

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

INCIDENCIA DE LA CONTAMINACIÓN
ATMOSFÉRICA SOBRE LA SALUD
EN EL ESTADO PUEBLA

PEAAC



MEDIO AMBIENTE

SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES



INECC

INSTITUTO NACIONAL
DE ECOLOGÍA Y
CAMBIO CLIMÁTICO



COMISIÓN AMBIENTAL
DE LA MEGALÓPOLIS



**Gobierno
de Puebla**

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

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

Autores del documento:

Dra. María Tania López Villegas

Biol. Saúl Castañeda Contreras

Con la colaboración de:

Ing. Víctor Javier Gutiérrez Avedoy

Mat. Jorge Martínez Castillejos

Este documento se elaboró para la Secretaría de Medio Ambiente, Desarrollo Sustentable y Ordenamiento Territorial del Gobierno del Estado de Puebla con recursos del Proyecto Financiado por el Fideicomiso 1490 “Para Apoyar los Programas, Proyectos y Acciones Ambientales de la Megalópolis”.

Citar el documento como: Incidencia de la Contaminación Atmosférica sobre la Salud en el Estado de Puebla, 2023. Programa de Gestión de Calidad del Aire y de Acción ante el Cambio Climático, 2021-2030. SMADSOT – CAME – SEMARNAT.

La reproducción total o parcial de este documento podrá efectuarse mediante autorización expresa de la fuente y dándole el crédito correspondiente.

© 2023

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

**INCIDENCIA DE LA CONTAMINACIÓN
ATMOSFÉRICA SOBRE LA SALUD
EN EL ESTADO DE PUEBLA**

CONTENIDO

INCIDENCIA DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA SOBRE LA SALUD EN EL ESTADO DE PUEBLA.....	7
Introducción.....	7
Impactos en la salud por la contaminación atmosférica.....	7
Contaminantes criterio del aire	7
Principales efectos en la salud	8
Mortalidad y morbilidad de las enfermedades asociadas con la contaminación del aire	10
Problemas de contaminación en el Estado de Puebla	10
Morbilidad 2019.....	10
Mortalidad 2019	11
Incidencia de la contaminación atmosférica sobre la salud en la ZMVP ...	13
Metodología de evaluación de los impactos en la salud	14
Selección del contaminante y de las funciones exposición respuesta ..	15
Asignación del área de exposición de las PM _{2.5}	16
Tasas basales de mortalidad del municipio de Puebla	18
Resultados de la evaluación de los impactos en salud.....	18
Valoración económica por incumplir con la NOM de PM _{2.5}	21
Impactos en la salud por el uso de leña en los hogares.....	21
Impactos en la salud por la producción de ladrillo artesanal	22
Vulnerabilidad a enfermedades zoonóticas	22
Dengue	23
Chagas (tripanosomiasis americana).....	33
Referencias	40

FIGURAS

Figura 1. Causas principales de morbilidad en el Estado de Puebla, 2019.....	11
Figura 2. Causas principales de mortalidad en el Estado de Puebla, 2019.....	12
Figura 3. 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.....	19
Figura 4. 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.....	20
Figura 5. Combinaciones de las cuatro proyecciones poblacionales por SSP (derecha) y las ocho proyecciones de cambio climático (derecha).	26
Figura 6. Superficie por clase de vulnerabilidad al dengue para las regiones del Estado de acuerdo con las ocho proyecciones de cambio climático; hc=horizonte cercano, hl=horizonte lejano.....	29
Figura 7. Proporción por clase de vulnerabilidad al dengue para las regiones del Estado.....	30
Figura 8. Porcentaje de la superficie de las regiones del Estado con vulnerabilidad al dengue alta consenso.....	31
Figura 9. Distribución de valores de porcentaje de superficie de los municipios con vulnerabilidad alta consenso.	33
Figura 10. Superficie por clase de vulnerabilidad a la tripanosomiasis americana para las regiones del Estado por SSP y horizonte temporal; hl=horizonte cercano, hc=horizonte lejano.....	37
Figura 11. Proporción por clase de vulnerabilidad a la tripanosomiasis americana para las regiones del Estado por SSP y horizonte temporal; hl=horizonte cercano, hc=horizonte lejano.....	37
Figura 12. Distribución de valores de porcentaje de superficie de los municipios con vulnerabilidad a tripanosomiasis americana alta consenso.	38
Figura 13. Porcentaje de la superficie de las regiones del Estado con vulnerabilidad a la tripanosomiasis americana alta consenso.....	38

Tablas

Tabla 1. Características y origen de los contaminantes criterio del aire.....	8
Tabla 2. Principales efectos de los contaminantes criterio de aire	9
Tabla 3. Valores anuales de PM _{2.5} de los escenarios de modelación de los impactos en la salud.....	14
Tabla 4. Funciones exposición respuesta seleccionadas para la evaluación de los impactos en salud.....	16
Tabla 5. Tasas de mortalidad por cuas de enfermedad en 2019 para el municipio de Puebla.....	18
Tabla 6. Variables seleccionadas para calcular la vulnerabilidad al dengue.....	27
Tabla 7. Porcentaje de superficie de las regiones con vulnerabilidad al dengue alta consenso.	30
Tabla 8. Variables seleccionadas para calcular la vulnerabilidad a la tripanosomiasis americana.....	36

INCIDENCIA DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA SOBRE LA SALUD EN EL ESTADO DE PUEBLA

INTRODUCCIÓN

Este apartado se compone de dos secciones, la primera dedicada a la Evaluación de la incidencia de la contaminación atmosférica sobre la salud en la Zona Metropolitana del Valle de Puebla (ZMVP) y la segunda aborda la vulnerabilidad a zoonosis ante el cambio climático en el Estado.

IMPACTOS EN LA SALUD POR LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA

En la sección de impactos en la salud por la contaminación atmosférica se presenta en primer lugar las características principales de los contaminantes criterio del aire, así como sus principales efectos en la salud. Enseguida se muestran 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. Finalmente, se describen e interpretan los resultados de 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-SSA1-2014¹ establecido para las PM_{2.5} (partículas suspendidas con un diámetro menor o igual a 2.5 micras) y un breve resumen de los problemas de salud ambiental del uso de leña en los hogares y la producción de ladrillo artesanal, así como sus efectos en la salud.

Contaminantes criterio del aire

Los contaminantes normados en nuestro país son los denominados contaminantes criterio: partículas suspendidas con un diámetro menor o igual a 10 y 2.5 (PM_{2.5} y PM₁₀, respectivamente) [$\mu\text{g}/\text{m}^3$], ozono (O₃) [ppm], dióxido de azufre (SO₂) [ppm], bióxido de nitrógeno (NO₂) [ppm] y monóxido de carbono (CO) [ppm]. En la tabla 1 se indican sus características y el origen de estos contaminantes principalmente en zonas urbanas.

¹ Se consideró el límite anual vigente para el año de análisis 2019.

TABLA 1. CARACTERÍSTICAS Y ORIGEN DE LOS CONTAMINANTES CRITERIO DEL AIRE

Contaminantes	Características y origen
Partículas suspendidas PM ₁₀ y PM _{2.5}	Las PM ₁₀ son aquellas partículas que poseen un diámetro aerodinámico menor a 10 micrómetros; mientras que las PM _{2.5} o fracción fina son aquellas que incluye a las partículas con diámetro aerodinámico menor a 2.5 micras. La PM _{2.5} forman parte de las PM ₁₀ . Las partículas suspendidas son una mezcla de compuestos microscópicos o muy pequeños en forma de líquidos y sólidos suspendidos en el aire. Las partículas están constituidas principalmente por metales, compuestos orgánicos, material de origen biológico, iones, gases reactivos y la estructura misma de las partículas, normalmente formada por carbón elemental (el llamado carbono negro). El origen principal de las partículas suspendidas en zonas urbanas son los procesos de combustión incompleta, así como de origen térreo de procesos eólicos.
Ozono (O ₃)	El 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, principalmente, por los vehículos automotores, la industria, evaporación de solventes, así como la actividad biogénica) en presencia de luz solar.
Bióxido de azufre (SO ₂)	El SO ₂ es un 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.
Bióxido de nitrógeno (NO ₂)	El NO ₂ es un gas irritante y oxidante, generado principalmente por fuentes de emisión antropogénica durante los procesos de combustión (calefacción, generación de electricidad y motores de vehículos).
Monóxido de carbono (CO)	El CO es un 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 quemaduras de la actividad agrícola.

Fuentes: Nadadur & Hollingsworth, 2015; Pope III & Dockery, 2006; Rojas-Bracho & Garibay-Bravo, 2003; US EPA, 2013.

Principales efectos en la salud

Los contaminantes criterio tienen efectos en la salud que han sido documentados ampliamente en las últimas décadas, la tabla 2 se presentan los efectos más estudiados para cada uno de ellos.

TABLA 2. PRINCIPALES EFECTOS DE LOS CONTAMINANTES CRITERIO DE AIRE

Contaminante	Efectos agudos Incrementos en la hospitalización y visitas al médico por:	Efectos crónicos Aumentos en la mortalidad por enfermedades:
PM ₁₀ y PM _{2.5}	<ul style="list-style-type: none"> • Enfermedades respiratorias agudas • Infecciones respiratorias agudas (IRAs) • Exacerbación de asma • Síntomas respiratorios • Irritación, inflamación, infecciones 	<ul style="list-style-type: none"> • Cardiopulmonares • Cardiovasculares • Isquémicas del corazón • Infarto al miocardio • Cáncer de pulmón • Accidentes cerebrovasculares • Vías urinarias y vejiga • Enfermedades Pulmonares Obstructivas Crónicas (EPOC) • Efectos reproductivos, como nacimientos con bajo peso al nacer, nacimientos prematuros y diabetes • Efectos cognitivos en adultos mayores y niños.
Ozono (O ₃)	<ul style="list-style-type: none"> • Síntomas respiratorios • Tos, flema, sibilancias • Agravamiento de Asma • Infecciones respiratorias agudas • Enfisema pulmonar • Bronquitis • Tos • Dificultad para respirar 	<ul style="list-style-type: none"> • Respiratorias • Cáncer de pulmón • Cambios en la variabilidad de la frecuencia cardiaca
Bióxido de azufre (SO ₂)	<ul style="list-style-type: none"> • Irritación de vías respiratorias • Agravamiento de asma • Bronquitis crónica • Enfermedades cardiovasculares 	<ul style="list-style-type: none"> • Respiratorias • Accidente cerebrovascular • Cardiovasculares • Infarto al miocardio • Insuficiencia cardiaca
Bióxido de nitrógeno (NO ₂)	<ul style="list-style-type: none"> • Irritación de nariz y garganta • Broncoconstricción • Disnea • Episodios asmáticos Respiratorias • Susceptibilidad a enfermedades respiratorias • Bronquitis crónica 	
Monóxido de carbono (CO)	<ul style="list-style-type: none"> • Dolores de cabeza y mareos • Efectos cardiovasculares y neuroconductuales • Hipoxia 	<ul style="list-style-type: none"> • Respiratorias

Fuentes: (Atkinson et al., 2016; Bravo et al., 2016; Crouse et al., 2015; Domínguez-Rodríguez et al., 2013; Goldberg et al., 2013; Guo et al., 2010; Hamra et al., 2014, 2015; Héroux et al., 2015; Nadadur & Hollingsworth, 2015; Pope III & Dockery, 2006; Qian et al., 2013; Rojas-Bracho & Garibay-Bravo, 2003; Saez et al., 2002; Shah et al., 2013; Tao et al., 2011; Tong et al., 2014; US EPA, 2013; Wang et al., 2014)

MORTALIDAD Y MORBILIDAD DE LAS ENFERMEDADES ASOCIADAS CON LA CONTAMINACIÓN DEL AIRE

A continuación, se presenta un breve resumen de los problemas de contaminación de aire del Estado de Puebla y las causas principales de morbilidad y mortalidad asociadas con la exposición a contaminantes del aire en 2019 (INEGI, 2019); (Secretaría de Salud de Puebla, 2019). Este perfil de salud es importante para establecer la situación base de salud y describir la ocurrencia de muertes y enfermedades que podrían estar relacionadas con la exposición crónica y/o aguda a los contaminantes del aire.

Problemas de contaminación en el Estado de Puebla

De acuerdo con la información disponible en el periodo 2010-2021, la ZMVP ha tenido problemas de calidad del aire con las PM_{10} , $PM_{2.5}$ y el ozono. Por ejemplo, en 2021, las PM_{10} han rebasado 79 días, las $PM_{2.5}$ ha rebasado 4 días y el ozono 24 días, el límite de exposición aguda (ver capítulo de calidad del aire). En el periodo de estudio (2010-2021) estos contaminantes han incumplido consistentemente las NOM de calidad del aire de protección a la salud correspondientes. Por tal motivo se esperaría que la población general y especialmente la más susceptible (niños, adultos mayores, mujeres embarazadas, personas con enfermedades preexistentes, etc.) tengan un mayor riesgo de presentar efectos agudos (incrementos en los casos de morbilidad, enfermedades respiratorias, pulmonares, etc.) y/o crónicos en la salud (Incremento en los casos de mortalidad por enfermedades cardiopulmonares, cardiovasculares, cáncer de pulmón, etc.).

Morbilidad 2019

La figura 1 presenta las 20 principales causas de morbilidad (casos de enfermedad) asociadas con la contaminación del aire en el Estado de Puebla en 2019.² En especial, la exposición aguda (días a semanas) a los contaminantes criterio se han asociado con aumentos en el riesgo de enfermarse de infecciones respiratorias agudas, asma y estado asmático e hipertensión arterial (esta última como un factor de riesgo determinante del desarrollo de las enfermedades cardiovasculares y cerebrovasculares) (ver Cuadro 2).

² De acuerdo con las tendencias de los casos de mortalidad y morbilidad del Estado de Puebla, en 2020 se observó un repunte de casos de enfermedades respiratorias y pulmonares debido al inicio de la pandemia por COVID-19 en ese año, por esta razón se decidió utilizar los datos de 2019 en el que se observa un comportamiento más típico.

En la población del Estado de Puebla se observa 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.

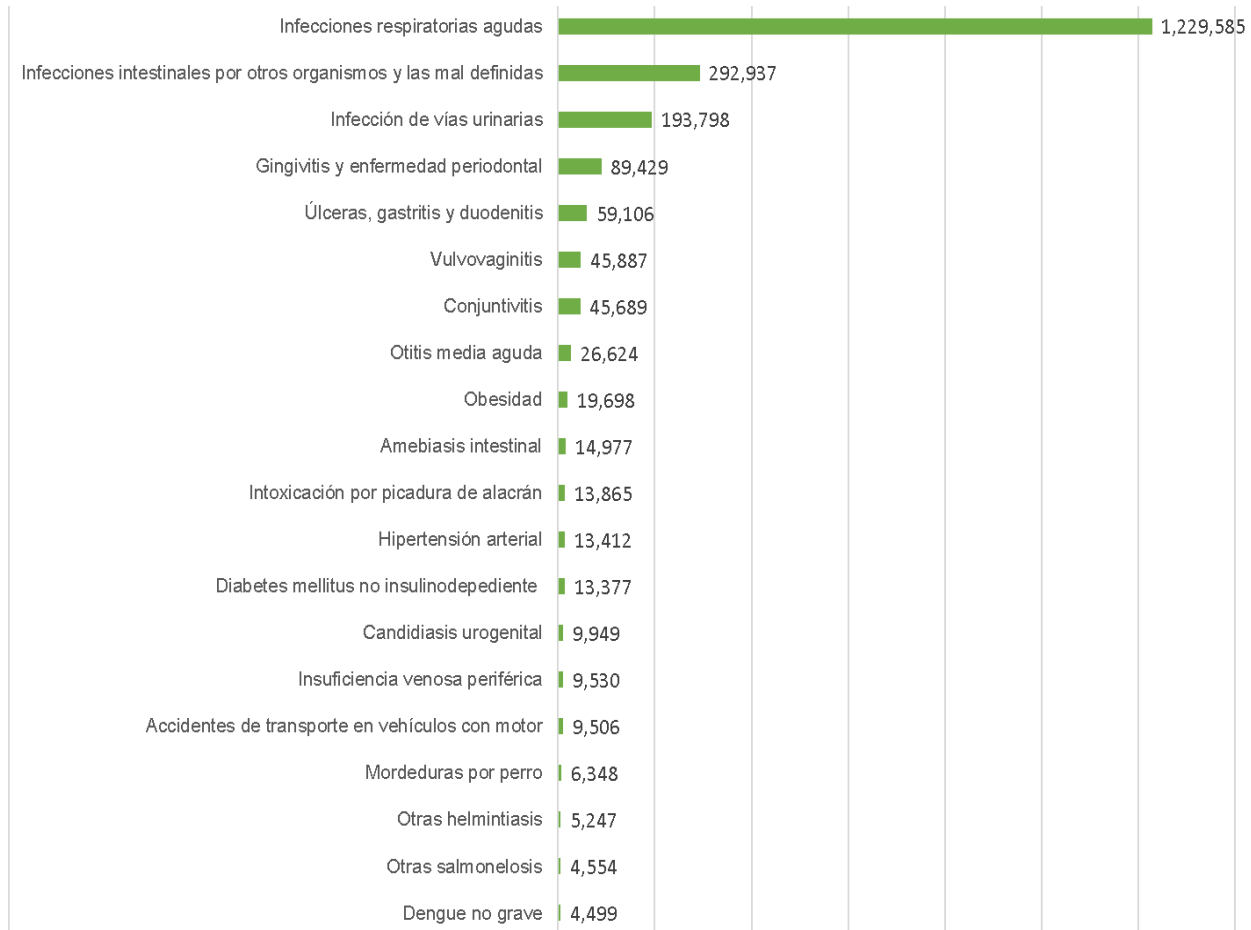


FIGURA 1. CAUSAS PRINCIPALES DE MORBILIDAD EN EL ESTADO DE PUEBLA, 2019

Fuente: Elaboración propia con información (Secretaría de Salud de Puebla, 2019).

De acuerdo con información provista por la Dirección de Calidad del aire de la SMADSOT, esta premisa se respalda, a partir de resultados del análisis de correlación de PM_{10} y los casos de IRAs en la ZMVP que arrojó un valor de 0.46 en el periodo 2000-2005, particularmente alta en los primeros seis meses del año (SMADSOT, 2021).

Mortalidad 2019

La figura 2, por su parte, presenta las principales causas de mortalidad en el Estado de Puebla en 2019. Las causas de mortalidad asociadas con la exposición crónica (más de un año) a las partículas suspendidas (PM_{10} y $PM_{2.5}$) y al ozono son: aumentos en el riesgo de muerte por las enfermedades del corazón, enfermedades cerebrovasculares, influenza y neumonía, enfermedades

pulmonares obstructivas crónicas, enfisema y asma (ver Cuadro 2). Aunque existen estudios para el resto de los contaminantes del aire, la evidencia científica para las partículas finas y el ozono es contundente.

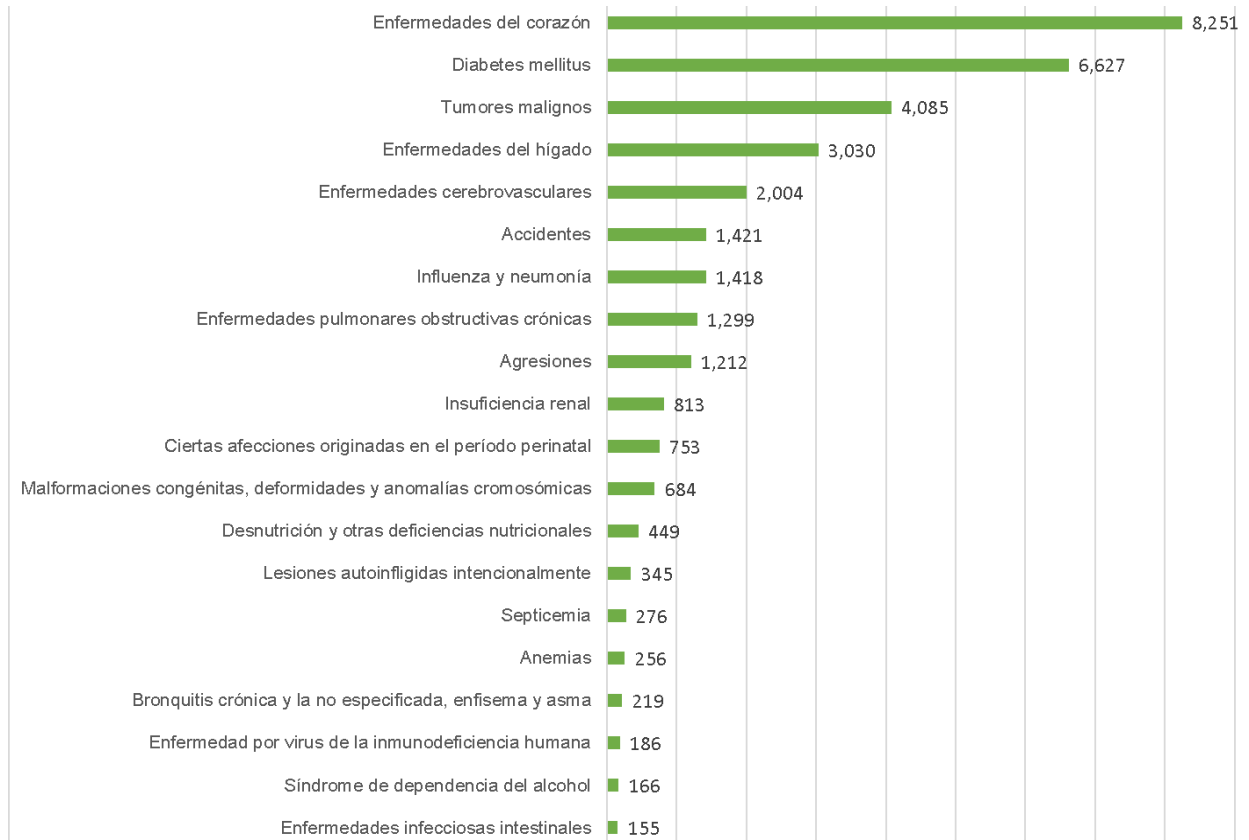


FIGURA 2. CAUSAS PRINCIPALES DE MORTALIDAD EN EL ESTADO DE PUEBLA, 2019

Fuente: Elaboración propia con información del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2019).

Finalmente, la figura 2 evidencia que en la población del estado de Puebla existe un número significativo de casos de mortalidad por causas de enfermedades del corazón, cerebrovasculares, EPOC, etc., asociadas con la exposición crónica a la contaminación del aire. Por lo anterior es muy probable que una fracción de esos casos sean atribuibles a este problema ambiental.", etc., asociadas con la exposición crónica a la contaminación del aire. Por lo anterior es muy probable que una fracción de esos casos sean atribuibles a este problema ambiental.

INCIDENCIA DE LA CONTAMINACIÓN ATMOSFÉRICA SOBRE LA SALUD EN LA ZMVP

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-SSA1-2014³; 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).

Para realizar dicha evaluación se consideraron dos escenarios de modelación, 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 ($12 \mu\text{g}/\text{m}^3$) 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 3, 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.

³ Se consideró la NOM-025-SSA1-2014 que estaba vigente en el año base de cálculo 2019 de este análisis.

TABLA 3. VALORES ANUALES DE PM_{2.5} DE LOS ESCENARIOS DE MODELACIÓN DE LOS IMPACTOS EN LA SALUD

Estaciones de monitoreo	Clave	Valor anual en el escenario base, $\mu\text{g}/\text{m}^3$	Valor anual en el escenario de control, $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Benemérito Instituto Normal del Estado	BINE	25	12
Parque de la Ninfas	NINFAS	21	12
Universidad Tecnológica de Puebla	UTP	20	12

Fuente: Elaboración propia.

Metodología de evaluación de los impactos en la salud

En la evaluación de la incidencia de los casos de mortalidad ocurridos en a ZMVP por la contaminación del aire se empleó la metodología de Evaluación de Impactos en la Salud (EIS). La metodología de Evaluación de Impactos en la Salud (EIS) se deriva del enfoque de la evaluación de riesgos; se define como: “una combinación de procedimientos, métodos y herramientas por las cuales una política, programa o proyecto puede ser evaluado en función de sus potenciales efectos sobre la salud de la población y de la distribución de estos en dicha población” (OMS, 2014). Esta metodología se ha empleado extensivamente en distintos países para facilitar la toma de decisiones de las autoridades de medioambiente, de salud y de los ciudadanos (Medina et al., 2009).

La metodología EIS consta de cuatro etapas metodológicas:

1. La selección del contaminante que tiene efectos adversos en la salud de la población, así como la selección de los efectos en la salud que se evaluarán, basado en evidencia epidemiológica y toxicológica;
2. La selección de la función exposición-respuesta que relaciona cuantitativamente el cambio del contaminante del aire y con los cambios en los efectos en la salud seleccionados (ver siguiente sección);
3. La evaluación del cambio de la exposición potencial de la población bajo un supuesto de reducción de concentraciones, que integra tanto los datos de población como las concentraciones del contaminante;
4. La caracterización o cuantificación de los casos evitados por impacto identificado (INE, 2012).

Adicionalmente, la quinta etapa evalúa monetariamente los casos evitados del impacto identificado, aunque esta es opcional, pero importante en los análisis costo-beneficio.

Las primeras dos etapas se realizan mediante búsqueda de información y revisiones de publicaciones científicas. La tercera y cuarta etapa requiere de información propia del área en estudio, como cartografía digital, datos de población y de las tasas de mortalidad estudiadas. A continuación, se describirán las suposiciones y los cálculos realizados en la tercera etapa de esta evaluación.

Selección del contaminante y de las funciones exposición respuesta

Las $PM_{2.5}$ fueron seleccionadas para evaluar la mortalidad atribuible a este contaminante debido a que en décadas recientes el peso de la evidencia epidemiológica 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 que respalda la estimación del exceso de mortalidad atribuible de este contaminante.

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 4 se presentan 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 4. 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 ug/m ³
Cardiopulmonares (CP) (I10-I70 y J00-J98)	>15 años	(Krewski et al., 2009) (cohorte ACS)	1.09 (1.06-1.12)	10 ug/m ³
Cáncer de pulmón (CAP) (C33-C34)	>30 años	(Lepeule et al., 2012) (meta-análisis)	1.37 (1.07-1.75)	10 ug/m ³
Enfermedades isquémicas del corazón (EIC) (I20-I25)	>30 años	(Pope et al., 2004) (cohorte ACS)	1.18 (1.14-1.23)	10 ug/m ³

Fuente: Elaboración propia

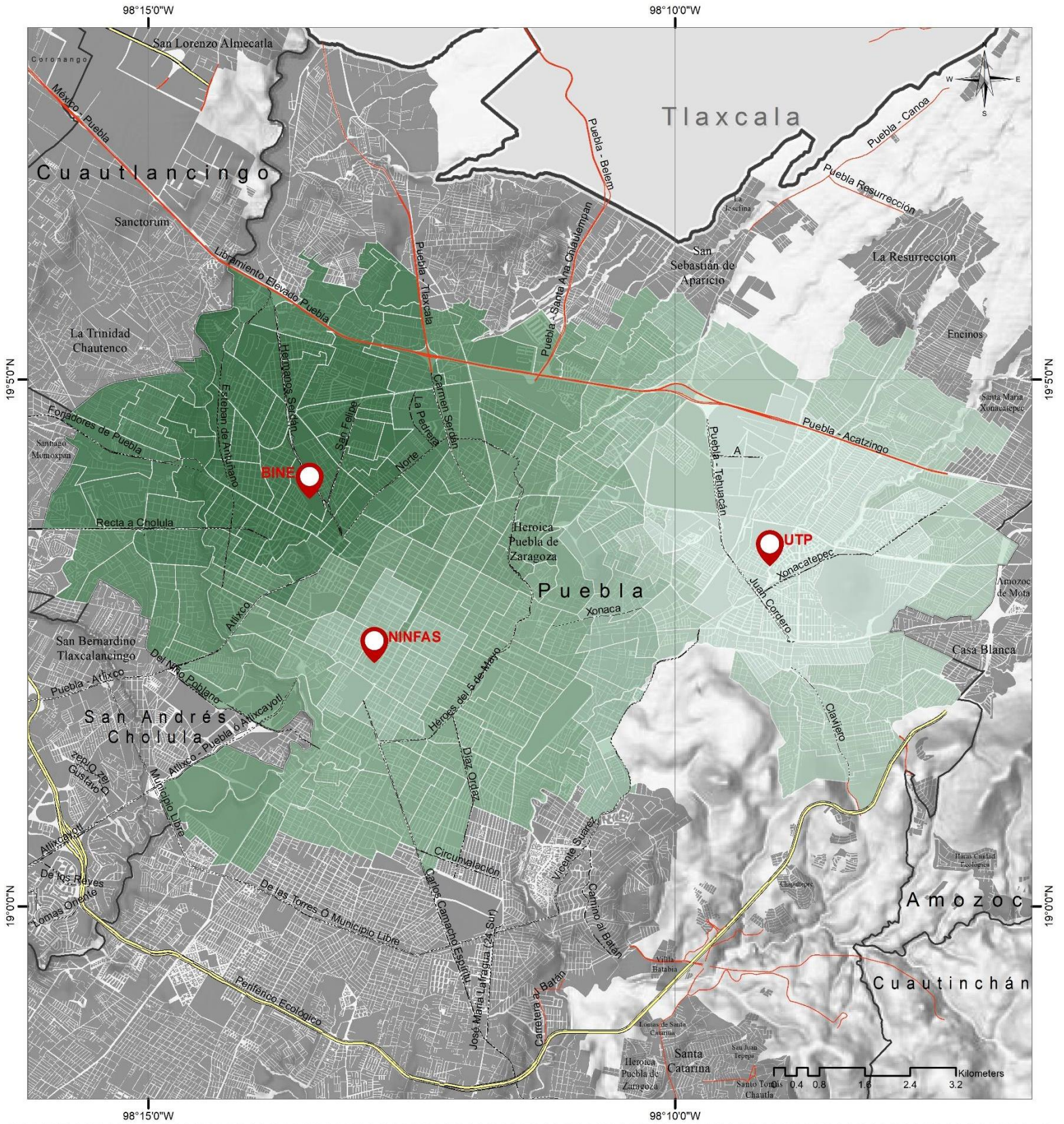
Asignación del área de exposición de las PM_{2.5}

La tercera etapa de la metodología de las EIS implica estimar el cambio de las concentraciones de exposición y asignársela al área de influencia de las estaciones de monitoreo en dónde radica la población. El cambio de las concentraciones de PM_{2.5} se obtuvo de la diferencia de los valores de las PM_{2.5} de los escenarios base y control (ver Tabla 3).

La selección del área geográfica de la evaluación tomó en cuenta el radio de influencia de 3 km a partir de las ubicaciones de las tres estaciones de monitoreo del municipio de Puebla, de acuerdo con la representatividad espacial de las estaciones de monitoreo especificadas por la SMADSOT.

Posteriormente, la asignación de la 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 216 se presenta tanto la localización de las estaciones 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.



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
- Carretera



M216. Concentración de exposición Crónica PM 2.5 en el 2019

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

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

Tasas basales de mortalidad del municipio de Puebla

Las tasas basales de mortalidad indican la ocurrencia base de casos de defunciones o enfermedades por las causas estudiadas en un periodo específico del año (INEGI, 2019) En el cuadro 4 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 5. TASAS DE MORTALIDAD POR CUAS 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 habitantes
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

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, 2021).

Resultados de la evaluación de los impactos en salud

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:

$$\sum I_{ij} = \Delta C_j \cdot FER_i \cdot P_j \cdot T_i \quad \text{Ecuación 1}$$

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 [$\mu g/m^3$]. 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} [%/ $1\mu g/m^3$]. 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 .

T_i [número de casos/personas/año]. Tasa basal de mortalidad municipal asociada con el impacto i para la población P .

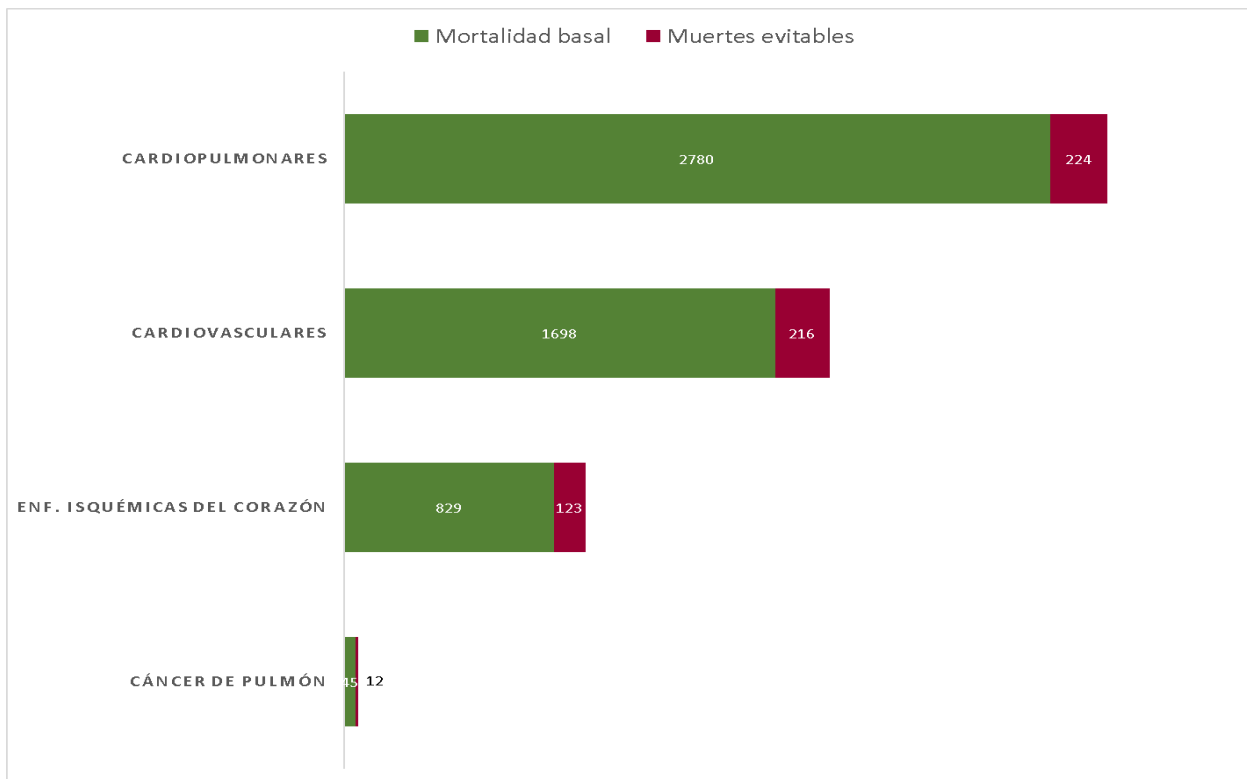


FIGURA 3. CASOS DE MUERTES EVITABLES POR CAUSA ESPECÍFICA DE ENFERMEDAD EN EL MUNICIPIO DE PUEBLA, Y SU CONTRIBUCIÓN A LA INCIDENCIA BASAL DE ACUERDO CON LA NOM VIGENTE EN 2019

Los resultados de la evaluación de la mortalidad evitables se presentan en la Figura 3. En el municipio se Puebla se podrían 224 casos por enfermedades cardiovasculares (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.

Con fines de comparación se evaluaron los casos de mortalidad atribuible de las mismas cuatro causas de enfermedad con respecto a 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.

Los resultados de dichos escenarios se presentan en la figura 4. 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 19% y 65 % casos de mortalidad evitable mayor respecto al escenario del cumplimiento de la NOM vigente.

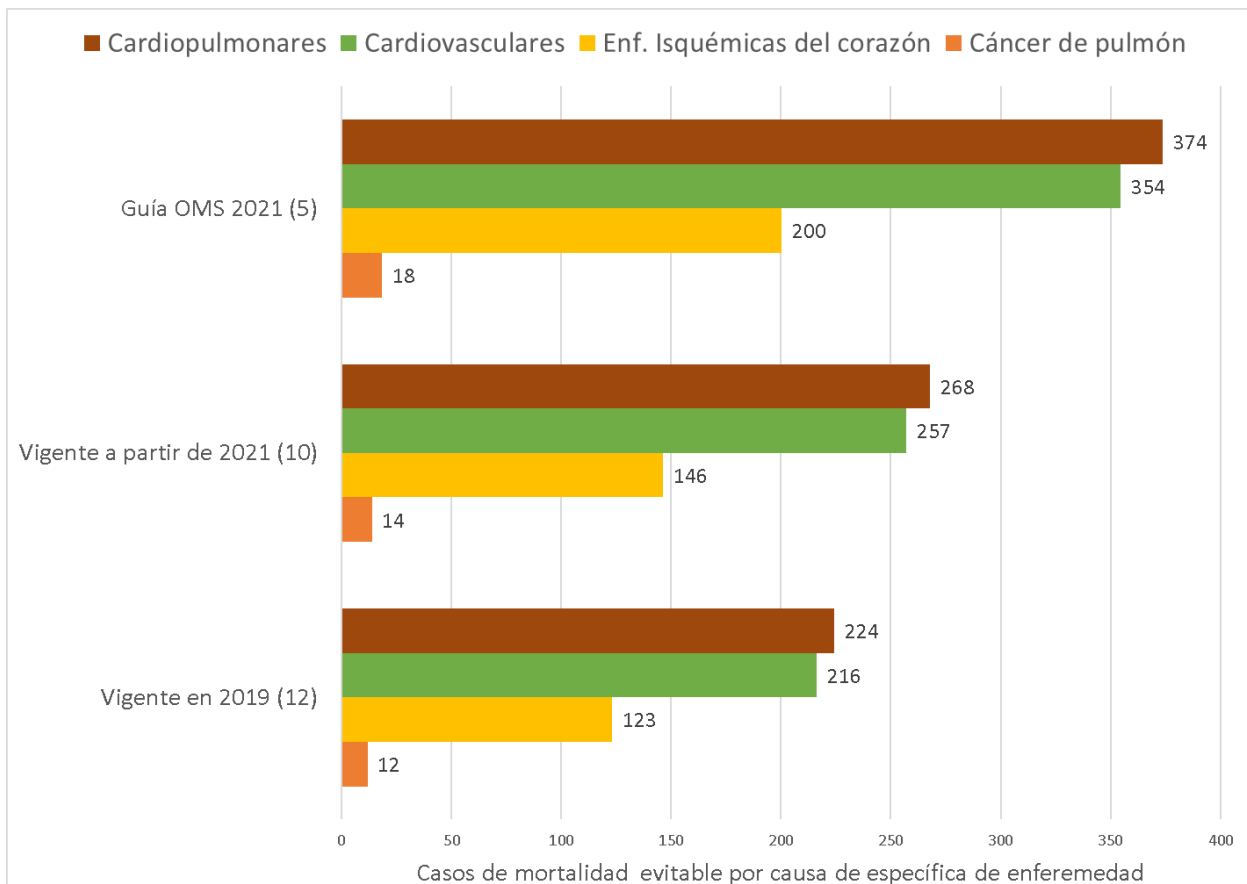


FIGURA 4. CASOS DE MUERTES EVITABLES POR CAUSA ESPECÍFICA DE ENFERMEDAD EN EL MUNICIPIO DE PUEBLA DE ACUERDO CON LA NOM VIGENTE EN 2019, LA NOM ACTUALIZADA EN 2021 Y LA RECOMENDACIÓN DE LA OMS

VALORACIÓN ECONÓMICA POR INCUMPLIR CON LA NOM DE PM_{2.5}

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 e isquémicas del corazón 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 PM₁₀ (SMADSOT, 2021).

IMPACTOS EN LA SALUD POR EL USO DE LEÑA EN LOS HOGARES

Además de la exposición a la mala calidad del aire y sus efectos en la salud de la población de Puebla, la exposición de mujeres y niños, principalmente, a altas concentraciones de contaminantes del aire que provenientes de combustión incompleta de leña en los hogares rurales es otro problema importante de salud ambiental. De acuerdo con el balance estatal, el consumo de leña es de 23,014 petajoules para el año 2010. Lo que sitúa al Estado de Puebla con un alto consumo con 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 niveles de partículas suspendidas de 4

y 30 veces (entre 80 y 1200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) más alta que las medidas en la Ciudad de México (Estévez-García et al., 2020), y a otros contaminantes: como el monóxido de carbono, hidrocarburos aromáticos policíclicos y otros compuestos tóxicos, producto de la combustión incompleta del combustible (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).

IMPACTOS EN LA SALUD POR LA PRODUCCIÓN DE LADRILLO ARTESANAL

Otro problema de salud ambiental del Estado de Puebla es la exposición a contaminantes del aire emitidos en 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 ($\text{PM}_{2.5}$ 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).

VULNERABILIDAD A ENFERMEDADES ZONÓTICAS

En esta sección se presenta la vulnerabilidad de la población ante el cambio climático a dos enfermedades zoonóticas: a) el Dengue y b) la enfermedad de Chagas (tripanosomiasis americana), en el Estado de Puebla. 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 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:

$$\text{Vulnerabilidad} = (\text{Exposición} + \text{Sensibilidad}) - \text{Capacidad adaptativa}$$

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.

Dengue

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).

El virus del dengue (DENV) presenta cuatro serotipos, lo que significa que es posible infectarse cuatro veces, y son transmitidos frecuentemente por mosquitos del género *Aedes aegypti* y, en menor medida, *Ae. Albopictus* (OMS, 2022a). Esta enfermedad logra expresarse de manera asintomática o se presentan síntomas días después a la picadura del mosquito como fiebre hemorrágica, cefalea, artralgia, vómito, síndrome de shock e incluso la muerte y se ha comenzado a relacionar con enfermedades neurológicas (Bordignon et al., 2008).

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).

Métodos

La vulnerabilidad por dengue se calculó considerando cinco variables: a) población menor a 11 años y mayor a 60, b) índice de rezago social, c) Idoneidad climática de los vectores de acuerdo con ocho proyecciones de cambio climático, d) tamaño poblacional por SSP y e) distancia a servicios de salud. La justificación y razón lógica de las variables, así como las referencias de los estudios en los que se han utilizado se presentan en la Tabla 6.

Sensibilidad

La sensibilidad se construyó considerando dos variables: a) índice de rezago social y b) población menor a 11 años y mayor a 60.

Aunque no hay un consenso en la literatura científica sobre la asociación entre diferentes variables socioeconómicas, como la pobreza, y la prevalencia del dengue, ya que se han encontrado relaciones positivas, negativas o nulas (Mulligan et al. 2015; Whiteman et al. 2020, Gao et al. 2021), existe evidencia de que algunas de éstas permiten explicar la distribución espacial, prevalencia o el riesgo de contraer esta zoonosis. Los factores socioeconómicos, la edad y el acceso a servicios de salud, son elementos que ha sido considerados en estudios en los que se abordan diferentes aspectos del dengue (Carabali et al. 2015).

El índice de rezago social, usado como indicador de la sensibilidad, se construyó a partir de los datos generados por el CONEVAL (CONEVAL 2021), para los municipios del Estado en el 2020. El índice de rezago social es un valor que considera diferentes variables usadas en para la medición de pobreza, agregadas en cuatro grupos:

- a) Rezago educativo,
- b) Acceso a los servicios de salud,
- c) Acceso a los servicios básicos en la vivienda,
- d) La calidad y espacios en la vivienda.

Los indicadores usados para construir el índice fueron:

- a) Porcentaje de la población de 15 años y más analfabeta,
- b) Porcentaje de la población de 6 a 14 años que no asiste a la escuela,
- c) Porcentaje de los hogares con población de 15 a 29 años, con algún habitante con menos de 9 años de educación aprobados,
- d) Porcentaje de la población de 15 años o más con educación básica incompleta,
- e) Porcentaje de la población sin derecho habiencia a servicios de salud,

- f) Porcentaje de las viviendas particulares habitadas con piso de tierra,
- g) Porcentaje de las viviendas particulares habitadas que no disponen de excusado o sanitario,
- h) Porcentaje de las viviendas particulares habitadas que no disponen de agua entubada de la red pública,
- i) Porcentaje de las viviendas particulares habitadas que no disponen de drenaje,
- j) Porcentaje de las viviendas particulares habitadas que no disponen de energía eléctrica,
- k) Porcentaje de las viviendas particulares habitadas que no disponen de lavadora
- l) Porcentaje de las viviendas particulares habitadas que no disponen de refrigerador (CONEVAL 2007). Estos datos, distribuidos en formato vectorial, fueron transformados a formato raster con una resolución espacial de ~1 km.

La población sensible, representada por habitantes menores a 10 años y mayores de 60, se construyó con datos a nivel localidad del Censo de Población y Vivienda 2020 (INEGI 2021). El número de habitantes de estos grupos etarios se calculó agregando espacialmente a nivel municipal los valores correspondientes a las localidades y, posteriormente, se calculó el porcentaje de la población total que éstos representan. Los valores obtenidos se transformaron a formato raster con una resolución espacial de ~1 km.

Exposición

Este componente de la vulnerabilidad se construyó mediante dos variables:

- a) Idoneidad climática de los vectores de acuerdo con proyecciones de cambio climático, y
- b) El tamaño poblacional por SSP.

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).

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 5).



FIGURA 5. COMBINACIONES DE LAS CUATRO PROYECCIONES POBLACIONALES POR SSP (DERECHA) Y LAS OCHO PROYECCIONES DE CAMBIO CLIMÁTICO (DERECHA).

Capacidad adaptativa

La variable distancia a servicios de salud se construyó a partir de los datos de las unidades económicas con actividad de servicios de salud y de asistencia social, del Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE) del INEGI (INEGI 2021). Se seleccionaron las unidades con las actividades:

- a) Consultorios de medicina especializada del sector privado,
- b) Consultorios de medicina general del sector privado,
- c) Consultorios de medicina general del sector público,
- d) Otros consultorios del sector privado para el cuidado de la salud,
- e) Clínicas de consultorios médicos del sector público,
- f) Clínicas de consultorios médicos del sector privado,
- g) Hospitales generales del sector público,
- h) Consultorios de medicina especializada del sector público,
- i) Hospitales del sector privado de otras especialidades médicas,
- j) Otros centros del sector privado para la atención de pacientes que no requieren hospitalización,
- k) Hospitales generales del sector privado,
- l) Otros consultorios del sector público para el cuidado de la salud,
- m) Hospitales del sector público de otras especialidades médicas y
- n) Otros centros del sector público para la atención de pacientes que no requieren hospitalización.

Se calculó la distancia de las unidades seleccionadas, representadas espacialmente por puntos, a cada una de las celdas de un raster de la misma extensión y resolución espacial que las variables anteriores.

TABLA 6. 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	Causa et al. 2020; Rocklöv y Dubrow, 2020; Zafar et al. 2021; Cabrera et al. 2022.

Componente	Variable	Justificación	Referencias
		abastecimiento de agua y saneamiento están asociadas a un riesgo alto.	
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

Vulnerabilidad

Para hacer las intercomparables, las variables se normalizaron mediante la fórmula:

$$x_n = \frac{x}{\max(x)}$$

y los valores obtenidos se invirtieron para aquellas cuya contribución al componente respectivo es negativa, es decir, el valor del componente aumenta mientras menor es el valor de la variable. Las variables individuales se sumaron para construir los componentes correspondientes y se aplicó la fórmula para calcular la vulnerabilidad. Los valores continuos obtenidos se clasificaron mediante el método de k-medias para obtener tres clases de vulnerabilidad: 1=Baja, 2=Media 3=Alta.

Dado que se consideraron ocho proyecciones de cambio climático, se obtuvo un número igual de mapas de vulnerabilidad, válidos y plausibles. 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 (Figura 6).

Resultados

En las figuras 7 y 8 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. 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.

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.

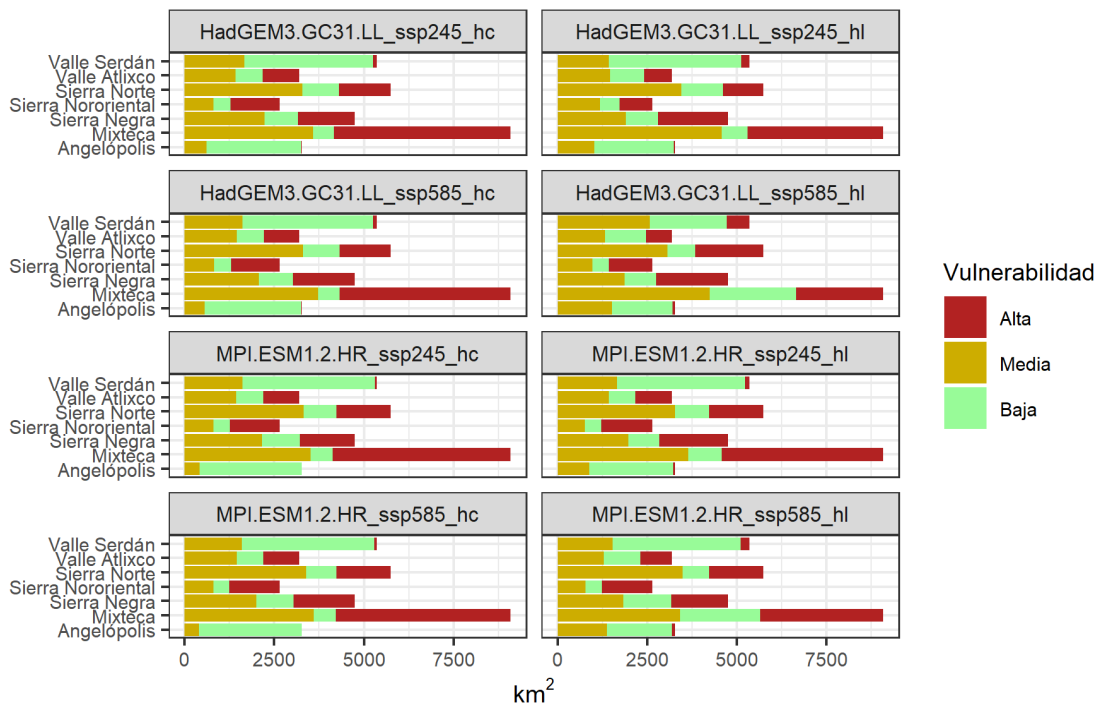


FIGURA 6. SUPERFICIE POR CLASE DE VULNERABILIDAD AL DENGUE PARA LAS REGIONES DEL ESTADO DE ACUERDO CON LAS OCHO PROYECCIONES DE CAMBIO CLIMÁTICO; HC=HORIZONTE CERCANO, HL=HORIZONTE LEJANO.

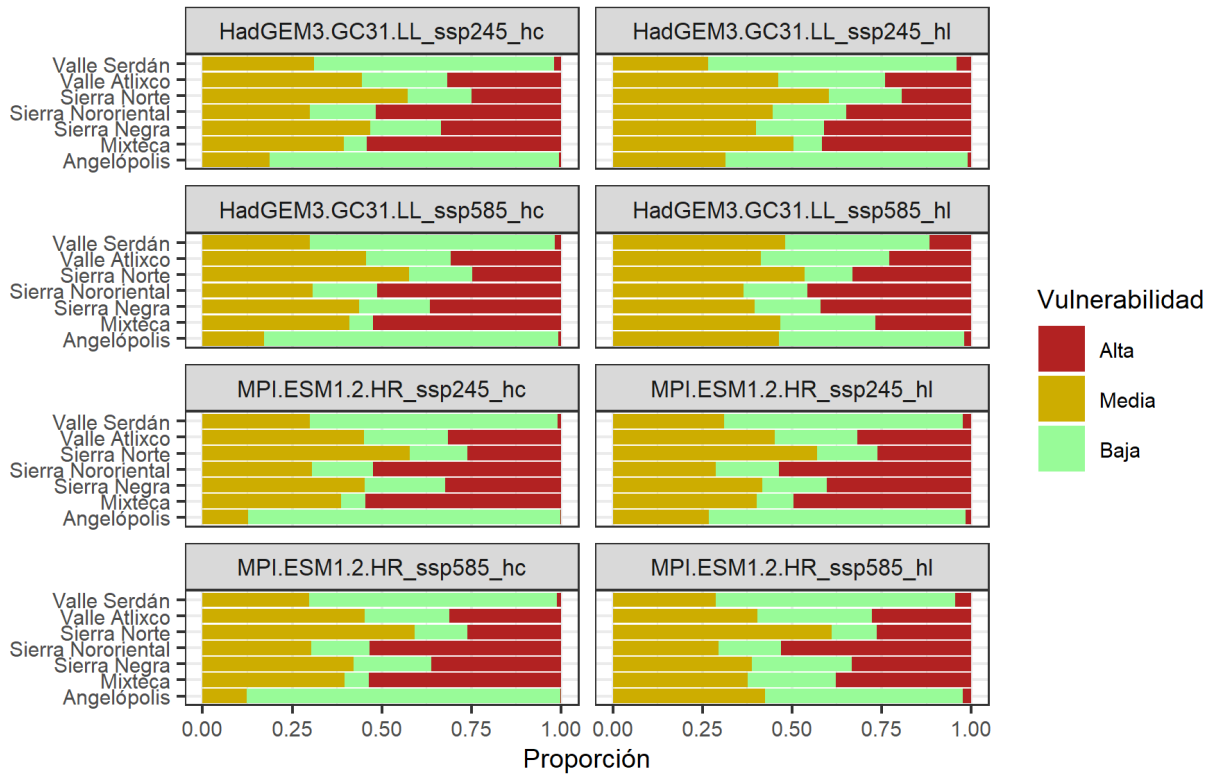


FIGURA 7. PROPORCIÓN POR CLASE DE VULNERABILIDAD AL DENGUE PARA LAS REGIONES DEL ESTADO

De acuerdo con las ocho proyecciones de cambio climático; hc=horizonte cercano, hl=horizonte lejano.

TABLA 7. PORCENTAJE DE SUPERFICIE DE LAS REGIONES CON VULNERABILIDAD AL DENGUE ALTA CONSENSO.

Región	% de superficie
Sierra Nororiental	29.58
Sierra Negra	18.79
Mixteca	18.65
Valle Atlixco	18.42
Sierra Norte	15.84
Valle Serdán	0.42
Angelópolis	0.18

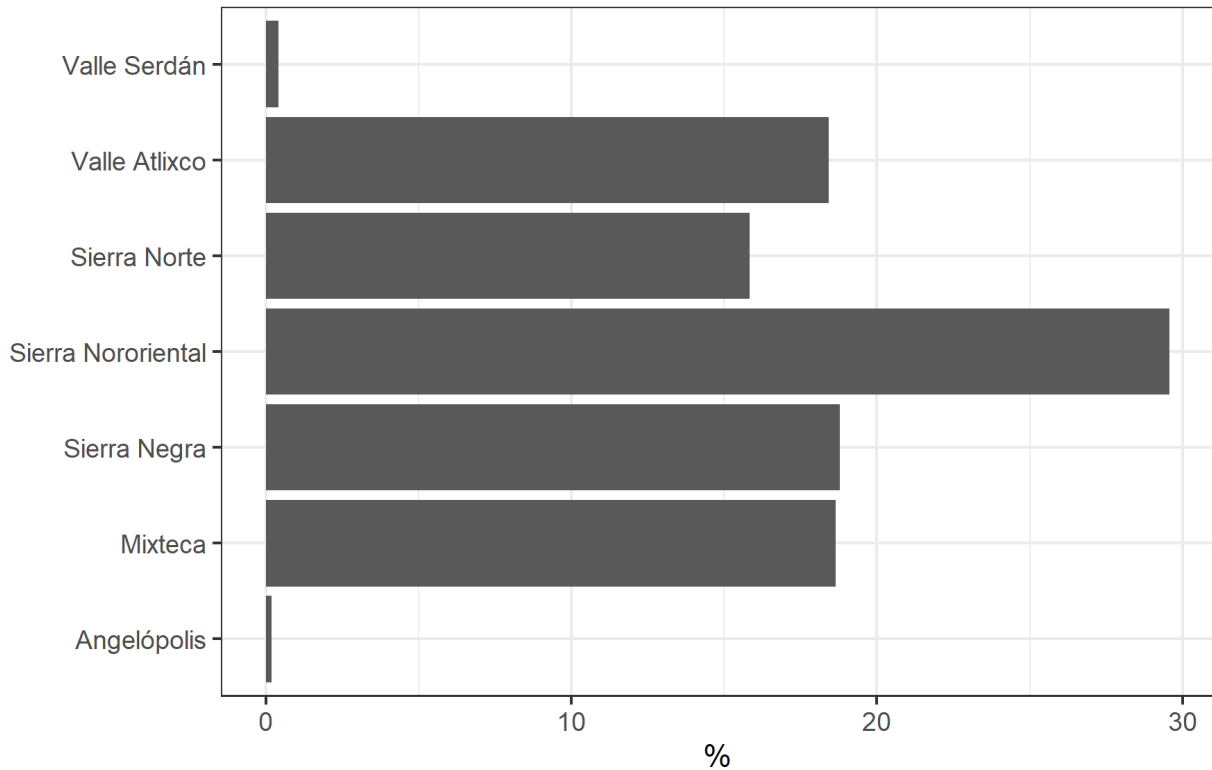
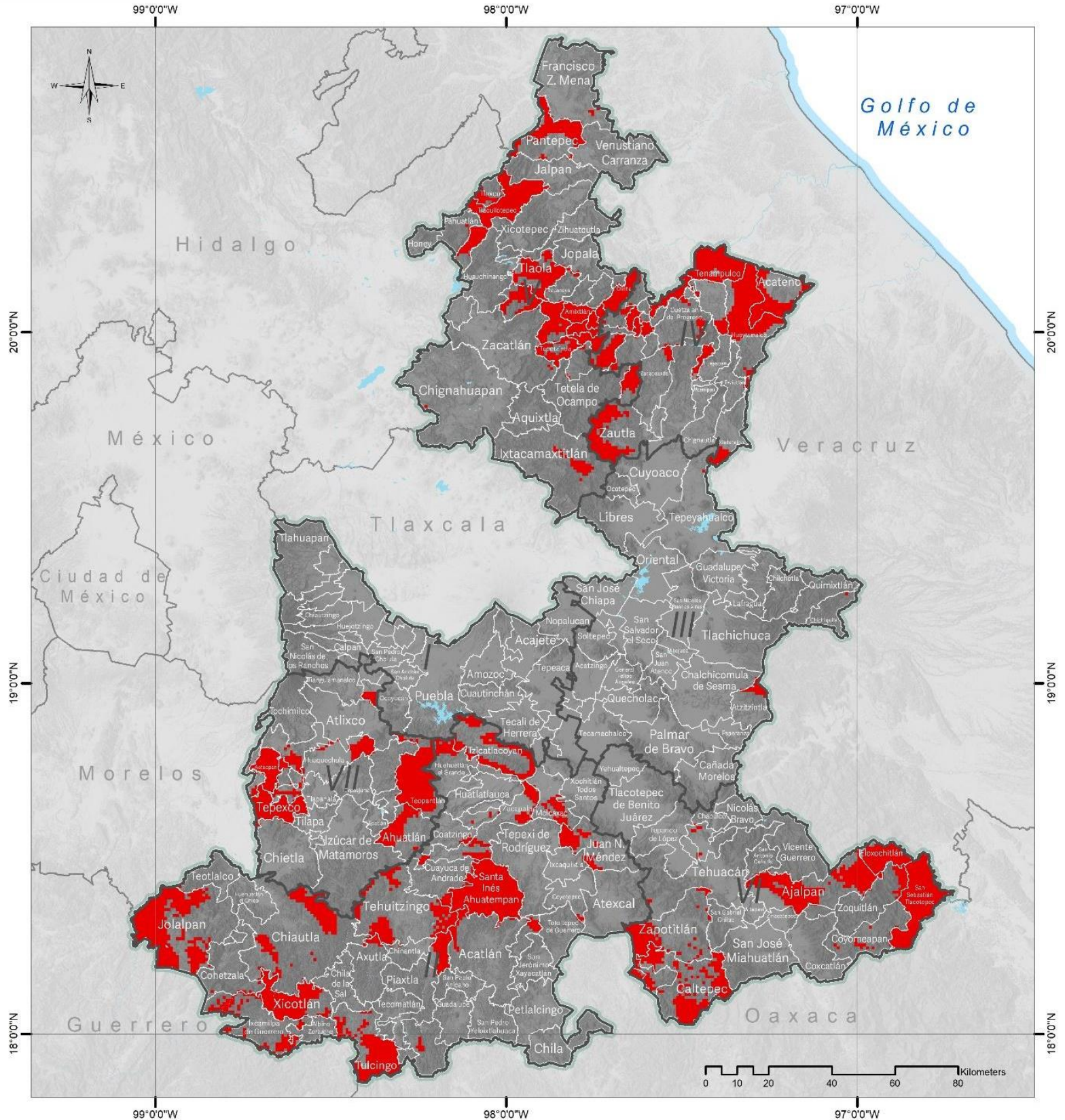


FIGURA 8. PORCENTAJE DE LA SUPERFICIE DE LAS REGIONES DEL ESTADO CON VULNERABILIDAD AL DENGUE ALTA CONSENSO.

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 los que está representada en menor proporción.



Simbología

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

Vulnerabilidad Dengue

- Alta consenso

Regiones Puebla

- I, Angolópolis
- 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 Geoestadístico diciembre 2021, Estado de Puebla, INEGI.

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

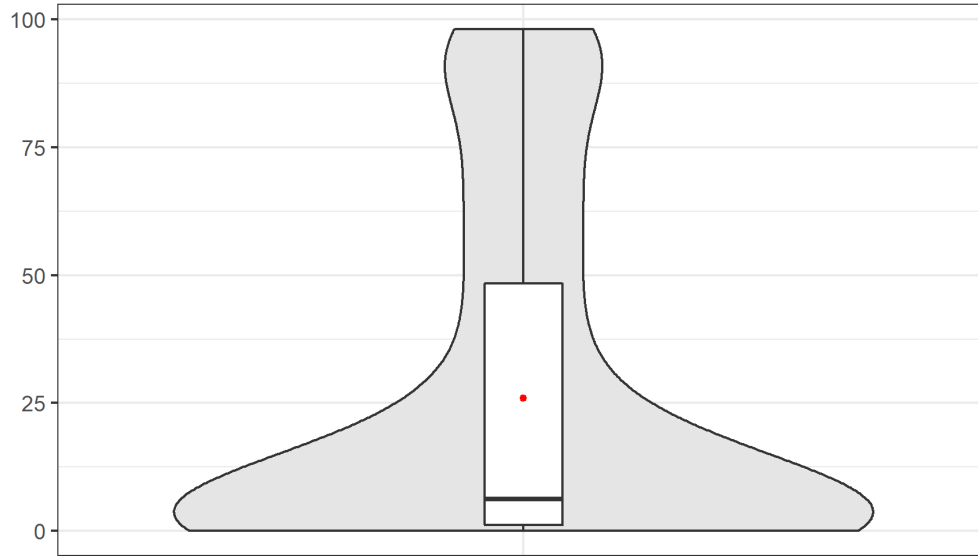


FIGURA 9. DISTRIBUCIÓN DE VALORES DE PORCENTAJE DE SUPERFICIE DE LOS MUNICIPIOS CON VULNERABILIDAD ALTA CONSENSO.

Chagas (tripanosomiasis americana)

La enfermedad de Chagas, también llamada tripanosomiasis americana, es una enfermedad potencialmente mortal causada por el parásito protozoo *Trypanosoma cruzi* (*T. cruzi*). Se calcula que afecta a entre 10 y 12 millones de personas y ocasiona la muerte a más de 10000 al año (Telleria y Tibayrenc et al. 2017). La enfermedad 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 América Latina, el parásito *T. cruzi* se transmite principalmente por contacto con las heces o la orina infectadas de triatominos que se alimentan de sangre. Por lo general, esos insectos que albergan los parásitos viven en las grietas y huecos de paredes y tejados de casas y estructuras exteriores, como gallineros, corrales y almacenes, en zonas rurales y suburbanas. Normalmente permanecen ocultos durante el día y entran en actividad por la noche para alimentarse de la sangre de mamíferos, entre ellos los humanos. En general, pican en zonas expuestas de la piel, como la cara, y defecan/orinan cerca de la picadura. Los parásitos penetran en el organismo cuando la persona picada se frota instintivamente y empuja las heces o la orina hacia la picadura, los ojos, la boca o alguna lesión cutánea abierta (OMS, 2022b; Rojo-Medina et al., 2018).

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 cardíacas (Secretaría de Salud de Puebla, 2022).

La vulnerabilidad por tripanosomiasis americana se calculó considerando cinco variables: a) índice de rezago social, b) riqueza de vectores de acuerdo con ocho proyecciones de cambio climático, c) tamaño poblacional por SSP y d) distancia a servicios de salud y e) Viviendas particulares habitadas que disponen de radio (Tabla 8).

De acuerdo con diferentes modelos de distribución de especies, se sabe que, a excepción de zonas altas de la Sierra Madre Occidental, áreas desérticas de los estados de Durango y Chihuahua, y el límite sur del Cinturón Transvolcánico, México cuenta con una alta riqueza de especies de triatominos (Botello et al. 2022).

Sensibilidad

La sensibilidad está representada por el índice de rezago social. Esta variable se construyó en la forma descrita para el componente de sensibilidad al dengue.

Exposición

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.

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 de 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.

La variable de tamaño poblacional proyectado de acuerdo con las dos SSP y dos horizontes temporales se construyó de la misma forma que para la exposición al Dengue.

Capacidad adaptativa

El componente de capacidad adaptativa se construyó mediante dos variables: a) distancia a servicios de salud y b) viviendas particulares habitadas que disponen de radio.

El método para construir la variable de distancia a servicios de salud es el mismo descrito para la capacidad adaptativa de la vulnerabilidad al dengue.

La cantidad de viviendas particulares con radio se construyó a partir de los datos a nivel localidad del Censo de Población y Vivienda 2020 (INEGI 2021). Esta variable incluye las viviendas particulares habitadas de las categorías: a) casa única en el terreno, b) departamento en edificio, c) vivienda o cuarto en vecindad y d) vivienda o cuarto en azotea y e) a las que no especificaron clase de vivienda. Los datos por localidad se agregaron espacialmente sumando los valores correspondientes a las localidades localizadas dentro de cada celda de un raster de la misma extensión y resolución espacial que el resto de las variables descritas.

**TABLA 8. 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 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 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).

Vulnerabilidad

El cálculo de la vulnerabilidad de la población a la tripanosomiasis americana se realizó de la misma forma descrita para el dengue.

Resultados

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.

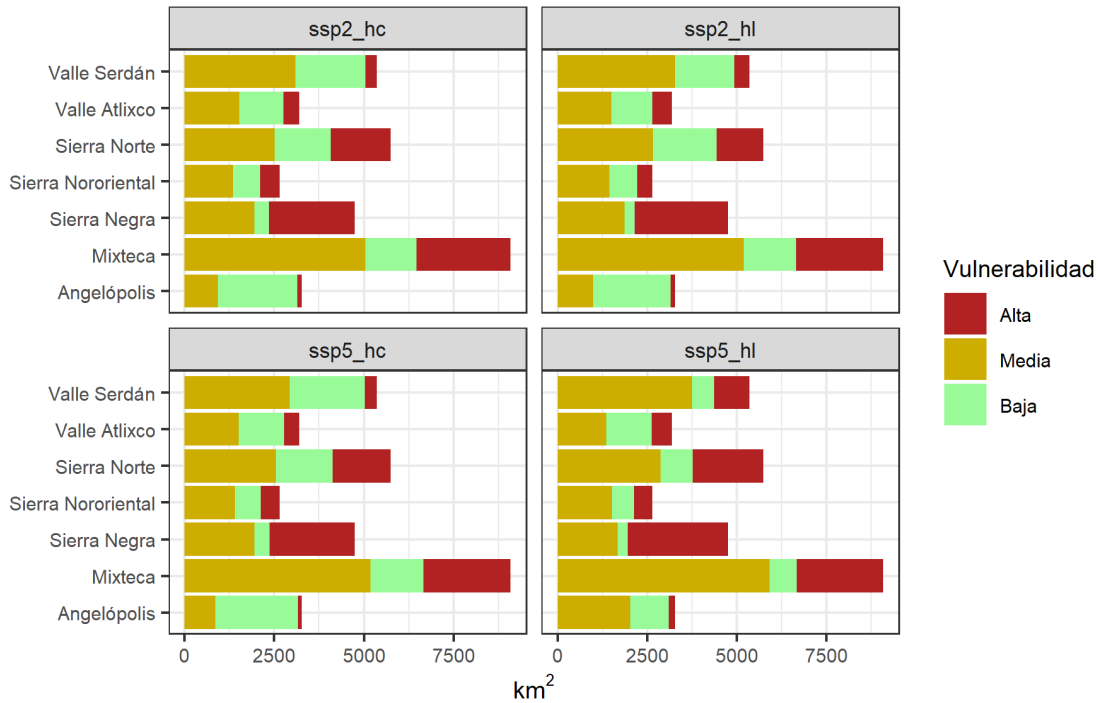


FIGURA 10. SUPERFICIE POR CLASE DE VULNERABILIDAD A LA TRIPANOSOMIASIS AMERICANA PARA LAS REGIONES DEL ESTADO POR SSP Y HORIZONTE TEMPORAL; HL=HORIZONTE CERCANO, HC=HORIZONTE LEJANO.

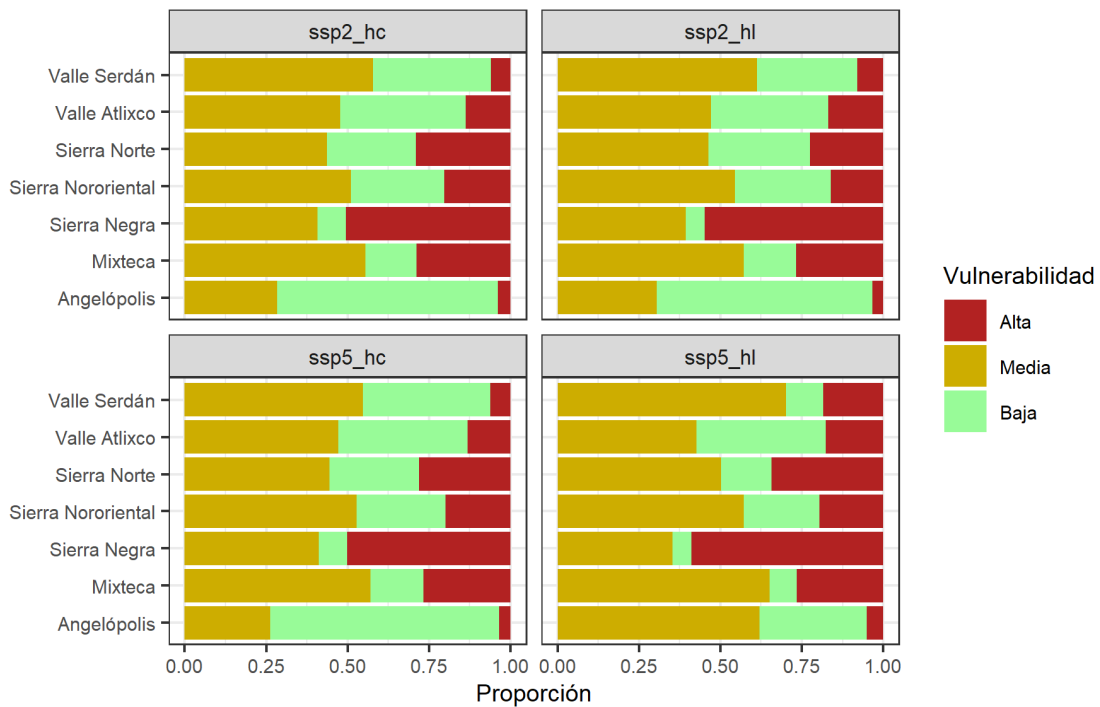


FIGURA 11. PROPORCIÓN POR CLASE DE VULNERABILIDAD A LA TRIPANOSOMIASIS AMERICANA PARA LAS REGIONES DEL ESTADO POR SSP Y HORIZONTE TEMPORAL; HL=HORIZONTE CERCANO, HC=HORIZONTE LEJANO.

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.

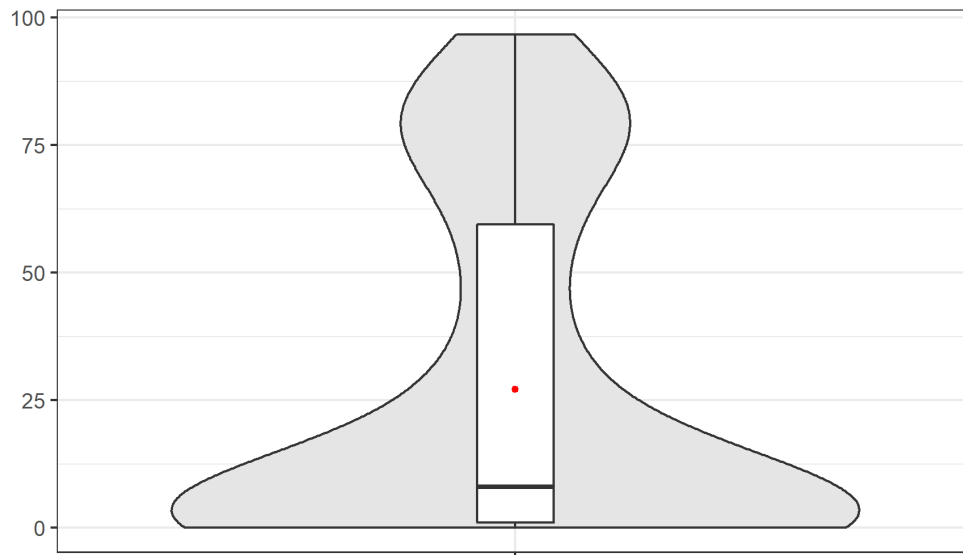


FIGURA 12. DISTRIBUCIÓN DE VALORES DE PORCENTAJE DE SUPERFICIE DE LOS MUNICIPIOS CON VULNERABILIDAD A TRIPANOSOMIASIS AMERICANA ALTA CONSENSO.

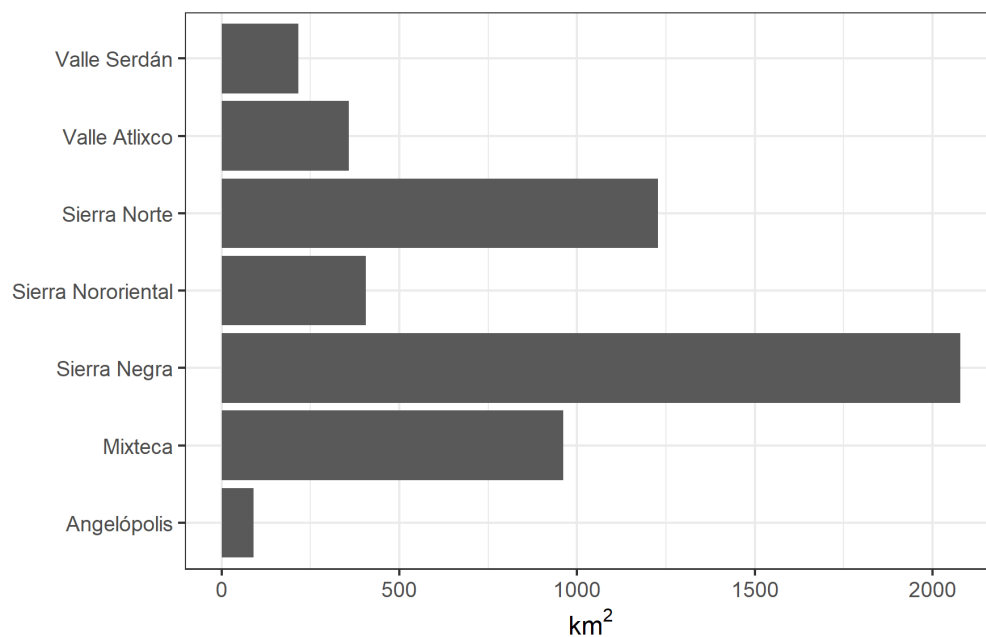


FIGURA 13. PORCENTAJE DE LA SUPERFICIE DE LAS REGIONES DEL ESTADO CON VULNERABILIDAD A LA TRIPANOSOMIASIS AMERICANA ALTA CONSENSO.

99°0'0"W

98°0'0"W

97°0'0"W

20°0'0"N

20°0'0"N

19°0'0"N

19°0'0"N

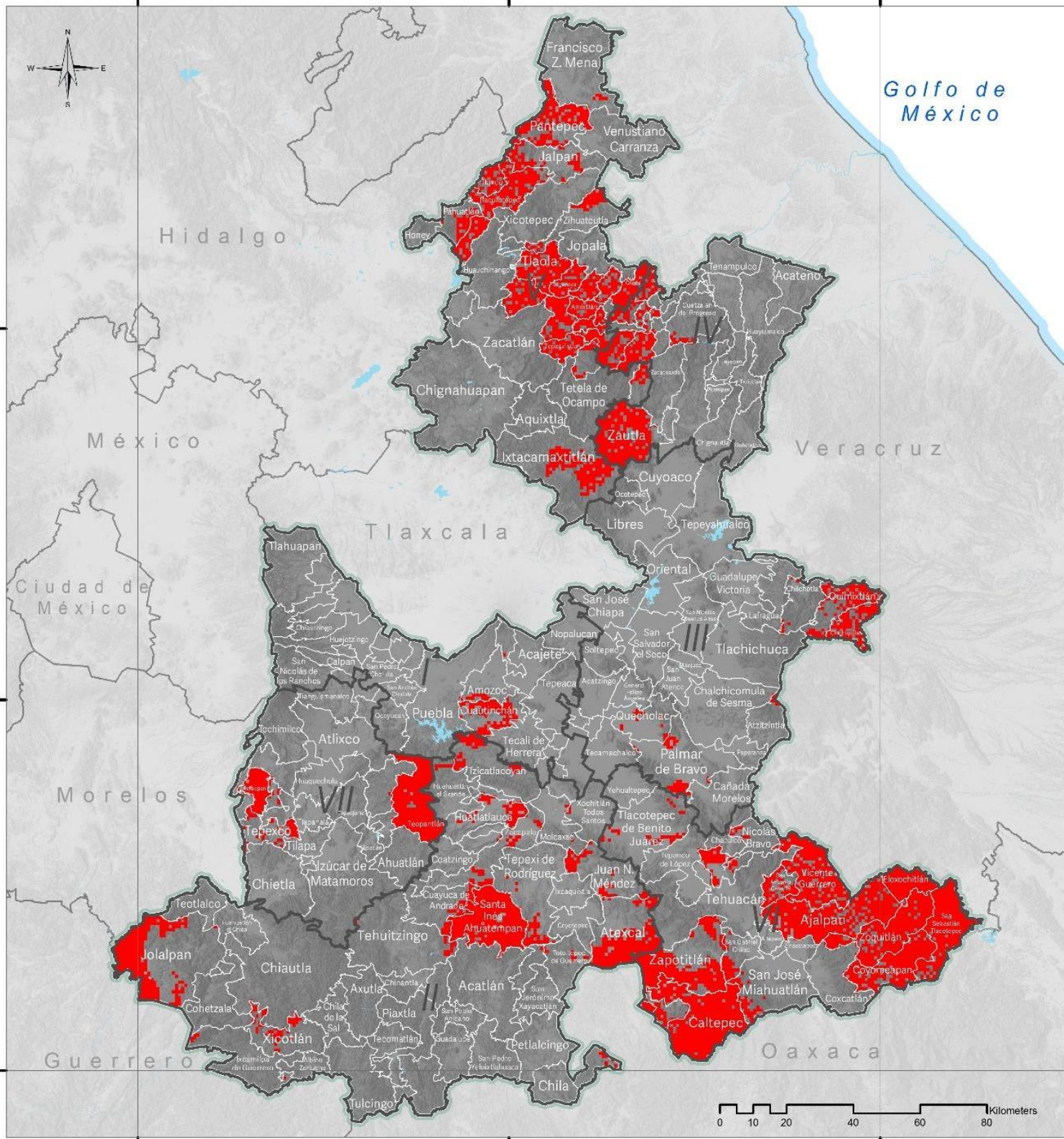
18°0'0"N

18°0'0"N

99°0'0"W

98°0'0"W

97°0'0"W



Simbología

- Límite municipal
- Cuerpos de agua
- Límite del Estado de Puebla
- Límite estatal
- Vulnerabilidad Chagas**
- Alta consenso

- Regiones Puebla**
- I, Angelópolis
 - II, Mixtoca
 - 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 Geoestadístico diciembre 2021, Estado de Puebla, INEGI.

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

REFERENCIAS

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.

Atkinson, R. W., Butland, B. K., Dimitroulopoulou, C., Heal, M. R., Stedman, J. R., Carslaw, N., Jarvis, D., Heaviside, C., Vardoulakis, S., Walton, H., & Anderson, H. R., 2016. Long-term exposure to ambient ozone and mortality: a quantitative systematic review and meta-analysis of evidence from cohort studies. *BMJ Open*, 6(2). <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2015-009493>

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>

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>

Bordignon, J., Probst, C., Mosimann, A. L. P., Stella, V., Pavoni, D., Buck, G., Fawcett, P., Zanata, S. M., Noronha, L., Krieger, M., & Santos, C. N. D. Dos, 2008. Dengue virus pathogenesis in mouse central nervous system: studies on host response to dengue virus infection. *BMC Proceedings*, 2(S1), 1. <https://doi.org/10.1186/1753-6561-2-s1-p8>

Botello, F., Castañeda S., Sarmiento J., y Sánchez-Cordero V., 2022. Una Sola Salud. Las Zoonosis y las Áreas Naturales Protegidas de la Región Centro de México. Conservación de la Biodiversidad en el Eje Neovolcánico (COBEN II) – Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas, Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Conservación Biológica y Desarrollo Social, A. C. Ciudad de México, México.

Bravo, M. A., Son, J., de Freitas, C. U., Gouveia, N., & Bell, M. L., 2016. Air pollution and mortality in São Paulo, Brazil: Effects of multiple pollutants and analysis of susceptible populations. *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology*, 26(2), 150–161. <https://doi.org/10.1038/jes.2014.90>

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]. <http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-76887-8><http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-93594-2><http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-409517-5.00007-3><http://dx.doi.org/10.1016/j.jff.2015.06.018><http://dx.doi.org/10.1038/s41559-019-0877-3>

Carabali, M., Hernandez, L. M., Arauz, M. J., Villar, L. A., y Ridde, V., 2015. Why are people with dengue dying? A scoping review of determinants for dengue mortality. *BMC infectious diseases*, 15(1), 1-14.

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.

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.

CONEVAL, 2007. Los mapas de Pobreza en México: anexo técnico metodológico. Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social. México.

Crouse, D. L., Peters, P. A., Villeneuve, P. J., Proux, M.-O., Shin, H. H., Goldberg, M. S., Johnson, M., Wheeler, A. J., Allen, R. W., Atari, D. O., Jerrett, M., Brauer, M., Brook, J. R., Cakmak, S., & Burnett, R. T., 2015. Within- and between-city contrasts in nitrogen dioxide and mortality in 10 Canadian cities; a subset of the Canadian Census Health and Environment Cohort (CanCHEC). *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology*, 25(5), 482-489. <https://doi.org/10.1038/jes.2014.89>

Domínguez-Rodríguez, A., Abreu-Afonso, J., Gonzalez, Y., Rodríguez, S., Juárez-Prera, R. A., Arroyo-Ucar, E., Jiménez-Sosa, A., Abreu-González, P., & Avanzas, P., 2013. Relación entre exposición a corto plazo a dióxido de azufre atmosférico y lesiones obstructivas en el síndrome coronario agudo. *Medicina Clínica*, 140(12), 537–541. <https://doi.org/10.1016/j.medcli.2012.05.040>

Estévez-García, J. A., Schilmann, A., Riojas-Rodríguez, H., Berrueta, V., Blanco, S., Villaseñor-Lozano, C. G., Flores-Ramírez, R., Cortez-Lugo, M., & Pérez-Padilla, R., 2020. Women exposure to household air pollution after an improved cookstove program in rural San Luis Potosi, Mexico. *Science of the Total Environment*, 702. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134456>

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.

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.

Franklin, J., 2010. *Mapping species distributions: spatial inference and prediction*. Cambridge University Press.

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).

Gao, P., Pilot, E., Rehbock, C., Gontariuk, M., Doreleijers, S., Wang, L., ... y Liu, Q., 2021. Land use and land cover change and its impacts on dengue dynamics in China: A systematic review. *PLoS Neglected Tropical Diseases*, 15(10), e0009879.

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.

Goldberg, M. S., Burnett, R. T., Stieb, D. M., Brophy, J. M., Daskalopoulou, S. S., Valois, M.-F., & Brook, J. R., 2013. Associations between ambient air pollution and daily mortality among elderly persons in Montreal, Quebec. *Science of The Total Environment*, 463–464, 931–942. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.06.095>

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.

Guo, Y., Tong, S., Li, S., Barnett, A. G., Yu, W., Zhang, Y., & Pan, X., 2010. Gaseous air pollution and emergency hospital visits for hypertension in Beijing, China: a time-stratified case-crossover study. *Environmental Health*, 9(1), 57. <https://doi.org/10.1186/1476-069X-9-57>

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>

Hamra, G. B., Laden, F., Cohen, A. J., Raaschou-Nielsen, O., Brauer, M., & Loomis, D., 2015. Lung Cancer and Exposure to Nitrogen Dioxide and Traffic: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Environmental Health Perspectives*, 123(11), 1107–1112. <https://doi.org/10.1289/ehp.1408882>

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.

Héroux, M.-E., Anderson, H. R., Atkinson, R., Brunekreef, B., Cohen, A., Forastiere, F., Hurley, F., Katsouyanni, K., Krewski, D., Krzyzanowski, M., Künzli, N., Mills, I., Querol, X., Ostro, B., & Walton, H., 2015. Quantifying the health impacts of ambient air pollutants: recommendations of a WHO/Europe project. *International Journal of Public Health*, 60(5), 619–627. <https://doi.org/10.1007/s00038-015-0690-y>

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>

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.

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

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, 2021. Censo de Población y Vivienda 2020. Censo de Población y Vivienda 2020 por Municipio.

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.

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.

Tempalski, B., 2009. Extended follow-up and spatial analysis of the American Cancer Society study linking particulate air pollution and mortality. *Research Report (Health Effects Institute)*, 140, 5–114; discussion 115–36. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19627030>

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>

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

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.

Medina, S., le Tertre, A., Saklad, M., & on behalf of the Apehis Collaborative Network, on behalf of the A. C., 2009. The Apehis 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.

Mulligan, K., Dixon, J., Joanna Sinn, C. L., y Elliott, S. J., 2015. Is dengue a disease of poverty? A systematic review. *Pathogens and global health*, 109(1), 10-18.

Nadadur, S. S., & Hollingsworth, J. W., 2015. *Air Pollution and Health Effects* (M. and I. Toxicology, Ed.; 1st ed.). Humana Press.

OMS, 2014. WHO | Health Impact Assessment. WHO; World Health Organization. <http://www.who.int/hia/en/>

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-\(american-trypanosomiasis\)](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/chagas-disease-(american-trypanosomiasis))

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).

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>

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>

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.

Qian, Y., Zhu, M., Cai, B., Yang, Q., Kan, H., Song, G., Jin, W., Han, M., & Wang, C., 2013. Epidemiological evidence on association between ambient air pollution and stroke mortality. *Journal of Epidemiology and Community Health*, 67(8), 635–640. <https://doi.org/10.1136/jech-2012-201096>

Quiroz Carranza, J. A., Cantú Gutiérrez, C., & García Martínez, R., 2021. Entre humo y arcilla: contaminación ambiental y sobrevivencia humana en la producción artesanal de ladrillos (Primera). Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático, Universidad Nacional Autónoma de México.

Ramsey, J. M., Peterson, A. T., Carmona-Castro, O., Moo-Llanes, D. A., Nakazawa, Y., Butrick, M., ... y Ibarra-Cerdeña, C. N., 2015. Atlas of Mexican Triatominae (Reduviidae: Hemiptera) and vector transmission of Chagas disease. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz*, 110, 339-352.

Rocklöv, J., y Dubrow, R., 2020. Climate change: an enduring challenge for vector-borne disease prevention and control. *Nature immunology*, 21(5), 479-483.

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.

Rojas-Bracho, L., & Garibay-Bravo, V., 2003. Las partículas suspendidas, aeropartículas o aerosoles: ¿hacen daño a la salud?; ¿podemos hacer algo? *Gaceta Ecológica*, 69(octubre-diciembre), 29–44.

Rojo-Medina, J., Ruiz-Matus, C., Salazar-Schettino, P. M., & González-Roldán, J. F., 2018. Enfermedad de Chagas en México. *Gaceta Medica de Mexico*, 154(5), 605–612. <https://doi.org/10.24875/GMM.18004515>

Saez, M., Ballester, F., Barceló, M. A., Pérez-Hoyos, S., Bellido, J., Tenías, J. M., Ocaña, R., Figueiras, A., Arribas, F., Aragonés, N., Tobías, A., Cirera, L., Cañada, A., & EMECAM, 2002. A combined analysis of the short-term effects of photochemical air pollutants on mortality within the EMECAM project. *Environmental Health Perspectives*, 110(3), 221–228.

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>

Shah, A. S. V, Langrish, J. P., Nair, H., McAllister, D. A., Hunter, A. L., Donaldson, K., Newby, D. E., & Mills, N. L., 2013. Global association of air pollution and heart failure: a systematic review and meta-analysis. *Lancet* (London, England), 382(9897), 1039–1048. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(13\)60898-3](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(13)60898-3)

Shupler, M., Godwin, W., Frostad, J., Gustafson, P., Arku, R. E., & Brauer, M., 2018. Global estimation of exposure to fine particulate matter (PM_{2.5}) from household air pollution. *Environment International*, 120, 354–363. <https://doi.org/10.1016/J.ENVINT.2018.08.026>

SMADSOT. (2021). Datos proporcionados por la Dirección de Calidad del Aire de la SMADSOT. SMADSOT.

Tao, Y., Zhong, L., Huang, X., Lu, S.-E., Li, Y., Dai, L., Zhang, Y., Zhu, T., & Huang, W., 2011. Acute mortality effects of carbon monoxide in the Pearl River Delta of China. *Science of The Total Environment*, 410–411, 34–40. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2011.09.004>

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.

Telleria, J., y Tibayrenc, M. (Eds.). (2017). American trypanosomiasis Chagas disease: one hundred years of research. Elsevier.

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.

Tong, L., Li, K., & Zhou, Q., 2014. Promoted relationship of cardiovascular morbidity with air pollutants in a typical Chinese urban area. *PloS One*, 9(9), e108076. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0108076>

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).

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>

Whiteman, A., Loaiza, J. R., Yee, D. A., Poh, K. C., Watkins, A. S., Lucas, K. J., ... y Oguzie, J. U., 2020. Do socioeconomic factors drive Aedes mosquito vectors and their arboviral diseases? A systematic review of dengue, chikungunya, yellow fever, and Zika Virus. *One Health*, 11, 100188.

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, 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.

Yitshak-Sade, M., Kloog, I., Zanobetti, A., & Schwartz, J. D., 2019. Estimating the causal effect of annual PM2.5 exposure on mortality rates in the Northeastern

and mid-Atlantic states. *Environmental Epidemiology*, 3(4).
<https://doi.org/10.1097/EE9.0000000000000052>

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.

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.