencia a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático;
- La preservación y gestión sostenible de la biodiversidad y los recursos naturales, con particular referencia al Convenio sobre la Diversidad Biológica;
- La lucha contra la desertificación y la degradación de las tierras, incluida la deforestación, en particular en el marco de la Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación;
- La lucha contra los contaminantes químicos y la gestión de residuos, en particular en el marco del Convenio de Estocolmo sobre contaminantes orgánicos persistentes y el Convenio de Minamata sobre el Mercurio;
- La eliminación de sustancias que agotan la capa de ozono estratosférico, en el marco del Protocolo de Montreal.

El FFEM se compromete a consolidar su enfoque de asociación a través de:

- Involucrar a los actores del sector privado
- Apoyar las iniciativas de la sociedad civil
- Movilizar a las comunidades locales
- Desarrollar vínculos con la investigación.
- Fortalecer alianzas con otros donantes

Todas las acciones que lleva a cabo tienen como objetivo:

- Apoyar proyectos de campo.
- Fomentar iniciativas innovadoras con co-beneficios ambientales, sociales y económicos
- Promover la acción y el intercambio de experiencias.
- Movilizar alianzas de múltiples partes interesadas
- Facilitar la consulta y la gobernanza compartida.

https://www.ffem.fr/fr

Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID)

La AECID es el principal órgano de gestión de la Cooperación Española, orientada a la lucha contra la pobreza y al desarrollo humano sostenible. Se centra en tres elementos transversales principales: perspectiva de género, calidad ambiental y respeto por la diversidad cultural.

Entre sus sectores de cooperación se encuentra medio ambiente y cambio climático. AECID desarrolla proyectos en áreas tales como:

- suministro de agua y saneamiento;
- agricultura, silvicultura, pesca;
- transporte;
- energía; y
- desarrollo urbano y rural.

Para evitar la degradación del suelo, la desertificación o la deforestación, se coopera con los países socios apoyando planes de conservación de la biodiversidad o de gestión forestal sostenible. También se pretende poner fin a la escasez de agua, estudiar modelos de producción innovadores y respetuosos con el entorno, y lograr modelos energéticos sostenibles.

Algunas de las prioridades que se han establecido para alcanzar estos objetivos son el fortalecimiento de la resiliencia y de la capacidad de adaptación a los riesgos relacionados con el clima y los desastres naturales, o la inclusión de medidas específicas, encaminadas a reducir los efectos del cambio climático, en políticas públicas y estrategias.

Líneas de acción estratégicas del plan de actuación sectorial en medio ambiente y cambio climático de la AECID

- Transversalización del medio ambiente y el cambio climático en todas las intervenciones de la AECID, con énfasis en el desarrollo rural, la seguridad alimentaria y la nutrición, el agua y el saneamiento, el crecimiento económico y la reducción de riesgos.
- Lucha contra el cambio climático, fomentando la adaptación y resiliencia al tiempo que se actúa para mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero y se promueve el uso de energías renovables.
- Habitabilidad básica, lo que incluye saneamiento, mejora barrial y gestión de residuo.
- Conservación de ecosistemas y servicios ambientales, gestionando los recursos naturales de manera sostenible -principalmente los agrícolas, forestales e hídricos, los pesqueros y los turísticos- para garantizar la supervivencia humana (https://www.aecid.es/ES/la-aecid)
  En la tabla 91, se muestran las medidas con el tipo de financiamiento al que pueden acceder para su realización.

TABLA 91. MEDIDAS POR FUENTE DE FINANCIAMIENTO PROAIRE-PEACC PUEBLA

FUENTE	Número	Medida
Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos, S.N.C.		
Programa Banobras-FAIS	Medida 3.3	Reducción de las emisiones por el consumo doméstico de leña
	Medida 7.4	Enverdecimiento urbano
	Medida 7.5	Bosques Urbanos
	Medida 9.3	Reactivación y optimización operativa de plantas de tratamiento para aguas residuales Aumento del volumen tratado de aguas residuales.
	Medida 9.6	Drenaje separativo y pavimento permeable en localidades urbanas
Crédito simple Banobras	Medida 3.2	Reducción, prevención y control de emisiones en la gestión de residuos sólidos
	Medida 4.3	Incentivos verdes para la adquisición de sistemas de calentamiento solar o sistemas fotovoltaicos en MiPyMEs
	Medida 9.3	Reactivación y optimización operativa de plantas de tratamiento para aguas residuales Aumento del volumen tratado de aguas residuales.
	Medida 9.6	Drenaje separativo y pavimento permeable en localidades urbanas
Créditos en Cuenta Corriente	Medida 2.2	Reducción de emisiones en el sector de producción de ladrillo
Financiamiento de proyectos	Medida 1.1	Desarrollo de un programa de electromovilidad para el sector transporte
	Medida 3.2	Reducción, prevención y control de emisiones en la gestión de residuos sólidos
	Medida 4.1	Programa de Auditoría Ambiental y Certificación de Edificaciones Sustentables
	Medida 4.2	Eficiencia energética en edificios gubernamentales (municipios/estatal)
	Medida 7.4	Enverdecimiento urbano
	Medida 7.5	Bosques Urbanos
	Medida 9.3	Reactivación y optimización operativa de plantas de tratamiento para aguas residuales Aumento del volumen tratado de aguas residuales.
	Medida 9.5	Sistemas de captación y almacenamiento de agua de lluvia (SCALL)
	Medida 9.6	Drenaje separativo y pavimento permeable en localidades urbanas
Fondo Nacional de Infraestructura (FONADIN)	Medida 1.2	Reducción de emisiones en el transporte pesado de carga y de pasajeros
	Medida 9.3	Reactivación y optimización operativa de plantas de tratamiento para aguas residuales Aumento del volumen tratado de aguas residuales.
	Medida 9.5	Sistemas de captación y almacenamiento de agua de lluvia (SCALL)
	Medida 9.6	Drenaje separativo y pavimento permeable en localidades urbanas
Programas Sectoriales	Medida 1.1	Desarrollo de un programa de electromovilidad para el sector transporte
	Medida 1.2	Reducción de emisiones en el transporte pesado de carga y de pasajeros
	Medida 3.2	Reducción, prevención y control de emisiones en la gestión de residuos sólidos
Nacional Financiera, S.N.C.		
Impulso Nafin + Estados	Medida 1.2	Reducción de emisiones en el transporte pesado de carga y de pasajeros
	Medida 1.2	Reducción de emisiones en el transporte pesado de carga y de pasajeros
Micro y pequeña empresa transportista	Medida 1.2	Reducción de emisiones en el transporte pesado de carga y de pasajeros
	Medida 6.5	Disminución de la extracción y el cambio de uso del suelo por monocultivos de agave mediante la promoción de mejores prácticas en ferias de mezcal artesanal
	Medida 6.8	Incrementar el reconocimiento sobre la importancia de la conservación de los ecosistemas y paisajes sustentables. Mediante el impulso de la meliponicultura y apicultura como actividad económica que mejore los procesos de polinización.
Proyectos sustentables	Medida 4.3	Incentivos verdes para la adquisición de sistemas de calentamiento solar o sistemas fotovoltaicos en MiPyMEs
Fondo para el Medio Ambiente Mundial (GEF)		
Cartera nacional de proyectos de México 2022-2026	Medida 1.1	Desarrollo de un programa de electromovilidad para el sector transporte
	Medida 1.2	Reducción de emisiones en el transporte pesado de carga y de pasajeros
	Medida 3.4	Mejores prácticas para el manejo de fuego y prevención de incendios forestales

FUENTE	Número	Medida
	Medida 6.1	Aumento de la red de instrumentos de conservación territorial estableciendo Áreas Naturales Protegidas (ANP) o Áreas Destinadas Voluntariamente para la Conservación (ADVC)
	Medida 6.2	Establecimiento de UMA
	Medida 6.3	Implementación de programas de reintroducción de especies
	Medida 6.4	Establecimiento de programas de migración asistida de especies (disminución de la exposición de las especies al cambio climático)
	Medida 6.5	Disminución de la extracción y el cambio de uso del suelo por monocultivos de agave mediante la promoción de mejores prácticas en ferias de mezcal artesanal
	Medida 6.6	Diversificación productiva sustentable mediante identificación de nuevos mercados para especies y/o productos, considerando los criterios de sustentabilidad, trazabilidad y legalidad en la cadena productiva.
	Medida 6.7	Manejo, control y erradicación de especies exóticas invasoras (incluye domésticos de libre rango y ferales)
	Medida 6.8	Incrementar el reconocimiento sobre la importancia de la conservación de los ecosistemas y paisajes sustentables. Mediante el impulso de la meliponicultura y apicultura como actividad económica que mejore los procesos de polinización.
	Medida 7.1	Implementación de una Estrategia Estatal de Producción Agroforestal.
	Medida 7.2	Establecimiento de bancos de germoplasma de especies forestales y no forestales.
	Medida 7.3	Aumento de la superficie forestal bajo esquemas de Pago por Servicios Ambientales en el estado de Puebla
	Medida 7.4	Enverdecimiento urbano
	Medida 7.5	Bosques Urbanos
	Medida 7.6	Restauración y reforestación de ecosistemas vulnerables al cambio climático
	Medida 8.1	Estudio sobre la aptitud de distintos cultivos importantes en el estado de Puebla ante los riesgos de los impactos del cambio climático.
	Medida 8.2	Fortalecimiento de la cobertura de los seguros ante eventos climáticos extremos para el sector agrícola.
	Medida 8.3	Ampliar la cobertura estatal de los Programas de Ordenamiento Ecológico del Territorio y Planes de Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano
	Medida 8.4	Estrategia estatal de suelo para la agricultura sostenible ante los riesgos de los impactos del cambio climático
	Medida 10.1	Plan de conservación de anfibios
	Medida 10.2	Plan de conservación de orquídeas
	Medida 10.3	Manejo de hábitat para la apifauna
	Medida 10.4	Plan de protección de murciélagos
	Medida 10.5	Protección de cactáceas y matorrales
Fondo Verde para el Clima (GCF)	Medida 1.1	Desarrollo de un programa de electromovilidad para el sector transporte
	Medida 1.2	Reducción de emisiones en el transporte pesado de carga y de pasajeros
	Medida 2.1	Reducción de emisiones en el sector industrial
	Medida 2.2	Reducción de emisiones en el sector de producción de ladrillo
	Medida 3.4	Mejores prácticas para el manejo de fuego y prevención de incendios forestales
	Medida 4.2	Eficiencia energética en edificios gubernamentales (municipios/estatal)
	Medida 4.1	Programa de Auditoría Ambiental y Certificación de Edificaciones Sustentables
	Medida 4.2	Eficiencia energética en edificios gubernamentales (municipios/estatal)
	Medida 6.1	Aumento de la red de instrumentos de conservación territorial estableciendo Áreas Naturales Protegidas (ANP) o Áreas Destinadas Voluntariamente para la Conservación (ADVC)
	Medida 6.2	Establecimiento de UMA
	Medida 6.3	Implementación de programas de reintroducción de especies
	Medida 6.4	Establecimiento de programas de migración asistida de especies (disminución de la exposición de las especies al cambio climático)
	Medida 6.5	Disminución de la extracción y el cambio de uso del suelo por monocultivos de agave mediante la promoción de mejores prácticas en ferias de mezcal artesanal

FUENTE	Número	Medida
	Medida 6.6	Diversificación productiva sustentable mediante identificación de nuevos mercados para especies y/o productos, considerando los criterios de sustentabilidad, trazabilidad y legalidad en la cadena productiva.
	Medida 6.7	Manejo, control y erradicación de especies exóticas invasoras (incluye domésticos de libre rango y ferales)
	Medida 6.8	Incrementar el reconocimiento sobre la importancia de la conservación de los ecosistemas y paisajes sustentables. Mediante el impulso de la meliponicultura y apicultura como actividad económica que mejore los procesos de polinización.
	Medida 7.1	Implementación de una Estrategia Estatal de Producción Agroforestal.
	Medida 7.2	Establecimiento de bancos de germoplasma de especies forestales y no forestales.
	Medida 7.3	Aumento de la superficie forestal bajo esquemas de Pago por Servicios Ambientales en el estado de Puebla
	Medida 7.6	Restauración y reforestación de ecosistemas vulnerables al cambio climático
	Medida 8.1	Estudio sobre la aptitud de distintos cultivos importantes en el estado de Puebla ante los riesgos de los impactos del cambio climático.
	Medida 8.2	Fortalecimiento de la cobertura de los seguros ante eventos climáticos extremos para el sector agrícola.
	Medida 8.3	Ampliar la cobertura estatal de los Programas de Ordenamiento Ecológico del Territorio y Planes de Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano
	Medida 8.4	Estrategia estatal de suelo para la agricultura sostenible ante los riesgos de los impactos del cambio climático
	Medida 9.3	Reactivación y optimización operativa de plantas de tratamiento para aguas residuales Aumento del volumen tratado de aguas residuales.
	Medida 9.5	Sistemas de captación y almacenamiento de agua de lluvia (SCALL)
	Medida 9.6	Drenaje separativo y pavimento permeable en localidades urbanas
Sociedad Alemana de Cooperación Internacional GIZ	Medida 2.1	Reducción de emisiones en el sector industrial
	Medida 2.2	Reducción de emisiones en el sector de producción de ladrillo
	Medida 3.3	Reducción de las emisiones por el consumo doméstico de leña
	Medida 3.4	Mejores prácticas para el manejo de fuego y prevención de incendios forestales
UK Partnering for Accelerated Climate Transitions (UK PACT)	Medida 2.1	Reducción de emisiones en el sector industrial
	Medida 2.2	Reducción de emisiones en el sector de producción de ladrillo
	Medida 3.3	Reducción de las emisiones por el consumo doméstico de leña
	Medida 3.4	Mejores prácticas para el manejo de fuego y prevención de incendios forestales
Fondo de Desafío de Recuperación Verde (Green Recovery Challenge Fund)	Medida 1.1	Desarrollo de un programa de electromovilidad para el sector transporte
	Medida 1.2	Reducción de emisiones en el transporte pesado de carga y de pasajeros
Acelerar la implementación local de proyectos bajos en carbono y desarrollo sostenible	Medida 2.1	Reducción de emisiones en el sector industrial
	Medida 4.2	Eficiencia energética en edificios gubernamentales (municipios/estatal)
	Medida 4.3	Incentivos verdes para la adquisición de sistemas de calentamiento solar o sistemas fotovoltaicos en MiPyMEs
Apoyando la agricultura sostenible y la agricultura en el sur rural de México	Medida 3.3	Reducción de las emisiones por el consumo doméstico de leña
	Medida 3.4	Mejores prácticas para el manejo de fuego y prevención de incendios forestales
	Medida 7.1	Implementación de una Estrategia Estatal de Producción Agroforestal.
	Medida 7.2	Establecimiento de bancos de germoplasma de especies forestales y no forestales.
	Medida 7.3	Aumento de la superficie forestal bajo esquemas de Pago por Servicios Ambientales en el estado de Puebla
	Medida 7.6	Restauración y reforestación de ecosistemas vulnerables al cambio climático
	Medida 8.1	Estudio sobre la aptitud de distintos cultivos importantes en el estado de Puebla ante los riesgos de los impactos del cambio climático.
	Medida 8.2	Fortalecimiento de la cobertura de los seguros ante eventos climáticos extremos para el sector agrícola.
	Medida 8.3	Ampliar la cobertura estatal de los Programas de Ordenamiento Ecológico del Territorio y Planes de Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano

FUENTE	Número	Medida
	Medida 8.4	Estrategia estatal de suelo para la agricultura sostenible ante los riesgos de los impactos del cambio climático
	Medida 9.1	Gestión del agua sostenible en la agricultura
	Medida 9.2	Sistemas de riego de alta eficiencia
	Medida 9.7	Pago por servicios ambientales hídricos
	Medida 9.8	Mejoramiento de prácticas de manejo agronómico
Agence Française de Développement (AFD)	Medida 3.3	Reducción de las emisiones por el consumo doméstico de leña
	Medida 3.4	Mejores prácticas para el manejo de fuego y prevención de incendios forestales
	Medida 6.1	Aumento de la red de instrumentos de conservación territorial estableciendo Áreas Naturales Protegidas (ANP) o Áreas Destinadas Voluntariamente para la Conservación (ADVC)
	Medida 6.2	Establecimiento de UMA
	Medida 6.3	Implementación de programas de reintroducción de especies
	Medida 6.4	Establecimiento de programas de migración asistida de especies (disminución de la exposición de las especies al cambio climático)
	Medida 6.5	Disminución de la extracción y el cambio de uso del suelo por monocultivos de agave mediante la promoción de mejores prácticas en ferias de mezcal artesanal
	Medida 6.6	Diversificación productiva sustentable mediante identificación de nuevos mercados para especies y/o productos, considerando los criterios de sustentabilidad, trazabilidad y legalidad en la cadena productiva.
	Medida 6.7	Manejo, control y erradicación de especies exóticas invasoras (incluye domésticos de libre rango y ferales)
	Medida 6.8	Incrementar el reconocimiento sobre la importancia de la conservación de los ecosistemas y paisajes sustentables. Mediante el impulso de la meliponicultura y apicultura como actividad económica que mejore los procesos de polinización.
	Medida 8.1	Estudio sobre la aptitud de distintos cultivos importantes en el estado de Puebla ante los riesgos de los impactos del cambio climático.
	Medida 8.2	Fortalecimiento de la cobertura de los seguros ante eventos climáticos extremos para el sector agrícola.
	Medida 8.3	Ampliar la cobertura estatal de los Programas de Ordenamiento Ecológico del Territorio y Planes de Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano
	Medida 8.4	Estrategia estatal de suelo para la agricultura sostenible ante los riesgos de los impactos del cambio climático
	Medida 9.1	Gestión del agua sostenible en la agricultura
	Medida 9.2	Sistemas de riego de alta eficiencia
	Medida 9.7	Pago por servicios ambientales hídricos
	Medida 9.8	Mejoramiento de prácticas de manejo agronómico
Latin America and Caribbean Investment Facility – LACIF	Medida 1.1	Desarrollo de un programa de electromovilidad para el sector transporte
	Medida 1.2	Reducción de emisiones en el transporte pesado de carga y de pasajeros
	Medida 2.2	Reducción de emisiones en el sector de producción de ladrillo
	Medida 4.3	Incentivos verdes para la adquisición de sistemas de calentamiento solar o sistemas fotovoltaicos en MiPyMEs
	Medida 9.3	Reactivación y optimización operativa de plantas de tratamiento para aguas residuales Aumento del volumen tratado de aguas residuales.
	Medida 9.5	Sistemas de captación y almacenamiento de agua de lluvia (SCALL)
	Medida 9.6	Drenaje separativo y pavimento permeable en localidades urbanas
Fondo Francés para el Medio Ambiente Mundial (FFEM)	Medida 3.3	Reducción de las emisiones por el consumo doméstico de leña
	Medida 3.4	Mejores prácticas para el manejo de fuego y prevención de incendios forestales.
	Medida 6.1	Aumento de la red de instrumentos de conservación territorial estableciendo Áreas Naturales Protegidas (ANP) o Áreas Destinadas Voluntariamente para la Conservación (ADVC)
	Medida 6.2	Establecimiento de UMA
	Medida 6.3	Implementación de programas de reintroducción de especies
	Medida 6.4	Establecimiento de programas de migración asistida de especies (disminución de la exposición de las especies al cambio climático)

FUENTE	Número	Medida
	Medida 6.5	Disminución de la extracción y el cambio de uso del suelo por monocultivos de agave mediante la promoción de mejores prácticas en ferias de mezcal artesanal
	Medida 6.6	Diversificación productiva sustentable mediante identificación de nuevos mercados para especies y/o productos, considerando los criterios de sustentabilidad, trazabilidad y legalidad en la cadena productiva.
	Medida 6.7	Manejo, control y erradicación de especies exóticas invasoras (incluye domésticos de libre rango y ferales)
	Medida 6.8	Incrementar el reconocimiento sobre la importancia de la conservación de los ecosistemas y paisajes sustentables, mediante el impulso de la meliponicultura y apicultura como actividad económica que mejore los procesos de polinización.
	Medida 10.1	Plan de conservación de anfibios
	Medida 10.2	Plan de conservación de orquídeas
	Medida 10.3	Manejo de hábitat para la apifauna
	Medida 10.4	Plan de protección de murciélagos
	Medida 10.5	Protección de cactáceas y matorrales
Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo (AECID)	Medida 3.2	Reducción, prevención y control de emisiones en la gestión de residuos sólidos
	Medida 3.3	Reducción de las emisiones por el consumo doméstico de leña
	Medida 4.3	Incentivos verdes para la adquisición de sistemas de calentamiento solar o sistemas fotovoltaicos en MiPyMEs
	Medida 6.1	Aumento de la red de instrumentos de conservación territorial estableciendo Áreas Naturales Protegidas (ANP) o Áreas Destinadas Voluntariamente para la Conservación (ADVC)
	Medida 6.2	Establecimiento de UMA
	Medida 6.3	Implementación de programas de reintroducción de especies
	Medida 6.4	Establecimiento de programas de migración asistida de especies (disminución de la exposición de las especies al cambio climático)
	Medida 6.5	Disminución de la extracción y el cambio de uso del suelo por monocultivos de agave mediante la promoción de mejores prácticas en ferias de mezcal artesanal
	Medida 6.6	Diversificación productiva sustentable mediante identificación de nuevos mercados para especies y/o productos, considerando los criterios de sustentabilidad, trazabilidad y legalidad en la cadena productiva.
	Medida 6.7	Manejo, control y erradicación de especies exóticas invasoras (incluye domésticos de libre rango y ferales)
	Medida 6.8	Incrementar el reconocimiento sobre la importancia de la conservación de los ecosistemas y paisajes sustentables, mediante el impulso de la meliponicultura y apicultura como actividad económica que mejore los procesos de polinización.
	Medida 7.1	Implementación de una Estrategia Estatal de Producción Agroforestal.
	Medida 7.2	Establecimiento de bancos de germoplasma de especies forestales y no forestales.
	Medida 7.3	Aumento de la superficie forestal bajo esquemas de Pago por Servicios Ambientales
	Medida 7.6	Restauración y reforestación de ecosistemas vulnerables al cambio climático
	Medida 8.1	Estudio sobre la aptitud de distintos cultivos importantes en el estado de Puebla ante riesgos de los impactos del cambio climático.
	Medida 8.2	Fortalecimiento de la cobertura de los seguros ante eventos climáticos extremos para el sector agrícola.
	Medida 8.3	Ampliar la cobertura estatal de los Programas de Ordenamiento Ecológico del Territorio y Planes de Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano
	Medida 8.4	Estrategia estatal de suelo para la agricultura sostenible ante los riesgos de los impactos del cambio climático
	Medida 9.1	Gestión del agua sostenible en la agricultura
	Medida 9.2	Sistemas de riego de alta eficiencia
	Medida 9.7	Pago por servicios ambientales hídricos
	Medida 9.8	Mejoramiento de prácticas de manejo agronómico

Fuente: Elaboración propia con datos de las fuentes de financiamientos.

7.3. Seguimiento, monitoreo, reporte y verificación de acciones

7.3.1. Monitoreo y seguimiento del Programa de Gestión de la Calidad del Aire y de Acción ante el Cambio Climático para el estado de Puebla 2021 - 2030

El estado de Puebla es una Entidad Federativa clave para avanzar en la reducción y regulación de emisiones de contaminantes locales y globales, así como establecer objetivos, estrategias y acciones de mitigación y de adaptación frente a los efectos del cambio climático. Así, se busca potenciar y hacer más eficiente la gestión pública del estado en estas importantes materias. Esto, con miras a garantizar la protección y el cuidado de la salud humana y del medio ambiente, así como el bienestar de la población.

El Monitoreo y Seguimiento del Programa de Gestión de la Calidad del Aire y de Acción ante el Cambio Climático para el estado de Puebla 2021 - 2030 recoge las experiencias y mejores prácticas recomendadas sobre monitoreo y seguimiento de programas de calidad del aire y programas estatales de cambio climático expresadas en los siguientes instrumentos:

1) La Guía para la Elaboración de los Programas de Gestión para mejorar la Calidad del Aire (ProAire) en su tercera edición de 2022, publicada por la SEMARNAT), a través de la Dirección General de Gestión de la Calidad del Aire y Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes (DGGCARETC)[29], ahora Dirección General de Industria, Energías Limpias y Gestión de la Calidad del Aire[30].
2) Le Evaluación Estratégica del Avance Subnacional de la Política Nacional de Cambio Climático publicada en el Diario Oficial de la Federación el día 5 de febrero de 2019[31].
3) Recomendación General 32/2018 emitida por la Comisión Nacional de los Derechos Humanos sobre las violaciones a los derechos humanos a la salud, un nivel de vida adecuado, medio ambiente sano, e información pública ocasionadas por la contaminación atmosférica urbana[32].

En este contexto, el Programa de Gestión de la Calidad del Aire y de Acción ante el Cambio Climático para el estado de Puebla 2021 – 2030 busca galvanizar

[29] https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/734213/Gui_a_ProAire_3ra_edicio_n.pdf
[30] Con motivo de la publicación del Reglamento Interior de la SEMARNAT, Diario Oficial de la Federación, 27 de julio de 2022. Ver: https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5659411&fecha=27/07/2022#gsc.tab=0
[31] https://cambioclimatico.gob.mx/wp-content/uploads/2021/05/EVALUACION_ESTRATEGICA_AVANCE_SUBNACIONAL_PNCC.pdf
[32] https://www.cndh.org.mx/sites/default/files/doc/Recomendaciones/Generales/RecGral_032_Anexo.pdf

y aprovechar los beneficios de un enfoque integral de gestión de la calidad del aire y de la acción climática en el Estado, conforme a la experiencia en el desarrollo más reciente para este tipo de programas y conforme a la mejor ciencia disponible sobre las causas compartidas de los problemas de calidad del aire y cambio climático y sus efectos.

Es por ello, que en este documento se integran los objetivos, estrategias y acciones que abordan la mejora de la calidad del aire desde un enfoque integral, sistémico y articulado, que se desarrolla a partir de las causas de la contaminación del aire y de la emisión y captura de gases de efecto invernadero incluyendo contaminantes climáticos de vida corta.

El Programa se fundamenta en lo establecido en el Plan Estatal de Desarrollo para el estado de Puebla 2019 – 2024 en relación con el recuperar la calidad del aire, evitar sobrepasar los niveles de contaminación normados y abordar al cambio climático desde un enfoque integral y transversal, mediante la implementación de mecanismos de coordinación interinstitucional donde se procure el acceso a un medio ambiente sano para la presente y las futuras generaciones[33].

De manera específica, este Programa se vincula con el Enfoque Transversal sobre Cuidado Ambiental y Cambio Climático, buscando asegurar que el desarrollo del estado recaiga en un ambiente sostenible en donde se encuentre un equilibrio en la interacción entre la sociedad y el medio natural, propiciando la conservación de espacios y la resiliencia del estado.

El programa también se construye con apego a la Estrategia para el Cuidado Ambiental y Atención al Cambio Climático en beneficio de la población, con visión y desarrollo transversal que vincula la Ley de Egresos del estado de Puebla, la Ley de Cambio Climático del estado de Puebla y la Ley para la Protección del Ambiente Natural y Desarrollo Sustentable del estado de Puebla.

Particularmente, con el fin de contribuir a mitigar los factores que afectan el medio ambiente, el cambio climático y la contaminación ambiental en el estado mediante el manejo integral de residuos y monitoreo del medio ambiente con enfoque de sustentabilidad; así como con el beneficio a los habitantes del estado de Puebla con la implementación de medidas de mitigación, regulación y monitoreo ambiental. Las líneas de acción de la estrategia transversal con las que se vincula este programa son las siguientes, que componen dicha estrategia:

1) Promover buenas prácticas de prevención para atender los efectos causados por el cambio climático.

[33] Plan Estatal de Desarrollo para el estado de Puebla 2019 – 2024, página 93.

2) Promover el uso de tecnologías innovadoras para hacer eficiente el desarrollo productivo y la transición energética en el medio rural.
3) Impulsar el desarrollo de tecnologías para la adaptación de las especies forestales y agropecuarias al cambio climático.
4) Impulsar la producción de manera sostenible para mitigar el cambio climático.
5) Impulsar el ordenamiento territorial para la gestión sostenible.
6) Promover el manejo sostenible del suelo y agua con identidad.
7) Preservar los servicios ecosistémicos y medios de vida en el campo poblano.

El Programa se vincula con las temáticas contenidas en el Programa Especial de Cuidado Ambiental y atención al Cambio Climático:

- Temática 1 – **Prevención de riesgos ambientales para la seguridad**. A su vez, esta temática se vincula con los objetivos de Desarrollo Sostenible 11, 13 y 17 de la Agenda 2030.
- Temática 2 – **Adaptación al Cambio Climático en las zonas rurales.** A su vez, esta temática se vincula con los objetivos de Desarrollo Sostenible 2, 6, 7, 8, 11, 12, 13, 15 y 17 de la 2030.
- Temática 3 – **Desarrollo Económico Sostenible.** A su vez, esta temática se vincula con los objetivos 6, 7, 8, 11, 12, 13 y 17 de la Agenda de Desarrollo Sostenible al 2030.
- Temática 4 – **Derecho a todas y todos al medio ambiente sano.** A su vez, esta temática se vincula con los objetivos 4, 5, 10, 11, 12, 13, 15 y 17 de la Agenda de Desarrollo Sostenible al 2030.
- Temática 5 – **Gobierno Sustentable.** A su vez, esta temática se vincula con los objetivos 11, 13 y 17 de la Agenda de Desarrollo Sostenible al 2030.

Así, el Programa de Gestión de la Calidad del Aire y de Acción ante el Cambio Climático contribuye a proteger el medio ambiente y a mejorar la salud de la población del estado de Puebla mediante la reducción de emisiones de contaminantes atmosféricos y de compuestos y gases de efecto invernadero y el establecimiento efectivo de medidas de adaptación.

El Programa busca que las medidas de adaptación que se incluyen en este instrumento reduzcan la vulnerabilidad de las personas, de los ecosistemas y de los sectores productivos, aprovechando las oportunidades y anticipando los efectos adversos del cambio climático, desde un enfoque sistémico y estructural que permite la identificación de condiciones que alimentan la vulnerabilidad al cambio climático y, por otra parte, han permitido identificar acciones para fortalecer el proceso de adaptación a un clima cambiante.

El monitoreo y seguimiento del presente Programa es un esfuerzo relevante en sí mismo que se enfrenta a diferentes retos como falta de información disponible en fuentes oficiales, presupuestos insuficientes para necesidades

siempre crecientes y para atender las causas estructurales de la contaminación del aire y de la quema de combustibles fósiles o bien de la deforestación o degradación de los suelos y recursos que sirven como sumideros de carbono y que ayudan a estabilizar y reducir los gases de efecto invernadero en la atmósfera.

De esta manera, se buscará establecer y mantener vigente la generación de información que permita dar cuenta de los avances de las líneas de acción específicas, sobre los riesgos que pudieran limitar o impedir el desarrollo del presente programa en tiempo y forma, así como sobre los indicadores generales del programa que darán cuenta de los resultados esperados y su incidencia en áreas clave derivadas de su instrumentación.

Otro tema de relevancia para la implementación de este Programa es el relacionado con la coordinación, colaboración y concertación con los diferentes actores sociales involucrados en su implementación y cumplimiento. La puesta en marcha, el monitoreo y el seguimiento de este programa se vincula con la identificación de los espacios que permitan fomentar el análisis, el diálogo, el acuerdo de acciones transversales que contribuyan a su implementación y a la interacción constructiva de actores públicos, privados y sociales interesados y corresponsables del cumplimiento del Programa. Esto, considerando los 217 municipios y 32 regiones en las que se divide el Estado para efectos de planeación y seguimiento de acciones conforme al Plan Estatal de Desarrollo 2019 – 2024.

De particular importancia en este aspecto es el Comité de Planeación del Estado, así como también el Subcomité Especial de Cuidado Ambiental y de Atención al Cambio Climático en la Entidad[34], los cuales constituyen instancias de coordinación relevantes y útiles para identificar oportunidades, potenciar e impulsar la implementación eficaz y oportuna de este Programa de Gestión de la Calidad del Aire y de Acción ante el Cambio Climático.

7.3.2 Riesgos y estrategias de mitigación identificadas para la implementación efectiva del Programa

Se tienen identificados los siguientes 5 riesgos prioritarios mismos que podrían afectar la implementación del Programa, los cuales se muestran debido a la posibilidad de su ocurrencia, así como respecto del posible el impacto que conlleva su materialización en un momento determinado. En atención a ello, se proponen acciones de mitigación a los referidos riesgos para la implementación efectiva y oportuna de este documento.

[34] https://planeader.puebla.gob.mx/pagina/Especial4.html

TABLA 92. RIESGOS EN LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROAIRE-PEACC 2012 – 2030 DEL ESTADO DE PUEBLA

NO.	RIESGO IDENTIFICADO	GRADO DE IMPACTO	GRADO DE PROBABILIDAD DE QUE OCURRA	ESTRATEGIAS DE MITIGACIÓN DE RIESGOS	RESPONSABLE
1	Falta de financiamiento suficiente.	Alto	Medio	• Fortalecer vinculación y acuerdos con autoridades encargadas de diseñar el Proyecto de Presupuesto de Egresos del estado de Puebla. • Fortalecer vinculación con autoridades presupuestarias y financieras federales. • Desarrollar e implementar acuerdos y convenios con instancias financieras nacionales y agencias de cooperación internacional.	• SMADSOT • Secretaría de Finanzas. • Secretaría de Gobierno del Estado. • SHCP. • SEMARNAT. • Municipios. • Banobras. • Nafin. • Fonadin. • GIZ • USAID • FD, entre otras agencias.
2	Coordinación deficiente con las principales partes interesadas y actores clave del orden público, privado y social.	Alto	Alto	• Fortalecer vinculación y acuerdos en los Comités de Planeación del Gobierno del Estado de Puebla. • Fortalecer y reforzar los trabajos y acuerdos en el seno del Subcomité Especial de Cuidado del Ambiente y Cambio Climático.	• SEMARNAT • Secretaría de Finanzas • SMADOT • Secretaría de Gobierno • Agencia de Energía de estado de Puebla. • Municipios del estado y autoridades municipales.
3	Falta de liderazgo y gobernanza deficiente.	Alto	Medio	• Reforzar los trabajos y acuerdos para implementación del Programa en el seno del Subcomité Especial de Cuidado del Ambiente y Cambio Climático. • Desarrollar foros dirigidos a identificar espacios de oportunidad para la participación pública informada.	• SMADSOT. • Secretaría de Gobierno. • Autoridades Municipales. • SEMARNAT • SEGOB.
4	Ineficiente aplicación y cumplimiento de la normatividad ambiental.	Alto	Alto	• · Instrumentar mecanismos de información y diseminación de información permanente. • Eficientar la gestión del conocimiento sobre el estado del Medio Ambiente (particularmente sobre calidad del aire) y cambio climático. • Fomentar el establecimiento de una página de internet	• SMADSOT. • Secretaría de Gobierno. • Autoridades Municipales.
5	Ineficiente monitoreo y seguimiento.	Alto	Alto	• Desarrollar y mantener vigente el Sistema de Seguimiento de las líneas de acción del Programa de Gestión de la Calidad del Aire y de Acción ante el Cambio Climático para el estado de Puebla 2021 - 2030. • Poner en marcha una página en línea dedicada a informar el estado de implementación del Programa. • Informar sobre el monitoreo y seguimiento (incluidos riesgos y otras circunstancias de relevancia para la implementación del Programa en el seno del Subcomité Especial de Cuidado del Ambiente y Cambio Climático.	• SMADSOT. • Secretaría de Finanzas. • Secretaría de Gobierno. • Autoridades Municipales.

		Probabilidad		
		Baja	Media	Alta
Impacto	Alta			
	Media			
	Baja			

7.3.3. INDICADORES DE SEGUIMIENTO DEL PROGRAMA

En el archivo electrónico (Anexo 2), está la matriz de marco lógico que incluye los indicadores de seguimiento de las medidas y acciones del ProAire-PEACC.

Listado de Figuras, mapas y tablas

LISTADO DE FIGURAS, MAPAS Y TABLAS

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Temperaturas máximas, medias y mínimas promedio mensual en el estado de Puebla (1981-2010). 30
Figura 2. Precipitación promedio mensual en el estado de Puebla (1981-2010). 32
Figura 3. Humedad relativa media (%) en el Estado de Puebla 32
Figura 4. Radiación solar (W/m²) en la ZMVP (2019 – 2021) 33
Figura 5. Promedio de la dirección y velocidad del viento [m s^{-1}] en el Estado durante el periodo 2015-2020. 34
Figura 6. Rosa de vientos para el Estado por estación durante el periodo 2015-2020; la velocidad se presenta en m s^{-1}. 34
Figura 7. Datos de concentración $PM_{2.5}$ y PM_{10} vs tiempo para Amecameca y Chalco Mayo-Agosto 2013 37
Figura 8. Población total y tasa media de crecimiento 1990-2050. Estado de Puebla. 39
Figura 9. Puebla. Población por grupo de edad 2000 y 2020 39
Figura 10. Estado de Puebla. Evolución del PIB por actividad económica 2010-2020. (Millones de pesos, año base 2013) 42
Figura 11. Estado de Puebla. Estructura del PIB de Actividades secundarias. 43
Figura 12. Consumo energético por tipo de combustible (Pj), 2020 44
Figura 13. Vehículos registrados en circulación en el estado de Puebla 1980-2021. 45
Figura 14. Parque Vehicular de los principales municipios del estado de Puebla 46
Figura 15. Distribución de días con buena calidad del aire, aceptable y mala en la ZMVP de 2010 a 2021 (ozono) 68
Figura 16. Distribución de días con buena, aceptable y mala calidad del aire en la ZMVP y por estación de monitoreo atmosférico para 2020 y 2021 (ozono) 70
Figura 17. Distribución de días con buena, aceptable y mala calidad del aire en la ZMVP de 2010 a 2021 para PM_{10} 71
Figura 18. Distribución de días con calidad del aire buena, aceptable y mala en la ZMVP y por estación de monitoreo atmosférico para 2020 y 2021 (PM_{10}) 73
Figura 19. Distribución de días con calidad del aire buena, aceptable y mala en la ZMVP de 2010 a 2021 para $PM_{2.5}$ 73
Figura 20. Distribución de días con calidad del aire buena, aceptable y mala en la ZMVP y por estación de monitoreo atmosférico para 2020 y 2021 ($PM_{2.5}$) 75
Figura 21. Distribución de días con buena, aceptable y mala calidad del aire en la ZMVP de 2010 a 2021 para CO 75
Figura 22. Distribución de días con buena, aceptable y mala calidad del aire en la ZMVP de 2010 a 2021 para NO_2 76
Figura 23. Distribución de días con buena, aceptable y mala calidad del aire en la ZMVP de 2010 a 2021 para SO_2 76
Figura 24. Evaluación de cumplimiento de norma de ozono 77
Figura 25. Evaluación de cumplimiento de norma de PM_{10} 77
Figura 26. Comportamiento horario de ozono por estación de monitoreo 78
Figura 27. Comportamiento horario de ozono por estación de monitoreo 79

Figura 28. Comportamiento horario de PM_{10} por estación de monitoreo.....80
Figura 29. Comportamiento horario de $PM_{2.5}$ por estación de monitoreo..... 81
Figura 30. Comportamiento semanal de ozono por estación de monitoreo..... 82
Figura 31. Comportamiento semanal de PM_{10} por estación de monitoreo..... 83
Figura 32. Comportamiento semanal de $PM_{2.5}$ por estación de monitoreo.....84
Figura 33. Comportamiento anual de ozono por estación de monitoreo..... 85
Figura 34. Comportamiento anual de PM_{10} por estación de monitoreo..... 86
Figura 35. Comportamiento anual de $PM_{2.5}$ por estación de monitoreo..... 87
Figura 36. Valores mensuales de las variables climáticas para el Estado durante el periodo 1950-2019. 92
Figura 37. Valores anuales de las variables climáticas para el Estado durante el periodo 1950-2019. 93
Figura 38. Distribución de los valores mensuales de precipitación para el Estado..... 94
Figura 39. Distribución precipitación mensual para las regiones del estado 94
Figura 40. Distribución de temperatura mensual máxima para el Estado.....95
Figura 41. Distribución temperatura mensual máxima para las regiones del estado.95
Figura 42. Distribución temperatura mensual mínima para el Estado 96
Figura 43. Distribución temperatura mensual mínima para las regiones del estado 96
Figura 44. Precipitación total anual en días húmedos (prcptot) para el Estado 102
Figura 45. Contribución a la precipitación total de días extremadamente húmedos (r95p) para el Estado 103
Figura 46. Duración máxima del período seco (cdd) para el Estado..... 104
Figura 47. Índice de intensidad de precipitación simple (sdii) para el Estado 105
Figura 48. Temperatura máxima media anual (tmax) para el Estado..... 106
Figura 49. Temperatura mínima media anual (tmin) para el Estado.....107
Figura 50. Valor máximo de la temperatura máxima diaria (txx) para el Estado 108
Figura 51. Valor mínimo de la temperatura mínima diaria (tnn) para el Estado 109
Figura 52. Número de días de verano (su) para el Estado 110
Figura 53. Número de días de heladas (fd) para el Estado 111
Figura 54. Oscilación térmica diaria (dtr) para el Estado.....112
Figura 55. Distribución del índice prctot por región para el periodo 1980-2020.....113
Figura 56. Distribución del índice pr95 por región para el periodo 1980-2020 113
Figura 57. Distribución del índice cdd por región para el periodo 1980-2020 114
Figura 58. Distribución del índice sdii por región para el periodo 1980-2020.....114
Figura 59. Distribución del índice txx por región para el periodo 1980-2020 114
Figura 60. Distribución del índice tnn por región para el periodo 1980-2020 115
Figura 61. Distribución del índice su por región para el periodo 1980-2020 115
Figura 62. Distribución del índice fd por región para el periodo 1980-2020 115
Figura 63. Distribución del índice dtr por región para el periodo 1980-2020 116
Figura 64. Proporción de las tendencias de los índices en el Estado y las regiones durante el periodo 1980-2020 116
Figura 65. Rangos de valores de cambio de las variables climáticas proyectados para el Estado por horizonte temporal; prec [mm], tmax [°C], tmin [°C].....119
Figura 66. Promedio de precipitación anual acumulada en el Estado para el periodo de referencia y proyectada de acuerdo con las proyecciones de cambio climático.....120
Figura 67. Cambio promedio de la precipitación anual [mm] proyectado para el Estado de acuerdo con las proyecciones de cambio climático.....120
Figura 68. Cambio promedio de la precipitación mensual [▵ mm] proyectado para el Estado de acuerdo con las proyecciones de cambio climático. 121

Figura 69. Promedio de la temperatura máxima anual en el Estado para el periodo de referencia y proyectada de acuerdo con las proyecciones de cambio climático. 122
Figura 70. Cambio promedio de la temperatura máxima anual [°C] proyectado para el Estado de acuerdo con las proyecciones de cambio climático. 122
Figura 71. Cambio promedio de la temperatura máxima mensual [▵ mm] proyectado para el Estado de acuerdo con las proyecciones de cambio climático. 123
Figura 72. Promedio de la temperatura mínima anual en el Estado para el periodo de referencia y proyectada de acuerdo con las proyecciones de cambio climático. 124
Figura 73. Cambio promedio de la temperatura mínima anual [°C] proyectado para el Estado de acuerdo con las proyecciones de cambio climático. 124
Figura 74. Cambio promedio de la temperatura mínima mensual [▵ mm] proyectado para el Estado de acuerdo con las proyecciones de cambio climático. 125
Figura 75. proyecciones de cambio climático seleccionadas para evaluar la vulnerabilidad. 127
Figura 76. Mapa de cambio proyectado en la temperatura máxima (Dtmax) y precipitación (Dprec) Con relación al periodo de referencia, de acuerdo con la proyección HadGEM3-GC31-LL_ssp585_2041-2060. 128
Figura 77. Pérdida de idoneidad climática para especies en el estado de Puebla 130
Figura 78. Tendencia de los principales factores de presión que afectan la calidad del aire, 2014-2020 135
Figura 79. Tendencia 2014-2020 del consumo energético en el estado de Puebla por tipo de combustible 136
Figura 80. Consumo energético por tipo de combustible, 2020 137
Figura 81. Tendencia del número de unidades económicas y del consumo de gas natural, 2014-2020 138
Figura 82. Tendencias del número de vehículos automotores y el consumo energético de diésel y gasolina, 2014-2020 149
Figura 83. Parque vehicular desagregado por municipio 150
Figura 84. Balance de Energía del estado de Puebla, 2020. 155
Figura 85. Emisiones de PM10 de las fuentes o categorías relevantes 169
Figura 86. Emisiones de PM2.5 de las fuentes o categorías relevantes 169
Figura 87. Emisiones de NOx de las fuentes o categorías relevantes 170
Figura 88. Emisiones de COV de las fuentes o categorías relevantes 171
Figura 89. Emisiones totales de las principales especies formadoras de Ozono que integran los COV de las fuentes o categorías relevantes 172
Figura 90. Emisiones porcentuales de los principales contaminantes tóxicos 173
Figura 91. Emisiones de PM10 generadas en los municipios de la ZMVP 180
Figura 92. Emisiones de $PM_{2.5}$ generadas en los municipios de la ZMVP 181
Figura 93. Emisiones de $PM_{2.5}$ por sector en la ZMVP (2020) 181
Figura 94. Emisiones de NO_X generadas en la ZMVP 183
Figura 95. Emisiones de COV generadas en la ZMVP 184
Figura 96. Emisiones de COV por su potencial en la formación de ozono (ZMV0P) 186
Figura 97. Emisiones de CO_2e de las fuentes o categorías relevantes 188
Figura 98. Emisiones de CH_4 de las fuentes o categorías relevantes 189
Figura 99. Emisiones de N_2O de las fuentes o categorías relevantes 189
Figura 100. Emisiones de CN de las fuentes o categorías relevantes 190

Figura 101. Emisiones de CO_2e de las fuentes o categorías relevantes 191
Figura 102. Tendencia de Emisiones de $PM_{2.5}$ por tipo de fuente 195
Figura 103. Esquema para seguir el registro del RENE 202
Figura 104. Casos de muertes evitables por causa específica de enfermedad en el municipio de Puebla, y su contribución a la incidencia basal de acuerdo con la NOM vigente en 2019 210
Figura 105. Casos de muertes evitables por causa específica de enfermedad en el municipio de Puebla de acuerdo con la NOM vigente en 2019, la NOM actualizada en 2021 y la recomendación de la OMS 211
Figura 106. Combinaciones de las cuatro proyecciones poblacionales por SSP (derecha) y las ocho proyecciones de cambio climático. 216
Figura 107. Superficie por clase de vulnerabilidad al dengue para las regiones del Estado de acuerdo con las ocho proyecciones de cambio climático. 217
Figura 108. Proporción por clase de vulnerabilidad al dengue para las regiones del Estado de acuerdo con las ocho proyecciones de cambio climático. 218
Figura 109. Porcentaje de la superficie de las regiones del Estado con vulnerabilidad al dengue alta consenso. 220
Figura 110. Superficie por clase de vulnerabilidad a la tripanosomiasis americana para las regiones del Estado. 221
Figura 111. Proporción por clase de vulnerabilidad a la tripanosomiasis americana para las regiones del Estado. 221
Figura 112. Porcentaje de la superficie de las regiones del Estado con vulnerabilidad a la tripanosomiasis americana alta consenso 223
Figura 113. Número de especies por clase, orden y familia de vertebrados terrestres obtenidos de la GBIF 224
Figura 114. Número de especies por clase, orden y familia de plantas vasculares obtenidos de la GBIF 226
Figura 115. Número de especies evaluadas por grupo. 228
Figura 116. Resumen gráfico del proceso para calcular la vulnerabilidad 230
Figura 117. Número de especies por grupo clasificadas como de alta vulnerabilidad por proyección. 232
Figura 118. Proporción de especies por clase de vulnerabilidad y grupo. 233
Figura 119. Proporción de especies por clase de vulnerabilidad y región. 233
Figura 120. Promedio de especies con pérdida de idoneidad climática a futuro por grupo y región 234
Figura 121. Resumen gráfico del proceso para calcular la vulnerabilidad 243
Figura 122. Proporción de la superficie de las comunidades vegetales por clase de vulnerabilidad y proyección. 245
Figura 123. Proporción de la superficie de las comunidades vegetales por clase de vulnerabilidad integrada. 246
Figura 124. Proporción de la superficie de las comunidades vegetales por clase de vulnerabilidad integrada para las regiones del estado 247
Figura 125. Requerimientos agroclimatológicos del maíz. 258
Figura 126. Mapa de construcción de aptitud climática actual del maíz. 259
Figura 127. Mapa de aptitud climática utilizando los escenarios de cambio climático para el cultivo del maíz. 260
Figura 128. Porcentajes de cambio en la aptitud climática para el maíz en las áreas uso de agricultura de temporal para las distintas regiones de Puebla 262
Figura 129. Porcentajes de cambio en la aptitud climática para el maíz en las áreas uso de agricultura de riego para las distintas regiones de Puebla. 263

Figura 130. Porcentaje por tipo de fenómeno de declaratorias de emergencia, desastre o contingencia climática para el estado de Puebla 264
Figura 131. Árbol jerárquico de la construcción del índice de vulnerabilidad de la agricultura ante el estrés hídrico. 266
Figura 132. Árbol jerárquico de la construcción del índice de vulnerabilidad de la agricultura ante inundaciones. 275
Figura 133. Combinaciones de los criterios de crecimiento poblacional y exposición para el cálculo de la vulnerabilidad del sector hídrico 290
Figura 134. Mapas de vulnerabilidad del sector hídrico de acuerdo con ocho proyecciones de cambio climático; hc: horizonte temporal cercano (2021-2040), hl: horizonte temporal lejano (2081-2100). 292
Figura 135. Número de medidas por Ejes del ProAire-PEACC del estado de Puebla.. 311
Figura 136. Tendencia de la reducción de emisiones de PM2.5, respecto a su línea base 342
Figura 137. Tendencia de la reducción de emisiones de NOx, respecto a su línea base 343
Figura 138. Tendencia de la reducción de emisiones de COV, respecto a su línea base 343
Figura 139. Tendencia de la reducción de emisiones de CO_2e, respecto a su línea base 344
Figura 140. Desarrollo de un programa de electromovilidad para el sector transporte 351
Figura 141. Ciudad peatonal incluyente 351
Figura 142. Mejores prácticas para el manejo de fuego y prevención de incendios.. 352
Figura 140. Proceso de participación e involucramiento en el desarrollo del Programa 357

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Principales elevaciones en el estado de Puebla 22
Tabla 2. Superficie agrícola del estado de Puebla 26
Tabla 3. Información sobre la producción forestal maderable y no maderable por género (nombre común) y productos del estado de Puebla 2018. 26
Tabla 4. Áreas naturales protegidas del estado de Puebla 28
Tabla 5. Tipo y número de incendios, superficie afectada en el periodo 2018-2021 38
Tabla 6. Estado de Puebla. Población Económicamente Activa por condición de ocupación 2015-2021 41
Tabla 7. Estado de Puebla. Tipos de Carreteras (2016) 45
Tabla 8. Tipos de Vehículos de Motor Registrados en Circulación en el estado de Puebla, 2021 45
Tabla 9. Parque vehicular registrado en el estado de Puebla, 2020 46
Tabla 10. Estaciones de Monitoreo Atmosférico de la REMA de Puebla 58
Tabla 11. Parámetros medidos por la REMA de Puebla 60
Tabla 12. Valores límite permisibles de exposición a los contaminantes normados 62
Tabla 13. Porcentaje de datos disponibles de ozono 66
Tabla 14. Porcentaje de datos disponibles de PM_{10} 66
Tabla 15. Porcentaje de datos disponibles de $PM_{2.5}$ 66
Tabla 16. Porcentaje de datos disponibles de CO 67

Tabla 17. Porcentaje de datos disponibles de NO_2 67
Tabla 18. Porcentaje de datos disponibles de SO_2 67
Tabla 19. Número de estaciones climatológicas por región y tipo de clima (*) 88
Tabla 20. Tipos de clima representados por las estaciones. 89
Tabla 21. Estaciones climatológicas seleccionadas. 90
Tabla 22. índices de cambio climático calculados. 100
Tabla 23. Elementos que conforman las proyecciones de cambio climático consideradas. 118
Tabla 24. Valores de cambio extremos de las variables climáticas proyectados para el Estado; prec [mm], tmax [°C], tmin [°C]. 118
Tabla 25. Narrativas de las SSP de las proyecciones seleccionadas para la evaluación de la vulnerabilidad. 126
Tabla 26. Porcentaje de la superficie de las comunidades vegetales representativas del sector con pérdida de idoneidad climática proyectada. 129
Tabla 27. Porcentajes máximos y mínimos de aumento de la superficie estatal con idoneidad climática de vectores de la tripanosomiasis americana en el Estado, de acuerdo con ocho proyecciones de cambio climático. 130
Tabla 28. Unidades Económicas de los años 2014 y 2020 139
Tabla 29. Tamaño de la industria manufacturera 141
Tabla 30. Municipios con el mayor número de industrias manufactureras 141
Tabla 31. Ladrilleras registradas por municipio 143
Tabla 32. Emisiones promedio por horneada de ladrillos en el estado de Puebla 148
Tabla 33. Tendencia 2014-2020 del número de vehículos registrados en el estado 149
Tabla 34. Parque vehicular registrado en el estado de Puebla, 2020 150
Tabla 35. Combustible más utilizado para cocinar en el estado de Puebla 151
Tabla 36. Emisiones promedio generadas por vivienda por el uso equivalente del consumo energético de leña, gas LP y biogás 152
Tabla 37. Proyección del consumo estatal energético por sector al 2030 y 2050 en PJ 156
Tabla 38. Proyección del consumo de combustibles estatal al 2030 y 2050 en PJ 156
Tabla 39. Sector y jurisdicción de las fuentes fijas 161
Tabla 40. Emisiones generadas en el Estado de Puebla en el año 2020 163
Tabla 41. Emisiones desagregadas generadas en el Estado de Puebla en 2020 164
Tabla 42. Aportación porcentual de emisiones por tipo de fuente 166
Tabla 43. Inventario de Emisiones de contaminantes tóxicos por especie 173
Tabla 44. Inventario de Emisiones de contaminantes tóxicos por Fuente o categoría 174
Tabla 45. Emisiones generadas en los municipios Poblanos 175
Tabla 46. Emisiones generadas en los municipios Poblanos que pertenecen a la ZMVP 179
Tabla 47. Ladrilleras registradas en la ZPVP por municipio 180
Tabla 48. Inventario de Emisiones de Contaminantes Criterio y de GyCEI, ZMVP 184
Tabla 49. Emisiones de GyCEI generadas en el Estado de Puebla en el año 2020 187
Tabla 50. Inventario de Emisiones de GyCEI, AÑO 2020 191
Tabla 51. Tendencia de emisiones. 193
Tabla 52. Línea base por tipo de fuente de los años 2020, 2030 y 2050 194
Tabla 53. Emisiones de t CO_2e por cada una de las dependencias del Gobierno del Estado de Puebla 199
Tabla 54. Reporte GEI (Sección VI. Registro de emisiones de gases o compuestos de efecto invernador de la cedula de operación anual) 201

Tabla 55. Funciones exposición respuesta seleccionadas para la evaluación de los impactos en salud 207
Tabla 56. Valores anuales de $PM_{2.5}$ de los escenarios de modelación de los impactos en la salud 207
Tabla 57. Tasas de mortalidad por causas de enfermedad en 2019 para el municipio de Puebla 209
Tabla 58. Variables seleccionadas para calcular la vulnerabilidad al dengue. 214
Tabla 59. Variables seleccionadas para calcular la vulnerabilidad a la tripanosomiasis americana. 215
Tabla 60. Criterios considerados para calcular la vulnerabilidad del sector biodiversidad. 227
Tabla 61. Número de especies por clases de vulnerabilidad y proyección. 231
Tabla 62. Número de especies por clases de vulnerabilidad y región 232
Tabla 63. Superficie con pérdida de idoneidad climática proyectada para la mayor cantidad de especies por región. 236
Tabla 64. Superficie forestal, arbolada y no arbolada, del estado de Puebla. 237
Tabla 65. Criterios considerados para calcular la vulnerabilidad del sector forestal del estado de puebla ante el cambio climático 239
Tabla 66. Superficie y porcentaje de las comunidades vegetales por clase de vulnerabilidad integrada 246
Tabla 67. Superficie de las comunidades vegetales por región y clase de vulnerabilidad integrada 246
Tabla 68. Clasificación de las variables climáticas para el cultivo del maíz 258
Tabla 69. Por región área utilizada por agricultura de temporal y riego (INEGI), Porcentaje del uso para el cultivo de maíz (SIAP) y el rendimiento promedio por región del maíz de temporal y riego (SIAP) 261
Tabla 70. Potencial de retención de agua 273
Tabla 71. Usos del agua en el estado de Puebla. 286
Tabla 72. Criterios considerados para calcular la vulnerabilidad del sector hídrico. 287
Tabla 73. Estrategia 1. Movilidad y transporte sustentable 312
Tabla 74. Estrategia 2. Industria, comercio y servicios 314
Tabla 75. Estrategia 3. Reducción de emisiones en la quema de biomasa y residuos 316
Tabla 76. Estrategia 4. Eficiencia energética 318
Tabla 77. Estrategia 5. Fortalecimiento de la gestión de la calidad del aire 320
Tabla 78. Estrategia 6. Adaptación de la biodiversidad al cambio climático 321
Tabla 79. Estrategia 7. Adaptación forestal al cambio climático 323
Tabla 80. Estrategia 8. Adaptación agrícola al cambio climático 325
Tabla 81. Estrategia 9. Adaptación hídrica al cambio climático 327
Tabla 82. Estrategia 10. Medidas OCSA 330
Tabla 83. Estrategiia11. Salud ambiental 332
Tabla 84. Estrategia 12. Capacitación 334
Tabla 85. Estrategia 13. Comunicación y difusión 336
Tabla 86. Estrategia 14. Investigación 337
Tabla 87. Medidas de Mitigación y adaptación y su alineación con la NDC, la estrategia estatal de cambio climático 2021-2030 (EECC) y la ENCC 339
Tabla 88. Reducción de emisiones 342
Tabla 89. Reducción de emisiones 344
Tabla 90. Relación de medidas con sus beneficios (negativos y positivos) 350
Tabla 91. Medidas por fuente de financiamiento ProAire-PEACC Puebla 386

Glosario de Términos y Acrónimos

Gobierno de Puebla

GLOSARIO DE TÉRMINOS Y ACRÓNIMOS

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Acuerdo de Paris. Es un tratado internacional sobre el cambio climático jurídicamente vinculante.

Acuíferos. Depósito de agua que circula en el subsuelo.

Adaptación. Medidas y ajustes para enfrentar los efectos potenciales del cambio climático y disminuir los daños que ocasiona.

Agroclimática. Es una zona con características interrelacionadas entre el clima y los sistemas de cultivos, el entendimiento de estas interrelaciones ayuda a tomar mejores decisiones en el manejo agronómico de los cultivos.

Alergia. Respuesta exagerada de nuestro sistema inmunológico, cuando entra en contacto con determinadas sustancias provenientes del exterior.

Antropogénico. Relativo al hombre; de origen humano. Se puede aplicar a las concepciones excesivamente centradas en la problemática humana, olvidándose de los efectos, problemas y daños que causan al ambiente.

Atmósfera. Capa de aire que circunda la tierra y que se extiende alrededor de 100 kilómetros por encima de la superficie terrestre. Esta estructura física está formada por una mezcla de 78% de nitrógeno, 21% de oxígeno y 1% de varios gases como el argón, el neón, el bióxido de carbono y el vapor de agua, entre otros compuestos inorgánicos.

Aviturismo o avistamiento de aves. Es un nicho del Ecoturismo, cuya motivación principal es contemplar, interpretar y comprender la naturaleza, refiriéndose al acto de observar e identificar a las aves en su hábitat natural.

Benceno: Compuesto más sencillo de los hidrocarburos olefínicos conformado en una cadena cíclica cerrada.

Biodiversidad. Es la diversidad de vida, la variedad de seres vivos que existen en el planeta y las relaciones que establecen entre sí y con el medio que los rodea. Es el resultado de millones de años de evolución.

Cambio Climático (CC). Hace referencia a los cambios a largo plazo de las temperaturas y los patrones climáticos.

Combustión. Proceso de oxidación rápida de materiales inorgánicos acompañados de liberación de energía en forma de calor y luz.

Compuestos orgánicos volátiles (COV). Incluye un amplio grupo de sustancias individuales como los hidrocarburos (alcanos, alquenos y

aromáticos), compuestos halogenados (tricloroetileno) y compuestos oxigenados (alcoholes, aldehídos y cetonas). Todos son compuestos orgánicos de carbono y poseen una volatilidad suficiente para existir como vapores en la atmósfera.

Concentración. Cantidad relativa de una sustancia específica mezclada con otra sustancia generalmente más grande; por ejemplo: 5 partes por millón de monóxido de carbono en el aire. También se puede expresar como el peso del material en proporción menor que se encuentra dentro de un volumen de aire o gas, esto es, en miligramos del contaminante por cada metro cúbico de aire.

Conjuntivitis. Inflamación de la conjuntiva, mucosa que cubre la parte anterior del ojo y el interior del párpado. Puede ser causada por una alergia, infección (por una bacteria o virus), por rascarse, por un objeto extraño que se mete en el ojo o por un golpe accidental.

Contaminación atmosférica. Es la presencia que existe en el aire de pequeñas partículas o productos secundarios gaseosos que pueden implicar riesgo, daño o molestia para las personas, plantas y animales que se encuentran expuestas a dicho ambiente.

Contaminación. Generalmente, la presencia de materia o energía cuya naturaleza, ubicación o cantidad produce efectos ambientales indeseables. En otros términos, es la alteración hecha o inducida por el hombre a la integridad física, biológica, química, y radiológica del medio ambiente.

Contaminante del aire. Cualquier sustancia en el aire que, en alta concentración, puede dañar la salud humana, animales, vegetales o materiales. Puede incluir casi cualquier compuesto natural o artificial de materia flotante susceptible de ser transportado por el aire. Estos contaminantes se encuentran en forma de partículas sólidas, gotas líquidas, gases o combinadas. Generalmente se clasifican en los emitidos directamente por la fuente contaminante o contaminantes primarios y los producidos en el aire por la interacción de dos o más contaminantes primarios, o por la reacción con los compuestos normales de la atmósfera.

Contaminante. Materia o sustancia, sus combinaciones o compuestos, derivados químicos o biológicos, así como toda forma de energía, radiaciones ionizantes, vibraciones o ruido que, al incorporarse y actuar en la atmósfera, agua, suelo, flora, fauna o cualquier elemento del ambiente alteran o modifican su composición o afectan la salud.

Contaminantes criterio. Parámetros de calidad del aire y del ambiente para ciertos contaminantes conocidos como peligrosos para la salud humana. A nivel internacional se reconocen siete contaminantes criterio del aire: ozono, monóxido de carbono, partículas suspendidas totales y fracción respirable, bióxido de azufre, bióxido de nitrógeno y plomo.

Cuencas atmosféricas. Al igual que en la hidrología, las cuencas atmosféricas, son espacios geográficos total o parcialmente delimitados por ambientes topográficos y otras condiciones semejantes como las meteorológicas y climáticas. Adicionalmente, residen en ellas, fuentes antropogénicas que influyen en su interior y que resultan en partes en donde la atmósfera se comporta de manera peculiar en cuanto a la dispersión de contaminantes.

DATGEN. Es un software en el que interactúan Hojas de Cálculo en Excel (Repositorio) en las cuales se encuentran Catálogos, Factores de Emisión, Tablas de Conversión, también se incluyen datos de Chimeneas, Equipos de Control, Materias Primas, Productos, Combustibles, Ubicación Geográfica, entre otros de la empresa que se analizan.

Dióxido de azufre (SO_2). Gas incoloro con un olor penetrante, cuya principal fuente antropogénica es la quema de combustibles fósiles (carbón y petróleo) para la generación de electricidad y en los vehículos de motor a diésel, y la fundición de minerales que contienen azufre.

Dióxido de carbono (CO_2). Gas inorgánico compuesto por dos moléculas de oxígeno y una de carbono. Este gas no tiene color, olor ni sabor y se produce por la respiración de los seres vivos y cuando se queman combustibles fósiles.

Dióxido de nitrógeno (NO_2). Gas irritante y oxidante, generado principalmente por fuentes de emisión antropogénica durante los procesos de combustión (calefacción, generación de electricidad y motores de vehículos).

Dirección del Viento. Mide la componente horizontal de la velocidad del viento, indica de dónde viene el viento. Se mide en grados, desde 0° (excluido) hasta 360° (incluido), girando en el sentido de las agujas del reloj en el plano horizontal visto desde arriba.

Dispersión. Fenómeno que determina la magnitud de la concentración resultante y el área de impacto, en el cual los contaminantes se van a dispersar y diluir según las condiciones meteorológicas y geográficas del lugar donde fueron liberados o generados.

Emisión. Descarga de contaminantes a la atmósfera provenientes de chimeneas y otros conductos de escape de las áreas industriales, comerciales y residenciales, así como de los vehículos automotores, locomotoras o escapes de aeronaves y barcos.

Exposición. Procesos por los cuales una sustancia con propiedades tóxicas se introduce o es absorbida por un organismo por cualquier vía.

Gases de efecto invernadero (abreviado como GHG). Es un gas en la atmósfera que absorbe y emite radiación dentro del rango infrarrojo. Los gases de efecto invernadero primarios en la atmósfera son el vapor de agua, dióxido de carbono, metano, óxidos de nitrógeno y ozono.

Hidrocarburos. Compuestos orgánicos que contienen carbono e hidrógeno en combinaciones muy variadas. Se encuentran especialmente en los combustibles fósiles. Algunos de estos compuestos son contaminantes peligrosos del aire por ser carcinógenos; otros son importantes por su participación en la formación del ozono a nivel del aire urbano.

Mediana. Es una variable estadística, divide a una población en dos partes iguales, la mitad de la población tiene valores de la variable que son inferiores a la mediana y la otra mitad tiene valores superiores a la mediana.

Mitigación. Aplicación de políticas y acciones destinadas a reducir las emisiones de las fuentes, o mejorar los sumideros de gases y compuestos de efecto invernadero.

Monóxido de carbono (CO). Gas incoloro, inodoro e insípido, producto de una combustión incompleta de los motores de los vehículos que emplean gasolina como combustible. Otras fuentes de producción de CO son los incendios forestales y las quemas de la actividad agrícola.

Ozono (O_3). A nivel del piso es un contaminante secundario que se forma en la atmósfera por la reacción que se lleva cabo entre los óxidos de nitrógeno (procedentes, principalmente, de las emisiones de vehículos automotores, la industria e inclusive de la actividad biogénica) y de los compuestos orgánicos volátiles (emitidos, por los vehículos automotores, la industria, evaporación de solventes, así como la actividad biogénica) en presencia de luz solar.

Partículas fracción inhalable (PM_{10}). Estándar para la medición de la concentración de partículas sólidas o líquidas suspendidas en la atmósfera cuyo diámetro es igual o inferior a 10 micrómetros y que dictan el comportamiento de las partículas dentro de los pulmones: las partículas más pequeñas PM10 penetran a las partes más profundas del pulmón. Estudios clínicos y epidemiológicos muestran que son causa de afectación a grupos de población sensible como niños e individuos con enfermedades respiratorias.

Partículas fracción inhalable ($PM_{2.5}$). Estándar para la medición de la concentración de partículas sólidas o líquidas suspendidas en la atmósfera cuyo diámetro es igual o inferior a 2.5 micrómetros y que dictan el comportamiento de las partículas dentro de los pulmones: las partículas más pequeñas penetran a las partes más profundas de los alvéolos. Diversos estudios clínicos y epidemiológicos muestran su afectación en grupos de población sensible como niños e individuos con enfermedades respiratorias.

Partículas. Contaminantes generados por los procesos de combustión, calentamiento, producción, transporte y manipulación de materiales pulverizados. Se forman de cenizas, humos, polvos, metales, etc. Su principal fuente emisora es la industria que cuenta con calderas, hornos, incineradores, etc., al igual que los vehículos automotores que utilizan diésel. Como parte de las fuentes naturales están los suelos en áreas erosionadas; áreas sin pavimentación, emisiones volcánicas, etc. Las partículas en el aire se pueden medir como PST o PM_{10}.

Poliuretanos. Resina sintética obtenida por condensación de poliésteres y caracterizada por su baja densidad.

Registro Nacional de Emisiones (RENE). Es un instrumento de política pública que permite compilar la información necesaria en materia de emisión de Compuestos y Gases Efecto Invernadero (GyCEI) de los diferentes sectores productivos para dar trazabilidad, evaluar tendencias y establecer estrategias nacionales de reducción de emisiones.

SANKEY. Es una herramienta de visualización de datos que muestra la relación entre dos o más variables a través de flujos. Esta herramienta se utiliza para mostrar la cantidad de energía, materiales, información o dinero que fluye entre diferentes nodos. Los diagramas Sankey se pueden usar para mostrar cómo los recursos se transfieren entre procesos, para mostrar la distribución de los recursos entre diferentes grupos, o para mostrar la evolución de una variable a lo largo del tiempo.

Tableau. Es una herramienta de visualización de datos utilizada en el área de la Inteligencia de negocios (más conocida como Business Intelligence). Simplifica los datos en bruto en un formato muy fácil de entender. La esencia es ayudar a ver y comprender los datos.

Topografía. Es un término muy amplio que se usa para describir el estudio detallado de la superficie de la tierra. Este estudio, incluye cambios en la superficie, como montañas y valles, así como las características de ríos y carreteras. Con la práctica de la topografía podemos determinar y registrar la posición de ciertos puntos de un terreno en planimetría (X-Y) y en altimetría.

Vegetación Riparia. Es una franja estrecha que se encuentra a lo largo de los ríos, lagos, embalses y humedales.

Velocidad del Viento. La velocidad del viento mide la componente horizontal del desplazamiento del aire en un punto y en un instante determinados. Se mide mediante un anemómetro, y la unidad de medida es habitualmente metros por segundo (m/s). Las ausencias de viento se denominan calmas.

Zona metropolitana. Es el conjunto de dos o más municipios o demarcaciones territoriales en los que se localiza una ciudad de 50 mil o más habitantes, cuya área urbana, funciones y actividades rebasan el límite del municipio o demarcación que originalmente la contenía, incorporando como parte de sí misma o de su área de influencia directa a municipios vecinos, predominantemente urbanos, con los que mantiene un alto grado de integración socioeconómica.

Zoonosis. Constituyen un grupo de enfermedades de los animales que son transmitidas al humano por contagio directo con el animal enfermo, a través de algún fluido corporal como orina o saliva, o mediante la presencia de algún intermediario como pueden ser los mosquitos u otros insectos.

Acrónimos

ADVC (Áreas Destinadas Voluntariamente para la Conservación)

AGEB (Área Geoestadística Básica Urbana)

AICAS (Áreas de Importancia para la Conservación de las Aves)

ANP (Áreas Naturales Protegidas)

BA (bosque de oyamel)

BANOBRAS (Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos)

BEEP (Balance de Energía del estado de Puebla)

BINE (Estación de monitoreo atmosférico ubicada en la Benemérito Instituto Normal del Estado, Municipio de Puebla)

BM (bosque mesófilo de montaña)

BPQP (bosque de pino, encino, pino-encino y encino-pino)

BUAP (Benemérita Universidad Autónoma de Puebla)

CAMe (Comisión Ambiental de la Megalópolis)

CAP (cáncer de pulmón)

CENAPRED (Centro Nacional de Prevención de Desastres)

CFE (Comisión Federal de Electricidad)

CH_4 (Metano)

CIMMYT (Centro International de Mejoramiento de Maíz y Trigo)

CN (Carbono negro)

CNDH (Comisión Nacional de Derechos Humanos)

CO (Monóxido de carbono)

CO_2 (Dióxido de carbono)

CO_2e (Dióxido de carbono equivalente)

COA (Cédula de Operación Anual)

CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad)

CONAFOR (Comisión Nacional Forestal)

CONAGUA (Comisión Nacional del Agua)

CONANP (Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas)

CONAPO (Consejo Nacional de Población)

CONEVAL (Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social)

COP (Contaminantes Orgánicos Persistentes)

COV (Compuestos Orgánicos Volátiles)

CP (cardiopulmonares)

CPEUM (Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos)

CV (cardiovasculares)
DENUE (Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas)
DENV (Virus del dengue)
EIC (enfermedades isquémicas del corazón)
EIS (evaluación de impactos en la salud)
ENCA (Estrategia Nacional de Calidad del Aire)
ENCC (Estrategia Nacional de Cambio Climático)
ENOE (Encuesta Nacional de Ocupación y Empleo)
EPA (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos)
EPOC (enfermedad pulmonar obstructiva crónica)
ESR (Establecimiento Sujeto a Reporte)
ETCCDI (Expertos en Detección de Cambio Climático e Índices)
FER (funciones exposición respuesta)
FMCN (Fondo Mexicano para la Conservación de la Naturaleza)
Gas LP (Gas licuado de petróleo)
GEI (Gases de Efecto Invernadero)
GFS (Sistema Global de Predicción)
GIA (Gestión Integral del Agua)
GyCEI (Gases y Compuestos de Efecto Invernadero)
HCF (Hidrofluorocarbonos)
HT (horizontes temporales)
IDEFOR (Infraestructura de Datos Espaciales Forestales)
IE (Inventario de Emisiones)
IEE (Inventario Estatal de Emisiones)
IMECA (Índice Metropolitano de Calidad del Aire)
INE (Instituto Nacional de Ecología, ahora INECC)
INECC (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático)
INEGI (Instituto Nacional de Geografía y Estadística)
INEM (Inventario Nacional de Emisiones)
INFYS (Indicadores Forestales del Instituto Nacional Forestal y Suelos)
INFyS (Inventario Nacional Forestal y de Suelos)
IPCC (Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático)
IRAs (infecciones respiratorias agudas)
ISSSTEP (Instituto de Seguridad y Servicios Sociales de los Trabajadores al Servicio de los Poderes del estado de Puebla)
IUCN (Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza)

LECCP (Ley de Cambio Climático para el estado de Puebla)
LEGEEPA (Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente)
LGCC (Ley General de Cambio Climático)
LGCC (Ley general de cambio climático)
MC (matorral crasicaule)
MCG (modelos de circulación general)
MDR (matorral desértico rosetófilo)
NCEO (Centros Nacionales para la Predicción Ambiental)
NDC (Contribuciones Nacionales Determinadas)
NINFAS (Estación de monitoreo atmosférico ubicada en el Parque de la Ninfas)
NOM (Norma Oficial Mexicana)
NOOAA (Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica)
NOx (Óxidos de nitrógeno)
NO_x (Óxidos de nitrógeno)
ODS (Objetivos de Desarrollo Sostenible)
OMS (Organización Mundial de la Salud)
ONU (Organización de las Naciones Unidas)
PA (Precipitación acumulada)
PECC (Programa Especial de Cambio Climático)
PED (Plan Estatal de Desarrollo)
PEMEX (Petróleos Mexicanos)
PIDESC (Pacto Internacional de Derechos Económicos, Sociales y Culturales)
PJ (Peta Joules)
PM_{10} (Partículas menores de 10 micras)
$PM_{2.5}$ (Partículas menores a 2.5 micras)
PNT (Plataforma Nacional de Transparencia)
PNUD (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo)
PREC (precipitación)
ProAire-PEACC (Programa de Gestión de Calidad del Aire y de Acción ante el Cambio Climático)
PRODESEN (Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional)
PROFEPA (Procuraduría Federal de Protección al Ambiente)
PVVO (Programa de Verificación Vehicular Obligatoria)
REMA (Red de Monitoreo Ambiental)
REMNI (Radiación Electromagnética No Ionizante)
RENE (Registro Nacional de Emisiones)

RETC (Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes)

RTP (Regiones Terrestres Prioritarias)

RUTA (Red urbana de transporte articulado de la ZMVP)

SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación)

SBC (selva baja caducifolia)

SCT (Secretaría de Comunicaciones y Transportes)

SDM (modelos de distribución de especies)

SEICAP (Sociedad Española de Inmunológica Clínica y Alergia Pediátrica)

SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales)

SENER (Secretaría de Energía)

SIAP (Sistema de Información Alimentaria y Pesquera)

SIE EP (Sistema de Información Energética del estado de Puebla)

SIH (Sistema de Información de Hidrocarburos)

SINAICA (Sistema Nacional de Información de la calidad del aire)

SISTRANGAS (Sistema de Transporte y Almacenamiento Nacional Integrado de Gas Natural)

SMADSOT (Secretaría de Medio Ambiente, Desarrollo Sustentable y Ordenamiento Territorial)

SO_2 (Bióxido de Azufre)

SO_x (Óxidos de azufre)

STA (Estación de monitoreo atmosférico en Agua Santa, Municipio de Puebla)

TM (temperatura media)

TMAX (temperatura máxima)

TMIN (temperatura mínima)

TPE (transporte público estatal)

USAID (Agencia Internacional para el Desarrollo de la Embajada de los Estados Unidos de América)

UTP (Estación de monitoreo atmosférico ubicada en la Universidad Tecnológica de Puebla, Municipio de Puebla)

Velódromo (Estación de monitoreo atmosférico ubicada en el velódromo, Municipio de Coronango)

WWF (Fondo Mundial para la Naturaleza)

ZM (Zonas Metropolitanas)

ZMPT (Zona Metropolitana de Puebla-Tlaxcala)

ZMVP (Zona Metropolitana del Valle de Puebla)

Referencias

REFERENCIAS

Agarwal, B. (2001). Participatory exclusions, community forestry, and gender: An analysis for South Asia and a conceptual framework. *World development,* 29(10), 1623-1648.

Alexander, L. V., Zhang, X., Peterson, T. C., Caesar, J., Gleason, B., Klein Tank, A. M. G., ... y Vazquez-Aguirre, J. L. (2006). Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 111(D5).

Allouche, O., Tsoar, A., y Kadmon, R., (2006). Assessing the accuracy of species distribution models: prevalence, kappa and the true skill statistic (TSS). Journal of applied ecology, 43(6), 1223-1232.

Altamirano del Carmen, M. A., Estrada, F., y Gay-García, C. (2021). A new method for assessing the performance of general circulation models based on their ability to simulate the response to observed forcing. Journal of Climate, 34(13), 5385-5402.

Álvarez, M., Varela, C., Soto, B., López, E. y Díaz-Fierros, F. (2001). Análisis de la respuesta hidrológica en una cuenca fluvial y su relación con la precipitación. España: Departamento de Edafoloxía, Facultad de Farmacia, Universidad de Santiago.

Araiza-Olivare, Gabriel Alexis (2020). Efectos del cambio climático en la distribución del bosque de Oyamel. Revista Geográfica de América Central, (65), 263-282. https://dx.doi.org/10.15359/rgac.65-2.11.

Arceo-Gómez EO, Hernández-Cortés D, López-Feldman A (2020) Droughts and rural households' wellbeing: evidence from Mexico. Clim Change 162:1197–1212. https://doi.org/10.1007/S10584-020-02869-1/TABLES/3.

Avila-Diaz, A., Bromwich, D. H., Wilson, A. B., Justino, F., y Wang, S. H. (2021). Climate extremes across the North American Arctic in modern reanalyses. Journal of Climate, 34(7), 2385-2410.

Barrera, H. R. Torres, L. Ruíz, J. S. García, A. Torres, A. Martínez, W. Gutiérrez, L. García, M. Robles, A. Retama y J. A. García (2019). Análisis del Transporte de Ozono en la Cuenca Atmosférica de Puebla-Tlaxcala en el Centro e México. Rev. Instituto Contaminación Ambiental. 35(4) 869-888. México.

Bhat, M. S., Afeefa, Q. S., Ashok, K. P., & Bashir, A. G., (2014). Brick kiln emissions and its environmental impact: A Review. Journal of Ecology and The Natural Environment, 6(1), 1–11. https://doi.org/10.5897/jene2013.0423.

Berumen-Rodríguez, A. A., Pérez-Vázquez, F. J., Díaz-Barriga, F., Márquez-Mireles, L. E., & Flores-Ramírez, R., (2020). Revisión del impacto del sector ladrillero sobre el ambiente y la salud humana en México. Salud Publica de México, 63(1), 100–108. https://doi.org/10.21149/11282.

Biemans H., Speelman L.H., Ludwig F., Moors E.J., Wiltshire A.J., Kumar P., Gerten D., y Kabat P. (2013). Future water resources for food production in five South Asian river basins and potential for adaptation – a modeling study. Sci. Total Environ. 468–469: S117–S131.

Birkmann, J., Jamshed, A., McMillan, J. M., Feldmeyer, D., Totin, E., Solecki, W., ... y Alegría, A. (2022). Understanding human vulnerability to climate change: A global perspective on index validation for adaptation planning. Science of The Total Environment, 803, 150065.

Blom C.W.P.M., Bögemann G.M., Laan P., van der Sman A.J.M., van de Steeg H.M., Voesenek L.A.C.J., (1990). Adaptations to flooding in plants from river areas. Aquatic Botany, Volume 38, Issue 1, Pages 29-47, ISSN 0304-3770. https://doi.org/10.1016/0304-3770(90)90097-5.

Bonilla, M.N., Ayala, A., González, S., Santamaría, J.D. y Silva, S.E., (2015). Calidad fisicoquímica del agua del distrito de riego 030 “Valsequillo” para riego agrícola. Revista Iberoamericana de Producción Académica y Gestión Educativa. Vol. 2 Núm. 4 (2015): Julio - diciembre 2015.

Broennimann, O., Thuiller, W., Hughes, G., Midgley, G. F., Alkemade, J. R., y Guisan, A. (2006). Do geographic distribution, niche property and life form explain plants' vulnerability to global change? Global Change Biology, 12(6), 1079-1093.

Bronaugh, D., for the Pacific Climate Impacts Consortium (2014). climdex.pcic.ncdf: Functions to compute CLIMDEX indices over a NetCDF grid.

Bronaugh, D., for the Pacific Climate Impacts Consortium (2020). climdex.pcic: PCIC Implementation of Climdex Routines.

Bruno Soares, M., S. Gagnon, A., y M. Doherty, R. (2012). Conceptual elements of climate change vulnerability assessments: a review. International Journal of Climate Change Strategies and Management, 4(1), 6-35.

Cabrera, M., Leake, J., Naranjo-Torres, J., Valero, N., Cabrera, J. C., y Rodríguez-Morales, A. J., (2022). Dengue Prediction in Latin America Using Machine Learning and the One Health Perspective: A Literature Review. Tropical Medicine and Infectious Disease, 7(10), 322.

Calderón-Hernández, L. M., (2018). Distribución de los vectores del dengue, chikungunya y zika (Aedes aegypti y Aedes albopictus) en el estado de Puebla [Benemérita Universidad Autónoma de Puebla]. https://repositorioinstitucional.buap.mx/items/dbe44c95-7430-40af-92da-b2597a984668.

Calixto-Aguirre Verónica Ivette, H.-L. G. (2018). Consumo de energía en edificios en México. REDALYC.

Calle Díaz, Z. y Murgueitio, E. (2015). Conservación de los suelos ganaderos: un tema pertinente en tiempos de sequía. Engormix. Recuperado de https://www.engormix.com/ganaderia-carne/articulos/conservacion-suelos-ganaderos-tema-t32265.htm.

CAMe – SEMARNAT (2017). Programa de Gestión Federal para Mejorar la Calidad del Aire de la Megalópolis. PROAIRE de la Megalópolis 2017-2030. Disponible en https://framework-gb.cdn.gob.mx/data/institutos/semarnat/Programa_de_Gesti%C3%B3n_Federal_2017-2030_final.pdf.

Cardoza, V. R., Cuevas, F. L., García, C. J. S., Guerrero, H. J. A., González, O. J. C., Hernández, M. H., Lira, Q. M. L., Nieves, F. J. L., Tejeda, S. D. y Vázquez, M. C. M. (2006). Protección, restauración y conservación de suelos forestales. Manual de obras y prácticas. México: CONAFOR.

Carmona-Castro, O., Moo-Llanes, D. A., y Ramsey, J. M., (2018). Impact of climate change on vector transmission of Trypanosoma cruzi (Chagas, 1909) in North America. Medical and veterinary entomology, 32(1), 84-101.

Castellanos-Acuña, D., R. Lindig-Cisneros, and C. Sáenz-Romero (2015). Altitudinal assisted migration of Mexican pines as an adaptation to climate change. Ecosphere 6(1):2.

Catala, S. S., Crocco, L. B., Muñoz, A., Morales, G., Paulone, I., Giraldez, E., ... y Ripol, C., (2004). Entomological aspects of Chagas' disease transmission in the domestic habitat, Argentina. Revista de Saúde Pública, 38(2), 216-222.

Causa, R., Ochoa-Díaz-López, H., Dor, A., Rodríguez-León, F., Solís-Hernández, R., y Pacheco-Soriano, A. L., (2020). Emerging arboviruses (dengue, chikungunya, and Zika) in Southeastern Mexico: influence of socio-environmental determinants on knowledge and practices. Cadernos de Saúde Pública, 36.

Ceccarelli, S., Balsalobre, A., Medone, P., Cano, M. E., Gurgel Gonçalves, R., Feliciangeli, D., ... y Rabinovich, J. E., (2018). DataTri, a database of American triatomine species occurrence. Scientific data, 5(1), 1-9.}

CENAPRED (2022). Sistema de Consulta de Declaratorias 2000 – 2022. Disponible en: http://www.atlasnacionalderiesgos.gob.mx/apps/Declaratorias/.

Centro Mario Molina (2015). Manual para la delimitación de cuencas atmosféricas. CMM. México. 14 pp.

CIMMYT (2021). Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA AGRICULTURA. Disponible en: https://atamexico.com.mx/noticia-de-interes/impacto-del-cambio-climatico-en-la-agricultura/.

COESPO (2022). Perfil sociodemográfico de los Pueblos Indígenas en Puebla. Consejo Estatal de Población-Gobierno del Estado de Puebla-Secretaría de Gobernación del estado de Puebla-Dirección General de Tenencia de la Tierra y Población. Puebla, México. 30

Coetzee, B. W., Robertson, M. P., Erasmus, B. F., Van Rensburg, B. J., y Thuiller, W. (2009). Ensemble models predict Important Bird Areas in southern Africa will become less effective for conserving endemic birds under climate change. Global Ecology and Biogeography, 18(6), 701-710.

Collingham, Y. C., y Huntley, B. (2000). Impacts of habitat fragmentation and patch size upon migration rates. Ecological Applications, 10(1), 131-144.

CONABIO (2011). La Biodiversidad en Puebla: Estudio de Estado. México. 440 pp. Disponible en: https://smadsot.puebla.gob.mx/images/Biodiversidad_en_Puebla2.pdf.

CONABIO (2013). Estrategia para la conservación y uso sustentable de la biodiversidad del estado de Puebla. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad de Puebla. México.

CONABIO (2017). Regiones Terrestres Prioritarias. Disponible en: http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/regionalizacion/doctos/Tlistado.html.

CONABIO (S/A). Información de Sitios Ramsar. Disponible en: https://rsis.ramsar.org/ris/2027 y https://rsis.ramsar.org/ris/1796.

CONABIO AvesMX. (2015). Áreas de Importancia para la Conservación de las Aves (AICAS). Disponible en: http://avesmx.conabio.gob.mx/AICA.html.

CONAFOR (2019). Estado que Guarda el Sector Forestal en México 2019. Comisión Forestal Nacional. 414 páginas.

CONAFOR (2020a). Datos de Inventario. Principales indicadores forestales (Ciclo 2015-2020). Disponible en; https://snmf.cnf.gob.mx/principaleindicadoresforestalesciclo-2015-2020/

CONAFOR (2020b). Diagnóstico Fitosanitario del Estado de Puebla. Comisión Nacional Forestal. 23 páginas.

CONAFOR (2021). El Sector Forestal Mexicano en Cifras. México. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/644967/El_Sector_Forestal_Mexicano_en_Cifras_2020_compressed__1_.pdf.

CONAFOR (2022). Principales Indicadores Forestales (Ciclo 2015-2020). Comisión Forestal Nacional. Disponible en. https://snmf.cnf.gob.mx/principaleindicadoresforestalesciclo-2015-2020/.

CONAFOR (2022a). Información de incendios forestales, cierre estadístico 2022. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/821392/Cierre_de_la_Temporada_2022.pdf.

CONAGUA (2020a). Diagnóstico de la calidad del agua del río Atoyac y sus afluentes, 2012-2020. Informe final. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales-Comisión Nacional el Agua. CDMX, México. 42pp. Recuperado de: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/671046/2_Diagn_stico_de_la_Calidad_del_Agua_del_R_o_Atoyac_y_sus_Afluentes.pdf.

CONAGUA (2020b). Disponibilidad Media Anual de Aguas Subterráneas. DOF 17/09/2020 Disponible en: https://sigagis.conagua.gob.mx/gas1/sections/Edos/puebla/puebla.html.

CONAGUA (2020c). Inventario Nacional de Plantas Municipales de Potabilización y de Tratamiento de Aguas Residuales en Operación. México. 176-182. Disponible en: https://files.conagua.gob.mx/conagua/publicaciones/Publicaciones/SGAPDS-2-22-a.pdf.

CONAGUA (2021). Datos vectoriales de la delimitación de las regiones hidrológicas en escala 1:250 000. Comisión Nacional del Agua. Disponible en: http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=regionesHidrologicas&ver=mapa.

CONAGUA (2021a). Estadísticas del Agua 2021. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales-Comisión Nacional del Agua. CDMX, México. pág. 18

CONAGUA (2021b). Grado de presión sobre el recurso hídrico por Región hidrológico-administrativa. Comisión Nacional del Agua. Disponible en: http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema= gradoPresion&ver=reporte.

CONAGUA (2022). Base de datos del Registro Público de Derechos del Agua (REPDA). Comisión Nacional del Agua. Recuperada de: https://app.conagua.gob.mx/ConsultaRepda.aspx.

CONAGUA (S/A). Normales climatológicas de Puebla, Pue. Periodo 1981-2000. Disponible en: https://es.scrib.com/257536465/hoja-de.datos-Climatologicos-del-estado-de-Puebla.

CONANP (2022). Áreas Destinadas Voluntariamente a la Conservación. Disponible en: https://advc.conanp.gob.mx/listado-de-advc/.

CONANP-PNUD México (2020). Resumen Ejecutivo del Programa de Adaptación al Cambio Climático de la Reserva de la Biosfera Tehuacán-Cuicatlán.

CONANP-PNUD México (2021). Herramienta para la elaboración de Programas de Adaptación al Cambio Climático en Áreas Naturales Protegidas, Segunda Edición. México.

CONANP-SIMEC (S/A). Áreas Naturales Protegidas. Disponible en: http://sig.conanp.gob.mx/.

CONAPO (2018). Proyecciones a mitad de año para la República Mexicana 2016-2050. Disponible en: https://www.gob.mx/conapo/acciones-y-programas/conciliacion-demografica-de-mexico-1950-2015-y-proyecciones-de-la-poblacion-de-mexico-y-de-las-entidades-federativas-2016-2050.

Convention on Access to Information (2001). Public Participation in Decision Making and Access to Justice in Environmental Matters, 1998 come into force.

CRE (28 de febrero de 2022). Registro Nacional de Emisiones. Obtenido de aviso factor de emisión del Sistema Eléctrico Nacional 2021: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/ file/706809/aviso_fesen_2021.pdf

Datos. Mundial (S/A) Clima en Puebla, México. Disponible en: https://www.datosmundial.com/america/mexico/clima-puebla.php.

De Buen R, Odón (2013). La importancia de los edificios como usuarios de energía y las acciones de la CONUEE, Secretaría de Energía, Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía. Obtenido de: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/84265/CONUEEEdificiosAgosto2013.pdf

Defossez, E., Pitteloud, C., Descombes, P., Glauser, G., Allard, P. M., Walker, T. W., ... y Rasmann, S. (2021). Spatial and evolutionary predictability of phytochemical diversity. Proceedings of the National Academy of Sciences, 118(3), e2013344118.

Dieulin, C., Mahé, G., Paturel, J. E., Ejjiyar, S., Tramblay, Y., Rouché, N., y El Mansouri, B. (2019). A new 60-year 1940/1999 monthly-gridded rainfall data set for Africa. Water, 11(2), 387.

DOF (01-12-1992). Ley de Aguas Nacionales. Artículo 3ro. Última Reforma DOF 06-01-2020.

DOF (01-09-1998). Decreto Promulgatorio del Protocolo Adicional a la Convención Americana sobre Derechos Humanos en Materia de Derechos Económicos, Sociales y Culturales "Protocolo de San Salvador", adoptado en la ciudad de San Salvador el 17-11-1988. Publicado en el DOF el 01-09-1998. Disponible en: https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4891682&fecha=01/09/1998#gsc.tab=0.

DOF (04-11-2016). Decreto Promulgatorio del Acuerdo de París, hecho en París el 12-12-2015. Publicado en el DOF el 04-11-2016. Disponible en: https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5459825&fecha=04/11/2016#gsc.tab=0.

DOF (11-04-2022). Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente. Última reforma publicada en el DOF el 11-04-2022. Disponible en: https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGEEPA.pdf.

DOF (11-05-2022). Ley General de Cambio Climático. Última reforma publicada en el DOF el 11-05-2022. Disponible en: https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LGCC.pdf.

DOF (12-05-1981). Decreto Promulgatorio del Pacto Internacional de Derechos Económicos, Sociales y Culturales, abierto a firma en la Ciudad de Nueva York, E.U.A., el 19-12-1966. Publicado en el DOF el 12-05-1981. Disponible en: https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=4646611&fecha=12/05/1981#gsc.tab=0.

DOF (17/09/2020). ACUERDO por el que se actualiza la disponibilidad media anual de agua subterránea de los 653 acuíferos de los Estados Unidos Mexicanos, mismos que forman parte de las regiones hidrológico-administrativas que se indican. Diario Oficial de la Federación. Recuperado de: https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5600593&fecha=17/09/2020&print=true

DOF (2021). Programa Especial de Cambio Climático 2021-2024. Comisión Intersecretarial de Cambio Climático. Disponible en https://dof.gob.mx/2021/SEMARNAT/SEMARNAT_081121_EV.pdf.

DOF (22-04-2021). Decreto Promulgatorio del Acuerdo Regional sobre el Acceso a la Información, la Participación Pública y el Acceso a la Justicia en Asuntos Ambientales en América Latina y el Caribe, hecho en Escazú, Costa Rica el 04-03-2018. Publicado en DOF el 22-04-2021. Disponible en: https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5616505&fecha=22/04/2021#gsc.tab=0.

DOF (28-05-2021). Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, Última reforma publicada en el Diario Oficial de la Federación el 28-05-2021. Disponible en: https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/CPEUM.pdf.

DOF (28-10-2014). Reglamento de la Ley General de Cambio Climático en materia del Registro Nacional de Emisiones. Publicado en el DOF el 28-10-2014. Disponible en: https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/agenda/DOFsr/DO3452.pdf.

DOF (30-11-2018). Decreto Promulgatorio de la Enmienda del Protocolo de Montreal relativo a las Sustancias que Agotan la Capa de Ozono, aprobada en Kigali el 15 de octubre de 2016. Publicado en el DOF el 30-11-2018. Disponible en: https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5545338&fecha=30/11/2018#gsc.tab=0.

Donat, M. G., Alexander, L. V., Yang, H., Durre, I., Vose, R., Dunn, R. J., ... y Kitching, S. (2013). Updated analyses of temperature and precipitation extreme indices since the beginning of the twentieth century: The HadEX2 dataset. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 118(5), 2098-2118.

Dunford, R., Harrison, P. A., Jäger, J., Rounsevell, M. D. A., y Tinch, R. (2015). Exploring climate change vulnerability across sectors and scenarios using indicators of impacts and coping capacity. Climatic Change, 128, 339-354.

Dunn, R. J., Alexander, L. V., Donat, M. G., Zhang, X., Bador, M., Herold, N., ... y Bin Hj Yussof, M. N. A. (2020). Development of an updated global land in situ-based data set of temperature and precipitation extremes: HadEX3. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 125(16), e2019JD032263.

Durre, I., Menne, M. J., Gleason, B. E., Houston, T. G., y Vose, R. S. (2010). Comprehensive automated quality assurance of daily surface observations. Journal of Applied Meteorology and Climatology, 49(8), 1615-1633.

El Economista (2022). Puebla destinará 72 millones de pesos para productores afectados por la sequía. Disponible en: https://www.eleconomista.com.mx/estados/Puebla-destinara-72-millones-de-pesos-para-productores-afectados-por-la-sequia-20220726-0114.html.

Estrada, F., Calderón-Bustamante, O., Botzen, W., Velasco, J. A., y Tol, R. S. (2022). AIRCC-Clim: a user-friendly tool for generating regional probabilistic climate change scenarios and risk measures. Environmental Modelling & Software, 157, 105528.

Evans, J. P., Ji, F., Abramowitz, G., y Ekström, M. (2013). Optimally choosing small ensemble members to produce robust climate simulations. Environmental Research Letters, 8(4), 044050.

FAO (2007). Secuestro de carbono en tierras áridas. Informes sobre recursos mundiales de suelos. Recuperado de: http://www.fao.org/3/a-Y5738s.pdf

FAO (s/f). La organización de los productores en el contexto de la globalización: la experiencia de la confederación nacional ganadera. Recuperado de: http://www.fao.org/docrep/007/AD727S/AD727S05.htm. Consultado en agosto 2018.

Fernández, E. A., Zavala, H. J., Romero, C. R., Conde, A. A. C., y Trejo, V. I. (2015). Actualización de los escenarios de cambio climático para estudios de impactos, vulnerabilidad y adaptación en México y Centroamérica. Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM, Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, SEMARNAT e Instituto de Geografía, UNAM.

Fernández, M., Gaspe, M. S., y Gürtler, R. E., (2019). Inequalities in the social determinants of health and Chagas disease transmission risk in indigenous and creole households in the Argentine Chaco. Parasites & vectors, 12(1), 1-18.

Fick, S. E., y Hijmans, R. J. (2017). WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. International journal of climatology, 37(12), 4302-4315.

Fitzpatrick, M. C., & Dunn, R. R. (2019). Contemporary climatic analogs for 540 North American urban areas in the late 21st century. *Nature communications*, *10*(1), 1-7.

Folke, C. (2006). Resilience: The emergence of a perspective for social–ecological systems analyses. Global environmental change, 16(3), 253-267.

Fonseca-Portilla, R., Martínez-Gil, M., y Morgenstern-Kaplan, D., (2021). Risk factors for hospitalization and mortality due to dengue fever in a Mexican population: a retrospective cohort study. International Journal of Infectious Diseases, 110, 332-336.

Forzieri, G., Girardello, M., Ceccherini, G., Spinoni, J., Feyen, L., Hartmann, H., ... y Cescatti, A. (2021). Emergent vulnerability to climate-driven disturbances in European forests. Nature communications, 12(1), 1-12.

Franklin, J. (2010). Mapping Species Distributions: Spatial Inference and Prediction Ecology, Biodiversity and Conservation. Cambridge University Press.

GACETA UNAM (2021). Mitos y Realidades del Volcán Popocatépetl. Disponible en: https://www.gaceta.unam.mx/mitos-y-realidades-del-popocatepetl/.

Gao, J. (2020). Global 1-km Downscaled Population Base Year and Projection Grids Based on the Shared Socioeconomic Pathways, Revision 01. Palisades, New York: NASA Socioeconomic Data and Applications Center (SEDAC).

Garza, M., Feria Arroyo, T. P., Casillas, E. A., Sanchez-Cordero, V., Rivaldi, C. L., y Sarkar, S., (2014). Projected future distributions of vectors of Trypanosoma cruzi in North America under climate change scenarios. PLoS neglected tropical diseases, 8(5), e2818.

Gobierno de México, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) e Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). (2022). México: Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero, 1990-2019. Publicado por Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales e Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, CDMX, México. pág 122-124. Recuperado de: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/737226/156_2022_INEGYCEI_1990-2019_NIR.pdf.

Gobierno de la República (2013). Estrategia Nacional de Cambio Climático, visión 10-20-40, Primera edición junio 2013. Disponible en https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/41978/Estrategia-Nacional-Cambio-Climatico-2013.pdf.

Gobierno de la República (2015). Compromisos de mitigación y adaptación ante el cambio climático para el periodo 2020-2030. Gobierno de México, 21 pp.

Gobierno de la República (2018). SEMARNAT. Estrategia Nacional de Calidad del Aire, visión 2017-2030 Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/195809/Estrategia_Nacional_Calidad_del_Aire.pdf.

Gobierno del Estado de Puebla (2011). Síntesis de la Estrategia de Mitigación y Adaptación del Estado Ante el Cambio Climático. México. 351 pp. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/316850/Estrategia_de_Mitigaci_n_y_Adaptaci_n_Puebla-min.pdf.

Gobierno del Estado de Puebla (2012a). Plan de Acción Climática del municipio de Puebla. ICLEI, Gobierno del Estado de Puebla, Embajada Británica, SEMARNAT. México. 142 pp.

Gobierno del Estado de Puebla (2012b). Programa de Gestión de la Calidad del Aire 2012-2020 (ProAire). Disponible en: https://dsiappsdev.semarnat.gob.mx/datos/portal/proaire/10_ProAire%20Puebla.pdf

Gobierno del Estado de Puebla (2014). Coordinación de Transparencia y Gobierno Abierto. Obtenido de Recursos 20140731 Datos estadísticos educación media superior: https://datos.puebla.gob.mx/datos/secundarias-publicas-estado-puebla-20151231-geojson.

Gobierno del Estado de Puebla (2015). Coordinación de Transparencia y Gobierno Abierto. Obtenido de Recursos 20151231 Datos estadísticos Secundarias Públicas de estado de Puebla: https://datos.puebla.gob.mx/datos/secundarias-publicas-estado-puebla-20151231-geojson.

Gobierno del Estado de Puebla (2022a). Datos de monitoreo de la Calidad del Aire de la REMA. Disponible en https://calidaddelaire.puebla.gob.mx/views/principal.php

Gobierno del Estado de Puebla (2022b). Reporte Especial de Sequía, Riesgos Climáticos, Incendios, Calidad del Aire y Seguridad del Agua del estado de Puebla. Disponible en: https://www.puebla.gob.mx/images/tramites-y-servicios/162/ReporteEspecialcorteal040422.pdf.

Gobierno del estado de Puebla, 17 de noviembre de 2022. Acuerdo de la Secretaria de Medio Ambiente, Desarrollo Sustentable y Ordenamiento Territorial, por el que expide el Programa de Verificación Vehicular Obligatoria para los meses de Octubre, Noviembre y Diciembre de 2022. Disponible en https://periodicooficial.puebla.gob.mx/media/k2/attachments/T_2_E_V_17102022_C.pdf.

Granados-Sánchez, D., López-Ríos, G. F. y Gama-Flores, J. L (1998). Adaptaciones y estrategias de las plantas de zonas áridas. Revista Chapingo Serie Ciencias

Forestales y del Ambiente. Recuperado de: http://revistas.chapingo.mx/revistas/revistas/articulos/doc/rchscfaIV2148.pdf.

Grijalva, M. J., Villacis, A. G., Ocaña-Mayorga, S., Yumiseva, C. A., Moncayo, A. L., y Baus, E. G., (2015). Comprehensive survey of domiciliary triatomine species capable of transmitting Chagas disease in southern Ecuador. PLoS neglected tropical diseases, 9(10), e0004142.

Guitérrez, E., y Trejo, I. (2014). Efecto del cambio climático en la distribución potencial de cinco especies arbóreas de bosque templado en México. Revista mexicana de biodiversidad, 85(1), 179-188.

Gumel, D. Y. (2022). Assessing climate change vulnerability: A conceptual and theoretical review. Journal of Sustainability and Environmental Management, 1(1), 22-31.

Gustafson, E. J., y Parker, G. R., (1994). Using an index of habitat patch proximity for landscape design. Landscape and urban planning, 29(2-3), 117-130.

Hallegatte, S. (2009). Strategies to adapt to an uncertain climate change. Global environmental change, 19(2), 240-247.

Hamra, G. B., Guha, N., Cohen, A., Laden, F., Raaschou-Nielsen, O., Samet, J. M., Vineis, P., Forastiere, F., Saldiva, P., Yorifuji, T., & Loomis, D., (2014). Outdoor Particulate Matter Exposure and Lung Cancer: A Systematic Review and Meta-Analysis. Environmental Health Perspectives, 122(9), 906–911. https://doi.org/10.1289/ehp/1408092.

Hausfather Z. (2019). CMIP6: the next generation of climate models explained. Carbonbrief clear on climate. Recuperado el 09 de diciembre de 2021 en https://www.carbonbrief.org/cmip6-the-next-generation-of-climate-models-explained .

Haylock, M. R., Hofstra, N., Klein Tank, A. M. G., Klok, E. J., Jones, P. D., y New, M. (2008). A European daily high-resolution gridded data set of surface temperature and precipitation for 1950–2006. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 113(D20).

Health Effects Institute (HEI) (2002). Understanding the Health Effects of Components of the Particulate Matter Mix: Progress and Next Steps. HEI Perspectives [en línea]. Abril 2002 [citado 8 de julio de 2002]. Disponible en internet: www.healtheffects.org/Pubs/Perspectives-2.pdf

Henry, S. y Mendonça, F. D. A., (2020). Past, present, and future vulnerability to dengue in Jamaica: a spatial analysis of monthly variations. International Journal of Environmental Research and Public Health, 17(9), 3156.

Hernández Cerda, M. E., Carrasco Anaya, G. y Alfaro Sánchez, G. (2007). Mitos y realidades de la sequía en México. México: Instituto de Geografía, UNAM. Disponible en: http://www.publicaciones.igg.unam.mx/index.php/ig/catalog/view/128/121/419-1

Hersbach, H., Bell, B., Berrisford, P., Hirahara, S., Horányi, A., Muñoz-Sabater, J., ... y Thépaut, J. N. (2020). The ERA5 global reanalysis. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 146(730), 1999-2049.

Hinds, W. (1982). Aerosol Technology. Properties, Behavior, and Measurement of Airborne Particles. John Wiley & Sons, EE.UU.

Hoek, G., Krishnan, R. M., Beelen, R., Peters, A., Ostro, B., Brunekreef, B., & Kaufman, J. D., (2013). Long-term air pollution exposure and cardio- respiratory mortality: a review. Environmental Health, 12(1), 43. https://doi.org/10.1186/1476-069X-12-43

Hoffmann, S., y Beierkuhnlein, C. (2020). Climate change exposure and vulnerability of the global protected area estate from an international perspective. Diversity and Distributions, 26(11), 1496-1509.

Hovmöller, E. (1949). The trough-and-ridge diagram. Tellus, 1(2), 62-66.

Hurtado, L. A., Calzada, J. E., Pineda, V., González, K., Santamaría, A. M., Cáceres, L., ... y Saldaña, A., (2014). Conocimientos y factores de riesgo relacionados con la enfermedad de Chagas en dos comunidades panameñas donde Rhodnius pallescens es el vector principal. Biomédica, 34(2), 260-270.

IGAVIM (2022). Diagnóstico de sitios de disposición final de residuos sólidos urbanos, estado de Puebla, agosto 2021. Disponible en: http://igavim.org/Documentos%20Generados/Documentos%20Generales/2020%20DiagnosticoSDFRSU.pdf.

INAFED (s/f). Guía técnica. Prevención y atención de contingencias a nivel municipal. México: Instituto Nacional para el Federalismo y el Desarrollo Municipal.

INCIMEX (12 de enero de 2014). www.incimex.mx. Obtenido de http://www.incimex.com.mx/wow/d_tec/it_Cremator_Ec-60.pdf.

INE, (2012). Guía para evaluar los impactos en la salud por la instrumentación de medidas de control de la contaminación atmosférica (Primera). INE-SEMARNAT. http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/consultaPublicacion.html?id_pub=682.

INECC (2016). Regional level market analysis of the construction sector and pilot project based on a public policy portfolio in order to reduced SLCP of traditional

brickyards in Mexico. Final report. National Institute of Ecology and Climate Change (INECC). México

INECC (2019a). Atlas Nacional de Vulnerabilidad al Cambio Climático México. 1ª. Edición (libro electrónico). Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. México. Disponible en: https://atlasvulnerabilidad.inecc.gob.mx/page/fichas/ANVCC_LibroDigital.pdf.

INECC (2019b). Estado de la Calidad del Aire en México, Artículo de J. Víctor Hugo Páramo Figueroa, Coordinador General de Contaminación y Salud Ambiental, del INECC. Disponible en: https://www.gob.mx/inecc/articulos/estado-de-la-calidad-del-aire-en-mexico?idiom=es.

INECC (2022). Información al Sistema Nacional de Información de la Calidad del Aire (SINAICA). Disponible en: https://sinaica.inecc.gob.mx/

INECC (2022). López-Díaz F., Nava Assad Y.S., Rojas Barajas, M., González Terrazas D.I. Guía de Escenarios de Cambio Climático para Tomadores de Decisiones. pp 65.

INECC-SEMARNAT (2013). Monitoreo de las Emisiones del Volcán Popocatépetl. Determinación de los niveles de concentración de partículas suspendidas, óxidos de azufre y parámetros meteorológicos en zonas potencialmente impactadas que se encuentren fuera de la cobertura de los sistemas de monitoreo. México. 16 pp.

INEGI (2000). Síntesis Geográfica del estado de Puebla. 6. Hidrología: Disponible en: http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/historicos/2104/702825222949/702825222949_12.pdf.

INEGI (2010). Censo Nacional de Población y Vivienda 2010. Disponible en: https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2010/.

INEGI (2013). Producto Interno Bruto por Entidad Federativa (PIBE), Base 2013. Disponible en: https://www.inegi.org.mx/programas/pibent/2013/

INEGI (2017a). Anuario Estadístico y Geográfico de Puebla. México. Disponible en: http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/anuarios_2017/702825094973.pdf.

INEGI (2017b). Carta de Uso de Suelo y Vegetación, Escala 1:250 000- Serie IV. Disponible en: https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=889463173359

INEGI (2018). Conjunto de datos vectoriales de uso del suelo y vegetación. Escala 1:250 000. Serie VII. Conjunto Nacional. Instituto Nacional de Estadística y Geografía.

INEGI, (2019). Defunciones registradas (mortalidad general). Información de 1990 a 2020. https://www.inegi.org.mx/sistemas/olap/Proyectos/bd/continuas/mortalidad/MortalidadGeneral.asp.

INEGI (2020a). Censo Nacional de Población y Vivienda. (Última actualización 16 de marzo de 2021), Disponible en: https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/

INEGI (2020b). División municipal en el Marco Geoestadístico Nacional.

INEGI (2020c). Información de México; Número de habitantes por municipio estado de Puebla. Disponible en: https://www.cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/pue/poblacion/default.aspx.

INEGI (2021a). Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas.

INEGI (2021b). Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares 2020 (ENIGH). Disponible en: https://www.inegi.org.mx/contenidos/programas/enigh/nc/2020/doc/enigh2020_ns_presentacion_resultados.pdf

INEGI (2021c). Red Nacional de Caminos (RNC) 2021. Sistema Nacional de Estadística y Geográfica. Instituto Nacional de Estadística y Geografía.

INEGI (2021d). Vehículos de motor registrados en circulación, Información de 1980 a 2021. Disponible en: https://www.inegi.org.mx/sistemas/olap/Proyectos/bd/continuas/transporte/vehiculos.asp?s=est+.

INEGI (2022). Encuesta Nacional de Ocupación y Empleo (ENOE), actualización mayo 2022. Cifras al cuarto trimestre de cada año. Disponible en: https://www.inegi.org.mx/programas/enoe/15ymas/

INEGI (23 de abril de 2021). Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Obtenido de INEGI: https://www.inegi.org.mx/contenidos/programas/ricpzmp/2020/doc/resultados_ricpzmp.pdf.

INEGI (S/A). México en Cifras: Disponible en: https://www.inegi.org.mx/app/areasgeograficas/#collapse-Resumen.

INEGI (S/A). Puebla relieve. Disponible en: https://cuentame.inegi.org.mx/mapas/pdf/entidades/relieve/puerel_byn_n.pdf

INIFAP (2012). Potencial productivo de especies agrícolas de importancia socioeconómica en México. Instituto Nacional de Investigaciones forestales, agrícolas y pecuarias. Publicación especial No. 8.

IPCC (2007). Climate Change. Impact, Adaptation and Vulnerability. Fourth Assessment Report (AR4).

IPCC (2013). Summary for Policymakers. En: Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex y P.M. Midgley (Eds.) Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

IPCC (2021). Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, y B. Zhou (Eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2391 pp.

IPCC (2022). Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (Eds.)]. Cambridge University Press. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 3056 pp.

Joyce, L. A., y Coulson, D. P. (2020). Climate scenarios and projections: A technical document supporting the USDA Forest Service 2020 RPA Assessment.

Kendalll, M.G. (1975). Rank correlation methods. Griffin, Londres.

Khan, S. U., Ogden, N. H., Fazil, A. A., Gachon, P. H., Dueymes, G. U., Greer, A. L., y Ng, V., (2020). Current and Projected Distributions of Aedes aegypti and Ae. albopictus in Canada and the US. Environmental health perspectives, 128(5), 057007.

Kling, M. M., Auer, S. L., Comer, P. J., Ackerly, D. D., y Hamilton, H. (2020). Multiple axes of ecological vulnerability to climate change. Global Change Biology, 26(5), 2798-2813.

Knutti, R., Furrer, R., Tebaldi, C., Cermak, J., y Meehl, G. A. (2010). Challenges in combining projections from multiple climate models. Journal of Climate, 23(10), 2739-2758.

Krewski, D., Jerrett, M., Burnett, R. T., Ma, R., Hughes, E., Shi, Y., Turner, M. C., Pope, C. A., Thurston, G., Calle, E. E., Thun, M. J., Beckerman, B., DeLuca, P., Finkelstein, N., Ito, K., Moore, D. K., Newbold, K. B., Ramsay, T., Ross, Z. Kriegler, E., O'Neill, B. C., Hallegatte, S., Kram, T., Lempert, R. J., Moss, R. H., y Wilbanks, T. (2012). The need for and use of socio-economic scenarios for climate change analysis: a new approach based on shared socio-economic pathways. Global Environmental Change, 22(4), 807-822.

Kumar, M., Kalra, N., Singh, H., Sharma, S., Rawat, P. S., Singh, R. K., ... y Ravindranath, N. H. (2021). Indicator-based vulnerability assessment of forest ecosystem in the Indian Western Himalayas: An analytical hierarchy process integrated approach. Ecological Indicators, 125, 107568.

Laiti, L., Mallucci, S., Piccolroaz, S., Bellin, A., Zardi, D., Fiori, A., ... y Majone, B. (2018). Testing the hydrological coherence of high-resolution gridded precipitation and temperature data sets. Water Resources Research, 54(3), 1999-2016.

Ledien, J., Cucunubá, Z. M., Parra-Henao, G., Rodríguez-Monguí, E., Dobson, A. P., Basáñez, M. G., y Nouvellet, P., (2022). Spatiotemporal variations in exposure: Chagas disease in Colombia as a case study. BMC medical research methodology, 22(1), 1-12.

Lepeule, J., Laden, F., Dockery, D., & Schwartz, J., (2012). Chronic exposure to fine particles and mortality: an extended follow-up of the Harvard Six Cities study from 1974 to 2009. Environ Health Perspect, 120(7), 965–970. https://doi.org/10.1289/ehp.1104660.

Lippmann, M. (1989). Size-Selective Health Hazard Sampling, En: S.V. Hering (Tech. Ed.) Air Sampling Instruments for Evaluation of Atmospheric Contaminants, Seventh Edition. American Conference of Governmental Industrial Hygienists, Ohio, pp.163-198.

López-Villegas, M. T., & Pérez-Rivas, I. K., (2014). Valoración económica de los beneficios a la salud de la población que se alcanzarían por la reducción de las PM2.5 en tres zonas metropolitanas mexicanas. http://www.inecc.gob.mx/descargas/dgicur/2014_pm2.5_ccsa_inecc.pdf.

Lovejoy, T., E. y Hannah, L. (2019). Biodiversity and Climate Change: Transforming the Biosphere. Yale University Press.

Lutz, A. F., ter Maat, H. W., Biemans, H., Shrestha, A. B., Wester, P., y Immerzeel, W. W. (2016). Selecting representative climate models for climate change impact studies: an advanced envelope-based selection approach. International Journal of Climatology, 36(12), 3988-4005.

Lubinda, J., Walsh, M. R., Moore, A. J., Hanafi-Bojd, A. A., Akgun, S., Zhao, B., ... y Haque, U., (2019). Environmental suitability for Aedes aegypti and Aedes albopictus and the spatial distribution of major arboviral infections in Mexico. Parasite epidemiology and control, 6, e00116.

LX Legislatura del Honorable Congreso del estado de Puebla (2019). Recuperado de: https://www.congresopuebla.gob.mx/index.php?option=com_k2&view=item&task=download&id=32201.

Mann, H. B. (1945). Nonparametric tests against trend. Econometrica: Journal of the econometric society, 245-259.

Martínez, P., Patiño, C., Montero, M.J., Pérez, J.L. Ojeda, W., Mundo, M. y Hernández, L. (2010). 19. Efectos del cambio climático en los recursos hídricos. En: Jiménez, B., Torregrosa, M.L. y Aboites, L. (2010). El agua en México: cauces y encauces. Academia Mexicana de Ciencias-Comisión Nacional del Agua. CDMX, México. págs. 529-562.

McGarigal, K., y Marks, B. J. (1995). Spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-351. US Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station, 1-122.

Medina, S., le Tertre, A., Saklad, M., & on behalf of the Apheis Collaborative Network, on behalf of the A. C., (2009). The Apheis project: Air Pollution and Health-A European Information System. Air Quality, Atmosphere, & Health, 2(4), 185–198. https://doi.org/10.1007/s11869-009-0050-2.

Medone, P., Ceccarelli, S., Parham, P. E., Figuera, A., y Rabinovich, J. E., (2015). The impact of climate change on the geographical distribution of two vectors of Chagas disease: implications for the force of infection. Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, 370(1665), 20130560.

Melo, C. M., Cruz, A. C. F., Lima, A. F. V., Silva, L. R., Madi, R. R., Jeraldo, V. D. L. S., y Mercado, R., (2018). Triatomine fauna and recent epidemiological dynamics of Chagas disease in an endemic area of northeast Brazil. Canadian Journal of Infectious Diseases and Medical Microbiology, 2018.

Méndez, G. J., Návar, C. J. J. y González, O. V. (2008). Análisis de tendencias de precipitación (1920-2004) en México. Investigaciones Geográficas. Boletín del Instituto de Geografía UNAM 65:38. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-46112008000100004

Mohammad, N., & Farjana, Y. (2018). *Participation as a Human Right: A Rights-based Approach to Development. Developments in Corporate Governance and Responsibility, 33–45.* doi:10.1108/s2043-052320180000014002

Mora Granados Naylea Kassanra, Martínez Patiño Jesús (2017), Jóvenes en la ciencia, Revista de divulgación científica, Obtenido de ANÁLISIS DEL USO-CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN ESTUDIANTES DE NIVEL MEDIO SUPERIOR: https://www.jovenesenlaciencia.ugto.mx/index.php/jovenesenlaciencia/article/view/2054/1549.

Nadadur, S. S., & Hollingsworth, J. W., (2015). Air Pollution and Health Effects (M. and I. Toxicology, Ed.; 1st ed.). Humana Press.

Neira Méndez, F. H. (2006). Assessment of climate indices in drylands of Colombia. Belgica: Universiteit Gent. Disponible en: http://www.cazalac.org/publico/fileadmin/templates/documentos/Thesis_Soil/Thesis_Fredy_final.pdf.

Nissan, H., Goddard, L., de Perez, E. C., Furlow, J., Baethgen, W., Thomson, M. C., y Mason, S. J. (2019). On the use and misuse of climate change projections in international development. Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change, 10(3), e579.

NOM-020-SSA1-2021. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto al ozono (O_3). Disponible en: https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5633956&fecha=28/10/2021#gsc.tab=0

NOM-021-SSA1-2021. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto al monóxido de carbono (CO). Disponible en: https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5634084&fecha=29/10/2021#gsc.tab=0.

NOM-022-SSA1-2019. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto al dióxido de azufre (SO_2). Disponible en: https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5568395&fecha=20/08/2019#gsc.tab=0.

NOM-023-SSA1-2021. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto al dióxido de nitrógeno (NO_2). https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5633854&fecha=27/10/2021#gsc.tab=0.

NOM-025-SSA1-2021. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto a las partículas suspendidas PM_{10} y $PM_{2.5}$. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5633855&fecha=27/10/2021#gsc.tab=0.

OEA (2008). Guía Conceptual y Metodológica para el Diseño de Esquemas de Pagos por Servicios Ambientales en Latino-América y el Caribe. Documento borrador. Estados Unidos: Organización de los Estados Americanos. Departamento de Desarrollo sostenible.

OMS, (2022ª). Dengue y dengue grave. Dengue y Dengue Grave. https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/dengue-and-severe-dengue.

OMS, (2022b). La enfermedad de Chagas (tripanosomiasis americana). La Enfermedad de Chagas (Tripanosomiasis Americana). https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/chagas-disease-(american-trypanosomiasis).

O'Neill, B. C., Tebaldi, C., Van Vuuren, D. P., Eyring, V., Friedlingstein, P., Hurtt, G., ... y Sanderson, B. M. (2016). The scenario model intercomparison project (ScenarioMIP) for CMIP6. Geoscientific Model Development, 9(9), 3461-3482.

ONU (2020). Acción por el clima: ¿Qué es el cambio climático? Disponible en: https://www.un.org/es/climatechange/what-is-climate-change.

ONU (2020). El cambio climático es más mortal que el coronavirus. Disponible en: https://news.un.org/es/story/2020/03/1470901.

ONU (28 de marzo de 2019). Miles de muertos, millones de desplazados... los efectos del cambio climático se aceleran. Noticias ONU.

ONU-Agua (2019). Informe de políticas de la ONU-AGUA sobre el Cambio Climático y el Agua. Grupo de Expertos de la ONU-Agua sobre el Agua y el Cambio Climático. Recuperado de: https://www.unwater.org/sites/default/files/app/uploads/2019/12/UN-Water_PolicyBrief_Water_Climate-Change_ES.pdf.

ONU-Agua (2022). Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2022. Aguas subterráneas hacer visible el recurso invisible. Resumen ejecutivo. Grupo de Expertos de la ONU-Agua sobre el Agua y el Cambio Climático- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO). 12 pp.

ONU-Agua. (2019). Informe de políticas de ONU-Agua sobre el Cambio Climático y el Agua. Grupo de Expertos de ONU-Agua sobre el Agua y el Cambio Climático. Recuperado de: https://www.unwater.org/sites/default/files/app/uploads/2019/12/UN-Water_PolicyBrief_Water_Climate-Change_ES.pdf.

Pacifici, M., Foden, W. B., Visconti, P., Watson, J. E., Butchart, S. H., Kovacs, K. M., ... y Rondinini, C. (2015). Assessing species vulnerability to climate change. Nature climate change, 5(3), 215-224.

Parry, M., Parry, M. L., Canziani, O., Palutikof, J., Van der Linden, P., y Hanson, C. (Eds.). (2007). Climate change 2007-impacts, adaptation and vulnerability: Working group II contribution to the fourth assessment report of the IPCC. Cambridge University Press.

Pasquier-Merino, A. G. (2014). La participación de los actores locales en iniciativas de desarrollo rural: desigualdad y negociación del poder en las interacciones cotidianas. Tesis de Doctorado. Centro de Estudios Sociológicos, El Colegio de México.

Pérez, S. M., Hernández Meléndrez, E., y Rodríguez Cabrera, A., (2011). La enfermedad de Chagas como un rezago social en salud. Revista Cubana de Salud Pública, 37(1).

Periódico Oficial del Estado (09-04-2021). Ley de Cambio Climático para el Estado de Puebla. Última reforma publicada en el Periódico Oficial del Estado el 09-04-2021. Disponible en: https://ojp.puebla.gob.mx/media/k2/attachments/Ley_de_Cambio_Climatico_del_Estado_de_Puebla_09abr2021.pdf.

Periódico Oficial del Estado (14-01-2020). Ley de Planeación para el Desarrollo del Estado de Puebla. Última reforma publicada en el Periódico Oficial del Estado el 14-01-2020. Disponible en: https://ojp.puebla.gob.mx/media/k2/attachments/Ley_de_Planeacion_para_el_Desarrollo_del_Estado_de_Puebla_14012020.pdf.

Periódico Oficial del Estado (21-10-2022). Ley para la Protección del Ambiente Natural y el Desarrollo Sustentable del Estado de Puebla. Última reforma publicada en el Periódico Oficial del Estado el 21-10-2022. Disponible en: https://ojp.puebla.gob.mx/media/k2/attachments/Ley_para_la_Proteccion_del_Ambiente_Natural_y_el_Desarrollo_Sustentable_del_Estado_de_Puebla_EV_21102022_2.pdf.

Periódico Oficial del Estado (24-10-2022). Constitución Política del Estado Libre y Soberano de Puebla. Última reforma publicada en el Periódico Oficial del Estado el 24-10-2022. Disponible en: https://ojp.puebla.gob.mx/media/k2/attachments/Constitucion_Politica_del_Estado_Libre_y_Soberano_de_Puebla_EV_06062023.pdf.

Pierce, D. W., Barnett, T. P., Santer, B. D., y Gleckler, P. J. (2009). Selecting global climate models for regional climate change studies. Proceedings of the National Academy of Sciences, 106(21), 8441-8446.

PNT (2021). Plataforma Nacional de Transparencia. Obtenido de Plataforma Nacional de Transparencia: https://www.plataformadetransparencia.org.mx/

Pope, C. A., Burnett, R. T., Thurston, G. D., Thun, M. J., Calle, E. E., Krewski, D., & Godleski, J. J., (2004). Cardiovascular mortality and long-term exposure to particulate air pollution: epidemiological evidence of general pathophysiological pathways of disease. Circulation, 109(1), 71–77. https://doi.org/10.1161/01.CIR.0000108927.80044.7F.

Pope III, C. A., & Dockery, D. W., 2006. Health Effects of Fine Particulate Air Pollution: Lines that Connect. Journal of the Air & Waste Management Association, 56(January 2015), 709–742. https://doi.org/10.1080/10473289.2006.10464485.

Portugal, M., de La Cruz, M., García, P., Juárez, S., & Emma, N., (2015). Consumo de leña: reto económico o ambiental. 2o Congreso Nacional AMICA 2015 CONSUMO.

Pörtner, H. O., Scholes, R. J., Agard, J., Archer, E., Arneth, A., Bai, X., ... y Ngo, H. T. (2021). IPBES-IPCC co-sponsored workshop report on biodiversity and climate change. IPBES and IPCC, 28.

Preston, B. L., Yuen, E. J., y Westaway, R. M. (2011). Putting vulnerability to climate change on the map: a review of approaches, benefits, and risks. Sustainability science, 6, 177-202.

R Core Team (2022). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.

Raupach, T.H., Martius, O., Allen, J.T. *et al.* The effects of climate change on hailstorms. *Nat Rev Earth Environ* 2, 213–226 (2021). https://doi.org/10.1038/s43017-020-00133-9.

Riahi, K., Van Vuuren, D. P., Kriegler, E., Edmonds, J., O'neill, B. C., Fujimori, S., ... y Tavoni, M. (2017). The Shared Socioeconomic Pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications: An overview. Global environmental change, 42, 153-168.

Rojas Bracho, Leonora; Garibay Bravo, Verónica Las partículas suspendidas, aeropartículas o aerosoles: ¿hacen daño a la salud?; ¿podemos hacer algo? Gaceta Ecológica, núm. 69, octubre-diciembre, (2003), pp. 29-44, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Distrito Federal, México. Disponible en: https://www.redalyc.org/pdf/539/53906902.pdf.

Rojas, K., (2015). Mal de Chagas y factores geográficos. Propuesta de zonificación del riesgo epidemiológico, municipio Araure, Estado Portuguesa. Venezuela. Terra. Nueva Etapa, 31(50), 109-129.

Rojo-Medina, J., Ruiz-Matus, C., Salazar-Schettino, P. M., & González-Roldán, J. F., (2018). Enfermedad de Chagas en México. Gaceta Medica de México, 154(5), 605–612. https://doi.org/10.24875/GMM.18004515.

Rocklöv, J., y Dubrow, R., (2020). Climate change: an enduring challenge for vector-borne disease prevention and control. Nature immunology, 21(5), 479-483.

Russell, D. J., Wanless, S., Collingham, Y. C., Huntley, B., y Hamer, K. C. (2015). Predicting future European breeding distributions of British seabird species under climate change and unlimited/no dispersal scenarios. Diversity, 7(4), 342-359.

Sáenz-Romero, Cuauhtémoc, Lindig-Cisneros, Roberto A., Joyce, Dennis G., Beaulieu, Jean, St. Clair, J. Bradley, & Jaquish, Barry C. (2016). Assisted migration of forest populations for adapting trees to climate change. Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente, 22(3), 303-323.

SAGARPA (2018). Componente Atención a Siniestros Agropecuarios 2018. Recuperado de: https://www.gob.mx/sagarpa/acciones-y-programas /componente-atencion-a-siniestros-agropecuarios-2018.

San José R., Pérez J.L., González R.M., Pecci J., Garzón A., y Palacios M. (2016). Impacts of the 4.5 and 8.5 RCP global climate scenarios on urban meteorology and air quality: Application to Madrid, Antwerp, Milan, Helsinki and London. Journal of Computational and Applied Mathematics. Volume 293. 192-207 pp. ISSN 0377-0427. Disponible en: https://doi.org/10.1016/j.cam.2015.04.024.

Sánchez, S. N. y Garduño, L. R. (2008). Algunas consideraciones acerca de los sistemas de clasificación climática. ContactoS 68:5-10

Santoso, H., Idinoba, M., y Imbach, P. A. (2008). Climate Scenarios: What we need to know and how to generate them. Working paper no. 45. Bogor, Indonesia: Center for International Forestry Research (CIFOR). 27 p.

Sayre, R., Karagulle, D., Frye, C., Boucher, T., Wolff, N. H., Breyer, S., ... y Possingham, H. (2020). An assessment of the representation of ecosystems in global protected areas using new maps of World Climate Regions and World Ecosystems. Global Ecology and Conservation, 21, e00860.

Secretaria de Desarrollo Rural (SRD) (2022). Destinará gobierno de Puebla 72 mdp para atender a productores afectados por sequías. Disponible en: https://www.puebla.gob.mx/index.php/noticias/item/9482-destinara-gobierno-de-puebla-72-mdp-para-atender-a-productores-afectados-por-sequias.

Secretaría de Medio Ambiente, Desarrollo Sustentable y Ordenamiento Territorial (SMADSOT). (2021). Estrategia Estatal de Cambio Climático 2021-2030. Secretaría de Medio Ambiente, Desarrollo Sustentable y Ordenamiento Territorial-Gobierno de Puebla. Puebla, México. 115 pp.

Secretaría de Salud de Puebla, 2019. Causas de enfermedades en el estado de Puebla. Tabulados de Las Causas de Enfermedad Del Estado de Puebla. https://datos.puebla.gob.mx/dataset/causas-enfermedad-Estado-puebla.

Secretaría de Salud de Puebla, 2022. Sin casos de la enfermedad de Chagas en Puebla: Salud. Sin Casos de La Enfermedad de Chagas En Puebla: Salud. https://previenecovid19.puebla.gob.mx/noticias-dependencias/sin-casos-de-la-enfermedad-de-chagas-en-puebla-salud.

SEDEMA (2021). Programa de Gestión para Mejorar la Calidad del Aire de la Zona Metropolitana del Valle de México (ProAire ZMVM 2021- 2030). SEDEMA, SMAGEM, SEMARNATH y SEMARNAT. Ciudad de México. Disponible en: http://www.aire.cdmx.gob.mx/descargas/publicaciones/flippingbook/proaire2021-2030/pdf/ProAireZMVM2021-2030-ResumenEjecutivo.pdf.

SEMARNAT - CONANP (2021). Programa de Adaptación al Cambio Climático del Complejo Selva Maya. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/247267/PACC_Selva_Maya.pdf.

SEMARNAT (14 de agosto de 2015). Registro Nacional de Emisiones. Obtenido del ACUERDO por el que se da a conocer el instructivo y formato de la Cédula de Operación Anual.: https://www.semarnat.gob.mx/sites/default/files/documentos/cicc/acuerdo_por_el_que_se_da_a_conocer_el_instructivo_y_formato_de_la_cedula_de_operacion_anual.pdf.

SEMARNAT (2016a). Anuario Estadístico de la Producción Forestal 2016. México. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/282951/2016.pdf.

SEMARNAT (2016b). Bitácora Ambiental Volcán Popocatépetl y su Área de Influencia. Consultado en: https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/bitacora-ambiental-volcan-popocatepetl-y-su-area-de-influencia

SEMARNAT (2018). Anuario Estadístico Forestal. Estadísticas estatales de producción forestal maderable y no maderable. Disponible en: https://snif.cnf.gob.mx/estadisticas-por-estados-de-produccion-forestal-maderable-y-no-maderable/

SEMARNAT (2020a). Contribución Determinada a nivel Nacional: México. Versión actualizada 2020. 44 pp.

SEMARNAT (2020b). Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de Residuos. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Primera Edición mayo 2020. México. 274 pp. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/554385/DBGIR-15-mayo-2020.pdf.

SEMARNAT (28 de octubre de 2014). REGLAMENTO de la Ley General de Cambio Climático en Materia del Registro Nacional de Emisiones. Obtenido de https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/agenda/DOFsr/DO3452.pdf-.

SEMARNAT e INECC (2022). México: Inventario Nacional de Emisiones de Gases y Compuestos de Efecto Invernadero, 1990-2019. Publicado por Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales e Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, CDMX, México. pág 122-124. Recuperado de: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/737226/156_2022_INEGYCEI_1990-2019_NIR.pdf.

SEMARNAT, (2022). Sistema nacional de información ambiental y de recursos naturales. Base de datos estadísticos – BADESNIARN, Consulta Temática. Disponible en: https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/sistema-nacional-de-informacion-ambiental-y-de-recursos-naturales.

SEMARNAT-CONAFOR (2020). Principales Indicadores Forestales (Ciclo 2015-2020. Disponible en: https://snmf.cnf.gob.mx/principaleindicadoresforestalesciclo-2015-2020/

SEMARNAT-CP (2003). Memoria Nacional 2001-2002. Evaluación de la Degradación del Suelos Causada por el Hombre en la República Mexicana, escala 1:250,000 Memoria Nacional. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/307967321_SEMARNAT-CP_2003_Memoria_Nacional_2001-2002_Evaluacion_de_la_Degradacion_del_Suelo_causada_por_el_Hombre_en_la_Republica_Mexicana_escala_1250000_Memoria_Nacional

Sen, P. K. (1968). Estimates of the regression coefficient based on Kendalll's tau. Journal of the American statistical association, 63(324), 1379-1389.

SENER (2015). Secretaría de Energía. Obtenido de Estudios de eficiencia energética en escuelas: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/315523/4_ESCUELAS.pdf.

SENER (2022). Sistema de Información Energética. Disponible en: https://sie.energia.gob.mx/bdiController.do?action=temas.

SENER-CONUEE (2022). Listas de combustibles y sus poderes caloríficos. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/707880/lista_de_combustibles_y_poderes_calorificos_2022.pdf.

Shupler, M., Godwin, W., Frostad, J., Gustafson, P., Arku, R. E., & Brauer, M., (2018). Global estimation of exposure to fine particulate matter (PM2.5) from household air pollution. Environment International, 120, 354–363. https://doi.org/10.1016/J.ENVINT.2018.08.026.

SIAP (2018). Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera. Altas agroalimentario 2012-2018. Disponible en: https://nube.siap.gob.mx/gobmx_publicaciones_siap/pag/2018/Atlas-Agroalimentario-2018.

SIAP (2021). Comportamiento del empleo en el sector primario. Disponible en: https://www.gob.mx/siap/documentos/analisis-del-comportamiento-del-empleo-en-el-sector-primario-134578

SIAP (2022). Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. Disponible en: https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/.

SMADSOT (2021). Estrategia Estatal de Cambio Climático 2021-2030. Secretaría de Medio Ambiente, Desarrollo Sustentable y Ordenamiento Territorial-Gobierno de Puebla. Puebla, México. 115 pp. Disponible en: https://smadsot.puebla.gob.mx/images/Publicacion_de_la_Estrategia_Estatal_de_Cambio_Climatico_2021-2030_T2_04042022.pdf.

SMADSOT. (2021a). Datos proporcionados por la Dirección de Calidad del Aire de la SMADSOT. SMADSOT.

SMADSOT, (2023). Contaminación atmosférica. Disponible en: https://calidaddelaire.puebla.gob.mx/views/principal_monitoreo.php#section_monitoreo.

SRD (2022). Destinará gobierno de Puebla 72 mdp para atender a productores afectados por sequías. Disponible en: https://www.puebla.gob.mx/index.php/noticias/item/9482-destinara-gobierno-de-puebla-72-mdp-para-atender-a-productores-afectados-por-sequias

Srivastav, A. (2019). The science and impact of climate change. Singapore: Springer Nature Singapore.

Tang, G., Clark, M. P., y Papalexiou, S. M. (2021). SC-earth: a station-based serially complete earth dataset from 1950 to 2019. Journal of Climate, 34(16), 6493-6511.

Tapia-Garay, V., Figueroa, D. P., Maldonado, A., Frías-Laserre, D., Gonzalez, C. R., Parra, A., ... y Canals, M., (2018). Assessing the risk zones of Chagas' disease in Chile, in a world marked by global climatic change. Memórias do Instituto Oswaldo Cruz, 113, 24-29.

Theil, H. (1950). A rank-invariant method of linear and polynomial regression analysis. Indagationes mathematicae, 12(85), 173.

Thiemig, V., Gomes, G. N., Skøien, J. O., Ziese, M., Rauthe-Schöch, A., Rustemeier, E., ... y Salamon, P. (2022). EMO-5: a high-resolution multi-variable gridded meteorological dataset for Europe. Earth System Science Data, 14(7), 3249-3272.

Thorne, J. H., Choe, H., Stine, P. A., Chambers, J. C., Holguin, A., Kerr, A. C., y Schwartz, M. W. (2018). Climate change vulnerability assessment of forests in the Southwest USA. Climatic Change, 148(3), 387-402.

Thornton, P. E., Shrestha, R., Thornton, M., Kao, S. C., Wei, Y., y Wilson, B. E. (2021). Gridded daily weather data for North America with comprehensive uncertainty quantification. Scientific Data, 8(1), 1-17.

Thornton, P. K., Ericksen, P. J., Herrero, M., y Challinor, A. J. (2014). Climate variability and vulnerability to climate change: a review. Global change biology, 20(11), 3313-3328.

Tidman, R., Abela-Ridder, B., y de Castañeda, R. R., (2021). The impact of climate change on neglected tropical diseases: a systematic review. Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene, 115(2), 147-168.

UCAR. (2022). Air Quality and Climate Change.University Corporation for Atmospheric Research. Recuperado de Air Quality and Climate Change | Center for Science Education (ucar.edu)

UN (2018). Regional agreement on access to information, public participation and justice in environmental matters in latin america and the caribbean. United Nations. Recuperado de Regional Agreement on Access to Information, Public Participation and Justice in Environmental Matters in Latin America and the Caribbean (un.org)

UNEP (2015). Climate Change and Human Rights. United Nations Environment Programme, 43 pp.

US EPA, (2013). America's Children and the Environment, Third Edition. In Population (French Edition) (Vol. 13, Issue 3). https://doi.org/10.2307/1525447.

US EPA, (2022). El humo de la leña y su salud. El Humo de La Leña y Su Salud. https://espanol.epa.gov/espanol/el-humo-de-la-lena-y-su-salud.

Vazquez, B. A., Olego, T., Rosati, G., Lang, C., Bozzoli, G., Weinberg, D., ... y Sarraute, C., (2019). Detecting Areas of Potential High Prevalence of Chagas in Argentina. In Companion Proceedings of the 2019 World Wide Web Conference (pp. 262-271).

Walsh, R. P. D. y Lawler, D. M. (1981). Rainfall Seasonality: Description, Spatial Patterns and Change Through Time Weather 36(7):201-208. Doi: https://doi.org/10.1002/j.1477-8696.1981.tb05400.x.

Wang, Y., Eliot, M. N., & Wellenius, G. A., (2014). Short-term changes in ambient particulate matter and risk of stroke: A systematic review and meta-analysis. Journal of the American Heart Association, 3(4), 1–23. https://doi.org/10.1161/JAHA.114.000983.

Wayne, G.P. (2013). The Beginner's Guide to Representative Concentration Pathways. Skeptical Science. Version 1.0, agosto de 2013. 25 pp.

WEATHERSPARK, (S/A). Clima promedio en el estado de Puebla. Disponible en: https://es.weatherspark.com/y/2214/Clima-promedio-en-Puebla-M%C3%A9xico-durante-todo-el-a%C3%B1o#Sections-Temperature

Werner, A. T., Schnorbus, M. A., Shrestha, R. R., Cannon, A. J., Zwiers, F. W., Dayon, G., y Anslow, F. (2019). A long-term, temporally consistent, gridded daily meteorological dataset for northwestern North America. Scientific Data, 6(1), 1-16.

Wheatley, C. J., Beale, C. M., Bradbury, R. B., Pearce-Higgins, J. W., Critchlow, R., y Thomas, C. D. (2017). Climate change vulnerability for species—Assessing the assessments. Global Change Biology, 23(9), 3704-3715.

WHO (2022). monitoring health for the SDGs, sustainable development goals. Geneva: World Health Organization.

WHO (2023). https://www.who.int/data/gho/data/indicators/indicator-details/GHO/ambient-air-pollution-attributable-deaths

Wilson, A. B., Avila-Diaz, A., Oliveira, L. F., Zuluaga, C. F., y Mark, B. (2022). Climate extremes and their impacts on agriculture across the Eastern Corn Belt Region of the US. *Weather and Climate Extremes*, *37*, 100467.

WMO (2021). Guidelines on Surface Station Data Quality Control and Quality Assurance for Climate Applications. World Meteorological Organization.

WorldClim (2000). https://www.worldclim.org/data/worldclim21.html. https://www.worldclim.org/data/cmip6/cmip6climate.html.

WorldClim (2022). Downscaling future and past climate data from GCMs. Disponible en: https://worldclim.org/data/downscaling.html.

Wu, W., Ren, H., y Lu, L., (2021). Increasingly expanded future risk of dengue fever in the Pearl River Delta, China. PLoS neglected tropical diseases, 15(9), e0009745.

Xu, C., Liu, H., Anenkhonov, O. A., Korolyuk, A. Y., Sandanov, D. V., Balsanova, L. D., ... y Wu, X. (2017). Long-term forest resilience to climate change indicated by mortality, regeneration, and growth in semiarid southern Siberia. Global Change Biology, 23(6), 2370-2382.

Xu, Z., Bambrick, H., Frentiu, F. D., Devine, G., Yakob, L., Williams, G., y Hu, W., (2020). Projecting the future of dengue under climate change scenarios: Progress, uncertainties and research needs. PLoS neglected tropical diseases, 14(3), e0008118.

Yan, Z., Li, Z., y Xia, J. (2014). Homogenization of climate series: The basis for assessing climate changes. Science China Earth Sciences, 57, 2891-2900.

Yaro, J. A., y Hesselberg, J. (Eds.). (2016). Adaptation to climate change and variability in rural West Africa. Cham, Switzerland: Springer International Publishing.

Zafar, S., Shipin, O., Paul, R. E., Rocklöv, J., Haque, U., Rahman, M. S., ... y Overgaard, H. J., (2021). Development and Comparison of Dengue Vulnerability Indices Using GIS-Based Multi-Criteria Decision Analysis in Lao PDR and Thailand. International journal of environmental research and public health, 18(17), 9421.

Zavala, M et al. (2018). Black carbon, organic carbon, and co-pollutant emissions and energy efficiency from artisanal brick production in Mexico. Atmos. Chem. Phys., 18, 6023–6037, 2018 https://doi.org/10.5194/acp-18-6023-2018

Zhang, L., Huettmann, F., Liu, S., Sun, P., Yu, Z., Zhang, X., y Mi, C., (2019). Classification and regression with random forests as a standard method for presence-only data SDMs: A future conservation example using China tree species. Ecological Informatics, 52, 46-56.

Zhang, X., Alexander, L., Hegerl, G. C., Jones, P., Tank, A. K., Peterson, T. C., ... y Zwiers, F. W. (2011). Indices for monitoring changes in extremes based on daily temperature and precipitation data. Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change, 2(6), 851-870.