

ESCENARIOS DE **CAMBIO CLIMÁTICO**

Y SUS IMPLICACIONES EN EL **DESARROLLO URBANO** DEL MUNICIPIO DE PUEBLA



ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO Y SUS IMPLICACIONES EN EL DESARROLLO URBANO DEL MUNICIPIO DE PUEBLA

2025

CONTENIDO

01. MARCO CONCEPTUAL Y METODOLÓGICO	5
01.1. Marco conceptual.....	5
01.2. Marco institucional.....	8
01.3. Metodología	9
02. CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA DEL MUNICIPIO	12
02.1. Clima predominante.....	12
02.2. Temperatura.....	13
02.3. Precipitación.....	18
03. PRINCIPALES COMPONENTES DEL DESARROLLO URBANO MUNICIPAL	24
03.1. Población y vivienda.....	24
03.2. Expansión y estructura urbana.....	26
03.3. Infraestructura y servicios públicos	29
03.4. Movilidad urbana	32
03.5. Riesgos naturales.....	34
03.6. Área naturales y deterioro ambiental.....	36
04. ESCENARIOS CLIMÁTICOS	40
04.1. Escenarios al año 2039	42
04.2. Escenarios al año 2069	47
05. IMPLICACIONES URBANAS DEL CAMBIO CLIMÁTICO	57
Implicaciones al medio natural.....	57
Implicaciones socioeconómicas.....	58
Implicaciones a la infraestructura y los servicios públicos.....	59
Implicaciones en riesgos naturales	60
06. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	62

Introducción

El cambio climático constituye uno de los principales retos globales del siglo XXI debido a los impactos que genera en los sistemas naturales, económicos y sociales, así como en la configuración del territorio y de los espacios urbanos. La evidencia científica reciente demuestra que el aumento sostenido de la temperatura media global, los cambios en los patrones de precipitación y la mayor frecuencia e intensidad de fenómenos hidrometeorológicos extremos han dejado de ser escenarios hipotéticos para convertirse en realidades palpables en distintas escalas territoriales (IPCC, 2023).

En este contexto, las ciudades representan espacios particularmente vulnerables al concentrar la mayor parte de la población, la infraestructura básica, las actividades económicas y los sistemas de servicios públicos. Al mismo tiempo, son actores centrales en la generación de emisiones de gases de efecto invernadero, lo que las coloca en una doble condición: contribuyentes al cambio climático y, a la vez, receptoras de sus efectos.

El municipio de Puebla, como núcleo central de la zona metropolitana Puebla-Tlaxcala, no está exento de esta problemática. Su posición geográfica en la cuenca del Valle de Puebla, la complejidad de su relieve, la diversidad climática y la intensa dinámica urbana condicionan una elevada exposición a riesgos naturales y climáticos. A ello se suma una estructura urbana que, en las últimas décadas, ha experimentado un proceso acelerado de expansión hacia la periferia, caracterizado por la dispersión habitacional, la presión sobre áreas de valor ambiental y la creciente desigualdad en el acceso a infraestructura y servicios básicos (IMPLAN, 2023). Estos factores amplifican la vulnerabilidad de la ciudad frente a escenarios de cambio climático y hacen indispensable incorporar una visión de resiliencia en la planeación urbana y en las políticas públicas municipales.

El presente documento tiene como propósito analizar los escenarios de cambio climático proyectados para el municipio de Puebla y evaluar sus implicaciones en el desarrollo urbano, con el fin de identificar riesgos, vulnerabilidades y oportunidades de adaptación. La investigación se apoya en modelos y escenarios climáticos regionalizados, contruidos a partir de variables fundamentales como la temperatura media anual, las temperaturas extremas y la precipitación total y estacional. Esta información se contrasta con la caracterización climática actual y con los principales componentes del desarrollo urbano, lo que permite valorar los posibles impactos en la población, la vivienda, la infraestructura, los servicios públicos y el medio natural.

De manera particular, el documento se estructura en cinco apartados. El primero presenta el marco conceptual y metodológico, donde se definen los enfoques de

vulnerabilidad y resiliencia urbana, así como la base institucional y normativa que sustenta la atención al cambio climático en México. El segundo describe la caracterización climática del municipio, a partir de datos históricos que permiten establecer una línea base. El tercero aborda los principales componentes del desarrollo urbano, incluyendo población, vivienda, expansión territorial, infraestructura, movilidad y riesgos naturales. El cuarto desarrolla los escenarios climáticos y sus implicaciones urbanas, destacando los impactos en el medio natural, en la estructura socioeconómica, en los servicios urbanos y en la gestión de riesgos. Finalmente, el quinto apartado presenta conclusiones y recomendaciones orientadas a fortalecer la resiliencia urbana del municipio de Puebla.

En síntesis, este documento busca aportar un análisis integral que vincule la ciencia climática con la planeación territorial y la gestión urbana. El propósito es ofrecer un marco de referencia para que las autoridades municipales, los tomadores de decisiones, la academia y la sociedad civil cuenten con elementos técnicos que permitan anticipar y enfrentar los retos del cambio climático. De esta manera, se pretende contribuir a la construcción de una ciudad más resiliente, equitativa y sostenible, capaz de adaptarse a los escenarios climáticos futuros y de garantizar mejores condiciones de habitabilidad para sus habitantes.

01. MARCO CONCEPTUAL Y METODOLÓGICO

01.1. Marco conceptual

El cambio climático constituye uno de los principales desafíos globales de este siglo debido a los efectos que genera sobre los sistemas naturales y sociales. De acuerdo con el Panel Intergubernamental de Cambio Climático de la ONU (IPCC, 2023), el cambio climático se define como “la variación del estado del clima atribuible directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera y que se suma a la variabilidad natural observada en periodos comparables”. Estas modificaciones se expresan en un incremento sostenido de la temperatura media global, cambios en los patrones de precipitación, aumento en la frecuencia e intensidad de fenómenos extremos, así como en la elevación del nivel del mar.

El Sexto Informe de Evaluación del IPCC: Cambio Climático 2023 (IPCC, 2023) señala que *“las emisiones de gases de efecto invernadero, producto de las actividades humanas, han causado inequívocamente el calentamiento global, con una temperatura superficial media del planeta que alcanzó 1.1 °C, en el periodo 2011 y 2020, por encima de la registradas entre 1850-1900”*.

El IPCC señala también que se han producido cambios generalizados y rápidos en la atmósfera, el océano, la criosfera y la biosfera, por lo que el cambio climático antropogénico ya está afectando a numerosos fenómenos meteorológicos y climáticos extremos en todas las regiones del mundo, siendo las comunidades vulnerables, que históricamente han contribuido menos al cambio climático actual, las que han sido afectadas de forma desproporcionada.

El Sexto Informe del IPCC, señala también que es muy probable que el calentamiento general del planeta supere los 1,5 °C durante el siglo XXI e incluso sobrepase los 2 °C respecto a la temperatura promedio de la época preindustrial, lo que supone la profundización de sus efectos, haciéndolos múltiples y recurrentes con impactos en múltiples ámbitos y en todas las escalas, incluyendo sistemas sociales, económicos, ambientales y territoriales.

Vulnerabilidad y resiliencia urbana

En este contexto, las ciudades representan unidades geográficas de particular relevancia en la evolución del cambio climático, ya que destacan como espacios de concentración de emisiones a la atmósfera de gases de efecto invernadero por la quema de combustibles fósiles para actividades industriales, servicios y transporte, además de la concentración de población e infraestructuras susceptibles de sufrir los efectos de las modificaciones del clima.

En esta temática, los enfoques de vulnerabilidad y resiliencia urbana resultan especialmente útiles para diseñar e implementar medidas de adaptación al cambio climático. Así, el IPCC (2014) define la vulnerabilidad como el grado en que un sistema es susceptible o incapaz de hacer frente a los efectos adversos del cambio climático, incluyendo la variabilidad climática y los fenómenos extremos. Dicha condición depende de tres factores fundamentales: la exposición, entendida como el grado en que las personas o los activos se encuentran en contacto con amenazas climáticas; la sensibilidad, que se refiere a la predisposición a sufrir daños; y la capacidad de adaptación, que corresponde a la habilidad para ajustarse, reducir impactos potenciales y aprovechar oportunidades (Ureta, et al, 2024). En este sentido, la vulnerabilidad no solo está determinada por las condiciones físicas del entorno, sino también por factores sociales, económicos, culturales e institucionales que limitan la capacidad de los individuos y de las comunidades para responder.

En el medio urbano, especialmente de países en vías de desarrollo, la vulnerabilidad a los efectos del cambio climático, presenta particularidades derivadas de la concentración poblacional, la desigualdad socioeconómica de la población y el acceso inequitativo de recursos y servicios. Adicionalmente, la vulnerabilidad urbana al cambio climático se ve condicionada por variables estructurales como el nivel de ingresos, la edad, el género o la pertenencia étnica de la población, lo que a su vez definen desigualdades en la exposición y en las capacidades de respuesta. De esta manera, los asentamientos precarios, caracterizados por carencias en infraestructura, localización en zonas de riesgo y condiciones de marginación, se encuentran entre los más expuestos a los efectos adversos del cambio climático (IPCC, 2022).

Por su parte, la noción de resiliencia urbana destaca como un enfoque integral para planificar ciudades capaces de enfrentar perturbaciones y transformarse en contextos de incertidumbre, particularmente las derivadas del cambio climático. De acuerdo con Meerow et al. (2016), la resiliencia urbana puede definirse como la capacidad de un sistema urbano —incluyendo a sus habitantes, infraestructura, economía y ecosistemas— para resistir, absorber, adaptarse y recuperarse de los impactos de amenazas, manteniendo al mismo tiempo sus funciones esenciales, su identidad y su capacidad de aprendizaje.

Desde esta perspectiva, una ciudad resiliente no es únicamente aquella que se protege frente a los desastres mediante infraestructura, sino aquella que fortalece sus capacidades sociales, económicas e institucionales para reducir riesgos, anticiparse a eventos extremos y generar mecanismos de recuperación más rápidos y equitativos (Chelleri et al., 2015).

Adicionalmente, diversos organismos internacionales han señalado la necesidad de incorporar la perspectiva de gobernanza inclusiva y de justicia climática en el diseño e instrumentación de estrategias de resiliencia urbana, lo que implica reconocer que

los impactos del cambio climático no afectan de manera homogénea a toda la población, sino que tienden a concentrarse en los grupos más vulnerables, reproduciendo desigualdades estructurales (IPCC, 2022). Así, la construcción de resiliencia urbana, considerando los efectos del cambio climático, requiere entonces de procesos participativos, multisectoriales y multinivel, que fortalezcan la capacidad de los gobiernos locales y promuevan la corresponsabilidad social en la gestión del riesgo y en la adaptación climática.

Modelos y escenarios climáticos

Respecto al conocimiento para la adaptación a los efectos del cambio climático, múltiples autores señalan la necesidad de identificar, caracterizar y entender los cambios de largo plazo de variables como la temperatura media y extremas máxima y mínima, así como el volumen de precipitación, tanto normal como en condiciones máximas (Porrúa, et. al, 2023). En este sentido, diversas instituciones de investigación han desarrollado modelos climáticos, basados en la circulación general de la atmósfera bajo supuestos de emisiones de gases de efecto invernadero, los cuales permiten plantear escenarios climáticos a escala global y con enfoques regionales que aportan información específica sobre condiciones de temperatura y precipitación esperadas para el corto, mediano y largo plazo (Ureta, et al, 2024).

En particular, los modelos climáticos pueden definirse como “representaciones numéricas del sistema climático, basadas en las propiedades físicas, químicas y biológicas de sus componentes y en sus interacciones” mientras que los escenarios climáticos se entienden como “descripciones coherentes, internamente consistentes y plausibles de una posible evolución futura del clima, por lo que no son predicciones, sino posibilidades, que dependen de factores cuyo desarrollo no siempre se puede prever, como eventos naturales extremos, el impacto de actividades antrópicas y la variabilidad interna propia del clima” (Ureta, et al, 2024).

En este sentido, la inclusión de las condiciones climáticas futuras en la planificación urbana, en particular la temperatura y precipitación, basadas en escenarios climáticos, se constituyen como herramientas técnicas de gran utilidad, e incluso indispensables, para la conformación de ciudades resilientes, ya que permiten visualizar los posibles efectos del cambio climático en variables territoriales esenciales para el desarrollo urbano, primordialmente en los riesgos hidrometeorológicos a los que están expuestas las ciudades, como sequías acentuadas, eventos de precipitación y temperaturas extremas, así como la disponibilidad de agua potable y las necesidades de infraestructura urbana y servicios públicos (Currie & Pérez, 2021).

01.2. Marco institucional

A nivel internacional, la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) firmada en 1992 por 198 países, incluido México, y que entró en vigor el 21 de marzo de 1994, representa el mayor acuerdo internacional que permite a sus integrantes sumar esfuerzos para la mitigación y la adaptación al cambio climático global. A través de este instrumento, la comunidad internacional reconoció la existencia del fenómeno del cambio climático y se comprometió a *“actuar en interés de la seguridad humana incluso ante la incertidumbre científica”* (ONU, 1992). La Convención Marco definió como objetivo *“estabilizar las concentraciones de gases de efecto invernadero a un nivel que impida interferencias antropógenas (inducidas por el hombre) peligrosas en el sistema climático”,* y estableció que *“ese nivel debería alcanzarse en un plazo suficiente para permitir que los ecosistemas se adapten naturalmente al cambio climático, asegurar que la producción de alimentos no se vea amenazada y permitir que el desarrollo económico prosiga de manera sostenible”* (Idem).

Como resultado de este compromiso, en 1998 se firmó el Protocolo de Kioto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, que entró en vigor en 2005, a través del cual se establecieron metas y compromisos de reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero. Este instrumento fue sustituido en 2015 por el Acuerdo de París, que ratificó los compromisos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero por los 197 países firmantes y estableció la meta de mantener el incremento de la temperatura global por debajo de los 2°C, preferentemente por debajo de los 1.5°C, respecto a la temperatura de la época preindustrial.

Este marco internacional derivó en la conformación de un marco legal e institucional en México en materia de cambio climático desde la década de los años 90 del siglo pasado. Actualmente, la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos en su artículo 4º, párrafo sexto, señala que *“toda persona tiene derecho a un medio ambiente sano para su desarrollo y bienestar. El Estado garantizará el respeto a este derecho”,* lo que incluye la atención al cambio climático.

En particular, la Ley General de Cambio Climático, promulgada en el año 2012, establece en su Artículo 5o que *“la federación, las entidades federativas y los municipios ejercerán sus atribuciones para la mitigación y adaptación al cambio climático, de conformidad con la distribución de competencias prevista en esta ley y en los demás ordenamientos legales aplicables”,* lo que establece un marco legal para el diseño y la implementación de políticas públicas en los tres niveles de gobierno en materia de cambio climático.

De la Ley General de Cambio Climático destaca la atribución municipal definida en el Artículo 9o, fracciones I y II de *“formular, conducir y evaluar la política municipal en*

materia de cambio climático en concordancia con la política nacional y estatal”, además de “formular e instrumentar políticas y acciones para enfrentar al cambio climático en congruencia con el Plan Nacional de Desarrollo, la Estrategia Nacional, el Programa, el Programa estatal en materia de cambio climático y con las leyes aplicables, en las siguientes materias:

- a) Prestación del servicio de agua potable y saneamiento;*
- b) Ordenamiento ecológico local y desarrollo urbano;*
- c) Recursos naturales y protección al ambiente de su competencia;*
- d) Protección civil;*
- e) Manejo de residuos sólidos municipales;*
- f) Transporte público de pasajeros eficiente y sustentable en su ámbito jurisdiccional;”*

En relación con los instrumento de política pública en materia de cambio climático, a nivel federal resalta la Estrategia Nacional de Cambio Climático Visión 10-20-40, publicada en el año 2013 y actualizada en el año 2024, la cual tiene como objetivo *“enfrentar los efectos del cambio climático y transitar hacia una economía competitiva, sustentable y de bajas emisiones de carbono, así como reflejar los objetivos de adaptación y mitigación de emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero con un enfoque sistemático, descentralizado, participativo e integral, que establece las bases para que México contribuya al cumplimiento del Acuerdo de París”.*

A nivel estatal, el Gobierno del Estado de Puebla, a través de la Secretaría de Medio Ambiente, Desarrollo Sustentable y Ordenamiento Territorial (SMADSOT), publicó en 2022 la Estrategia Estatal de Cambio Climático 2021-2030, la cual define *“6 estrategias y 20 líneas de acción que permitirían un cambio socioeconómico integral para impulsar la mitigación y sobre todo la adaptación al cambio climático”.*

En el ámbito municipal, el H. Ayuntamiento de Puebla, publicó en el año 2013 el Plan de Acción Climática del Municipio de Puebla (PACMUN), que definió como sus objetivos el *“coadyuvar a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero generadas en el municipio, impulsar acciones de adaptación ante estos impactos, así como disminuir los riesgos ambientales, sociales y económicos que se deriven del cambio climático, así como promover el bienestar de la población”.* En particular, el PACMUN define 30 medidas de mitigación y 7 metas para la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.

01.3. Metodología

El presente estudio sobre escenarios de cambio climático y sus implicaciones en el desarrollo urbano del municipio de Puebla se estructura a partir de una metodología que combina el análisis climático y de los principales componentes del desarrollo

urbano municipal, y la evaluación prospectiva de escenarios climáticos a mediano y largo plazo. La metodología está organizada en cuatro fases principales: la caracterización climática del municipio, la identificación de los principales componentes del desarrollo urbano, el análisis de escenarios climáticos futuros y la interpretación de sus implicaciones urbanas, para finalmente elaborar conclusiones y recomendaciones orientadas a la planificación territorial.

La primera fase corresponde a la caracterización climática del municipio de Puebla, con base en las normales climatológicas publicadas por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) para el periodo de referencia 1951-2010. Este análisis permite establecer una línea base sobre el comportamiento climático actual a partir de variables como el tipo de clima predominante, la temperatura media anual, la temperatura máxima y mínima promedio, así como la precipitación anual y su distribución a lo largo del año. El estudio considera además la marcha anual de la temperatura y la precipitación, lo que posibilita identificar los periodos de mayor incidencia de lluvias, así como los meses en los que se registran extremos térmicos. Esta caracterización resulta fundamental, ya que proporciona un punto de comparación para evaluar la magnitud de los cambios esperados bajo escenarios de cambio climático.

La segunda fase consiste en la identificación de los principales componentes del desarrollo urbano del municipio, tomando como referencia los instrumentos de planeación vigentes, entre ellos el Programa Municipal de Desarrollo Urbano y otros ordenamientos aplicables. En este apartado se revisan elementos como la dinámica de crecimiento de la mancha urbana, la localización de zonas habitacionales, industriales y de servicios, así como la distribución de infraestructura estratégica (abasto de agua, redes de transporte, equipamiento urbano, áreas verdes y espacios de conservación). El propósito es reconocer la estructura urbana existente y las áreas con mayor sensibilidad frente a riesgos climáticos, ya que la configuración del territorio condiciona la exposición y la vulnerabilidad de la población. Esta revisión permite también identificar tendencias de expansión urbana que podrían entrar en conflicto con zonas de riesgo o con áreas ambientalmente frágiles.

La tercera fase corresponde al análisis de los escenarios de cambio climático para el municipio de Puebla, utilizando como fuente principal el Atlas Climático Digital de México desarrollado por la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). En este caso, se consideran las proyecciones de temperatura media anual, temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación para los años horizonte 2039 y 2069, en diferentes trayectorias de concentración de gases de efecto invernadero (RCP). Este análisis prospectivo posibilita estimar la magnitud de las variaciones climáticas

respecto de las condiciones actuales y valorar su impacto potencial. Para garantizar la robustez del análisis, los escenarios son revisados de manera comparativa, reconociendo tanto los rangos mínimos como máximos de las proyecciones.

La cuarta fase corresponde a la identificación de implicaciones urbanas de los escenarios de cambio climático. A partir de la información generada en las fases anteriores, se analizan los posibles efectos sobre componentes centrales del desarrollo urbano: el abasto y la gestión del agua, la operación de los sistemas de drenaje y alcantarillado, la infraestructura de transporte y movilidad, la localización de vivienda, la provisión de servicios públicos y la disponibilidad de áreas verdes. Asimismo, se consideran los efectos en la salud pública y en la calidad de vida de la población.

Finalmente, el estudio integra una síntesis de conclusiones y recomendaciones, en la que se destacan los principales hallazgos en torno a la magnitud y dirección de los cambios climáticos proyectados y sus repercusiones en el desarrollo urbano del municipio de Puebla. Las recomendaciones estarán orientadas a fortalecer la planeación urbana bajo criterios de resiliencia climática, promoviendo la gestión sostenible del agua, la prevención de riesgos hidrometeorológicos, el desarrollo de infraestructura verde, la diversificación de fuentes de abastecimiento y la implementación de políticas de mitigación y adaptación.

02. CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA DEL MUNICIPIO

02.1. Clima predominante

El municipio de Puebla, capital del estado homónimo, se localiza en la región centro-poniente de la entidad. Geográficamente, ocupa la porción baja del Valle de Puebla. Esta posición dentro de la región natural le confiere un clima predominantemente templado subhúmedo, con régimen de lluvias en verano. El territorio municipal se sitúa entre las coordenadas 98°2'54.9" de longitud oeste y 19°2'22.8" de latitud norte, lo que lo ubica en la zona intertropical del hemisferio norte, al norte del ecuador y al sur del trópico de Cáncer. Esta latitud garantiza una alta disponibilidad de horas de luz solar a lo largo del año, aunque también determina una marcada estacionalidad en sus variables climáticas, principalmente la temperatura y la precipitación.

En cuanto al relieve, factor que condiciona la distribución climática, el municipio de Puebla participa de tres unidades geomorfológicas claramente diferenciadas: al norte, forma parte del volcán La Malinche, cuya cima supera los 4,000 metros sobre el nivel del mar (msnm); en el centro, se ubica en la planicie baja del Valle de Puebla; y al sur, se extiende hacia el inicio de la Sierra del Tentzo, una sierra baja que registra las menores elevaciones municipales. De acuerdo con el Continuo de Elevaciones Mexicano del INEGI (2013), la altitud máxima del municipio es de 4,408 msnm, mientras que la mínima es de 1,709 msnm. Esto resulta en un desnivel altitudinal de 2,699 metros a lo largo de una distancia aproximada de 45.7 km en dirección noreste-suroeste, lo que equivale a un gradiente de 59.1 metros por kilómetro lineal.

Esta compleja orografía genera una significativa diversidad climática. Con base en datos del Servicio Meteorológico Nacional y según el Anteproyecto de Programa Municipal de Desarrollo Urbano de Puebla (IMPLAN, 2023), en el municipio se identifican siete tipos de clima, clasificados bajo las Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen de Enriqueta García (1964). Al norte, en la cima de La Malinche, prevalece un clima E(T)CHw (frío con lluvias en verano). Las laderas altas presentan un clima Cb'(w2)(w) (semifrío con verano fresco largo, subhúmedo). En las laderas medias del volcán se registra un clima Cb(w) (templado con verano fresco largo, subhúmedo con lluvias en verano). La planicie del valle se caracteriza por climas Ca(w1)(w) y Ca(w2)(w) (templado con verano cálido, subhúmedo con lluvias en verano y tendencia a menores precipitaciones hacia el sur). Finalmente, el extremo sur, en la Sierra del Tentzo, presenta un clima (A)C(w1)(w) (semicálido subhúmedo con régimen de lluvias en verano).

En consecuencia, se observa un gradiente climático bien definido caracterizado por un incremento de la temperatura y una reducción de la precipitación en sentido norte-sur. Este patrón tiene efectos directos en la distribución de la vegetación,

donde predominan los bosques templados de coníferas (pino, oyamel) y encinos en las partes altas, y se transita hacia matorrales y vegetación adaptada a condiciones más cálidas y secas hacia el sur.

Tabla 1. Tipos de clima y su superficie en el municipio de Puebla.

Clima	Descripción	Superficie (ha)
Ca(w2)(w)	Templado con verano cálido, subhúmedo con lluvias en verano, coeficiente P/T mayor a 55.	20,653.3
Ca(w1)(w)	Templado con verano cálido, subhúmedo con lluvias en verano, coeficiente P/T entre 3.2 y 55.	18,932.2
Cb(w1)(w)	Templado con verano fresco largo, subhúmedo con lluvias en verano, coeficiente P/T entre 3.2 y 55.	7,469.6
Cb(w2)(w)	Templado con verano fresco largo, subhúmedo con lluvias en verano, coeficiente P/T entre 3.2 y 55.	5,430.5
Cb'(w2)(w)	Semifrío con verano fresco largo, subhúmedo con lluvias en verano, coeficiente P/T mayor a 55.	2,499.5
(A)C(w1)(w)	Semicálido, subhúmedo con régimen de lluvias en verano, coeficiente P/T entre 3.2 y 55.	1,030.7
E(T)CHw	Frío con lluvias en verano	99.8
	Total	56,115.6

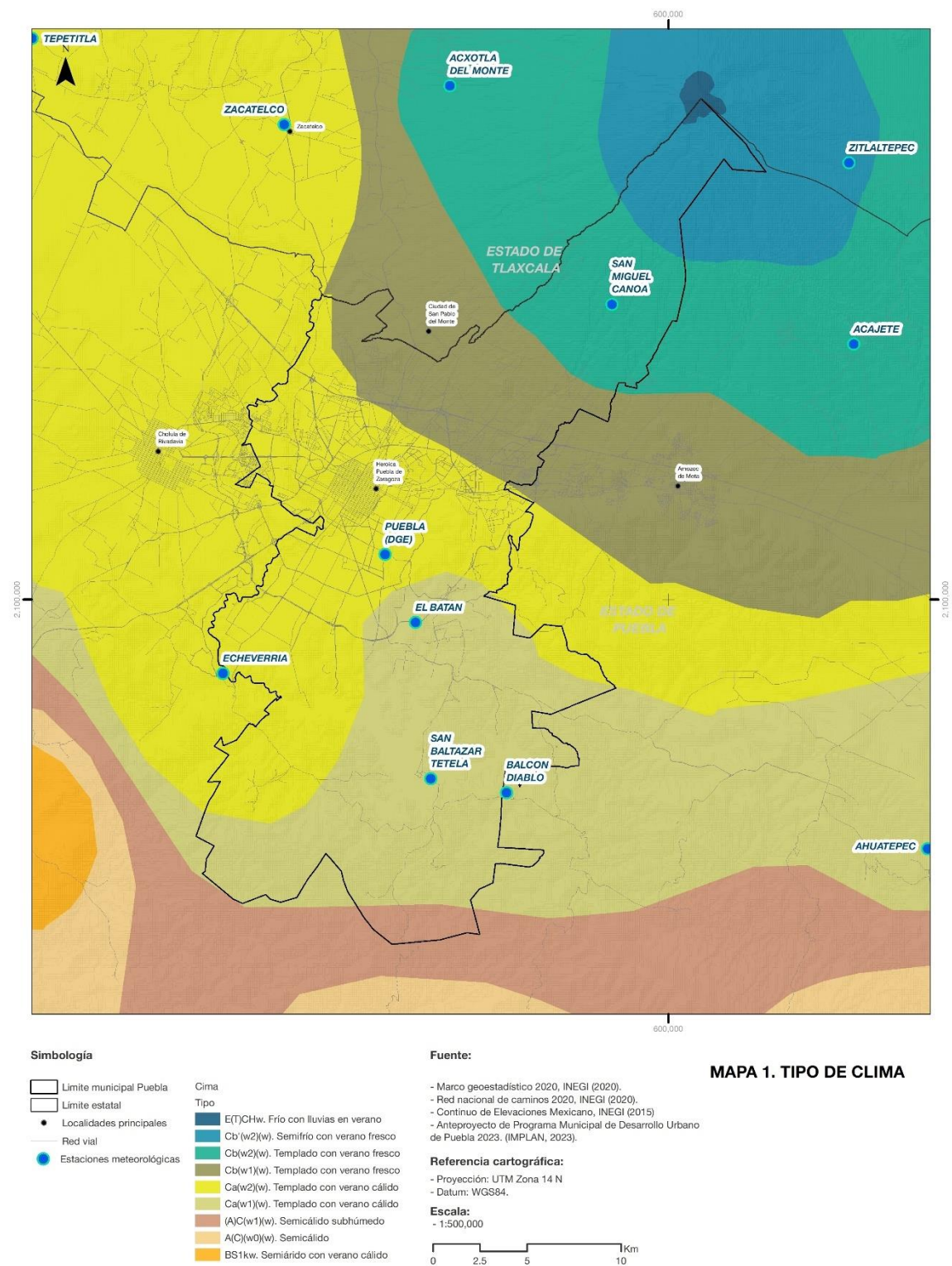
Fuente. Anteproyecto de Programa Municipal de Desarrollo Urbano de Puebla (IMPLAN, 2023).

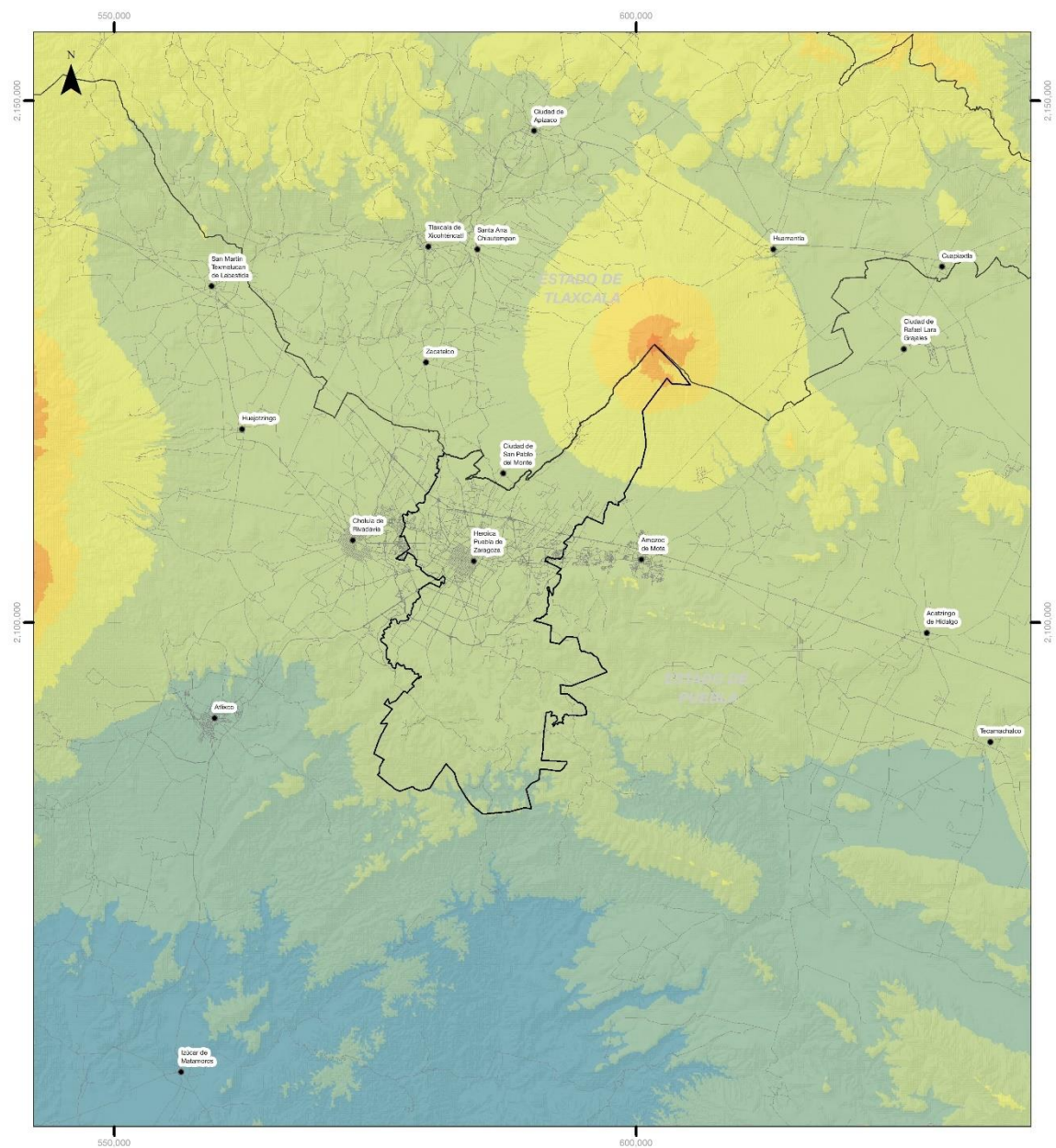
02.2. Temperatura

De acuerdo con las normales climatológicas del periodo 1951–2010, recabadas en las estaciones meteorológicas del territorio municipal, la temperatura media anual oscila entre 13.3 °C, registrada en la estación San Miguel Canoa (21048), y 17.2 °C, documentada en la estación Puebla (21035).

El análisis de la variación mensual revela que el mes más cálido es mayo, con temperaturas medias que van de los 15.4 °C (San Miguel Canoa) a los 19.8 °C (estación Puebla). Por el contrario, el mes más frío es enero, con promedios que descienden hasta 11.1 °C en San Miguel Canoa y alcanzan 13.9 °C en las estaciones Puebla y San Baltazar Tetela.

Respecto a los extremos térmicos, la temperatura máxima promedio anual se sitúa entre 20.9 °C (San Miguel Canoa) y 26.1 °C (estación El Batán, 21163), con los valores absolutos más altos también en mayo, donde se pueden alcanzar hasta 28.6 °C (El Batán). Por otro lado, la temperatura mínima promedio anual varía de 5.8 °C (San Miguel Canoa) a 9.3 °C (estación Puebla). El mínimo más bajo corresponde al mes de enero, con un promedio de 1.0 °C registrado en la estación Echevarría (21034).





Simbología

- Limite municipal Puebla
- Limite estatal
- Localidades principales
- Red vial

Altitud

msnm

	858 - 1,000		3,000.1 - 3,500
	1,000.1 - 1,500		3,500.1 - 4,000
	1,500.1 - 2,000		4,000.1 - 4,500
	2,000.1 - 2,500		4,500.1 - 5,000
	2,500.1 - 3,000		5,000.1 - 5,375

Fuente:

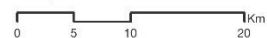
- Marco geostatístico 2020, INEGI (2020).
- Red nacional de caminos 2020, INEGI (2020).
- Continuo de Elevaciones Mexicano, INEGI (2015)

Referencia cartográfica:

- Proyección: UTM Zona 14 N
- Datum: WGS84.

Escala:

- 1:500,000



MAPA 2. ALTITUD

En síntesis, los datos confirman la condición de clima templado predominante en el municipio, caracterizado por una temperatura media anual que no supera los 18 °C y una temperatura mínima promedio que, en términos generales, no desciende de los 3 °C

Tabla 2. Temperatura media anual (°C) en estaciones climatológicas, 1951-2010.

Clave	Estación	Ene	Feb	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
21148	San Miguel Canoa	11.1	12.2	14	15	15.4	14.5	13.7	13.6	13.5	13.2	12.4	11.4	13.3
21035	Puebla	13.9	15	17.1	19	19.8	19.4	18.4	18.4	18.2	17.3	15.8	14.5	17.2
21163	El Batán	13.3	14.7	17	19	19.7	19.3	18.2	18.5	18.2	17.1	15.4	14.1	17
21034	Echeverría	11.4	12.6	14.8	16.8	18	18	16.9	16.9	16.8	15.6	13.5	12	15.3
21071	San Baltazar Tetela	13.9	14.6	16.8	18.5	19.6	19.4	18.4	18.3	18.3	17.4	15.8	14.3	17.1
21016	Balcón del Diablo	13.1	14.2	16.4	18.4	19.1	18.5	17.5	17.7	17.4	16.4	14.9	13.4	16.4

Fuente. Elaboración propia a partir de las Normales Climatológicas por Estación (SMN, 2013).

Tabla 3. Temperatura máxima promedio (°C) en estaciones climatológicas, 1951-2010.

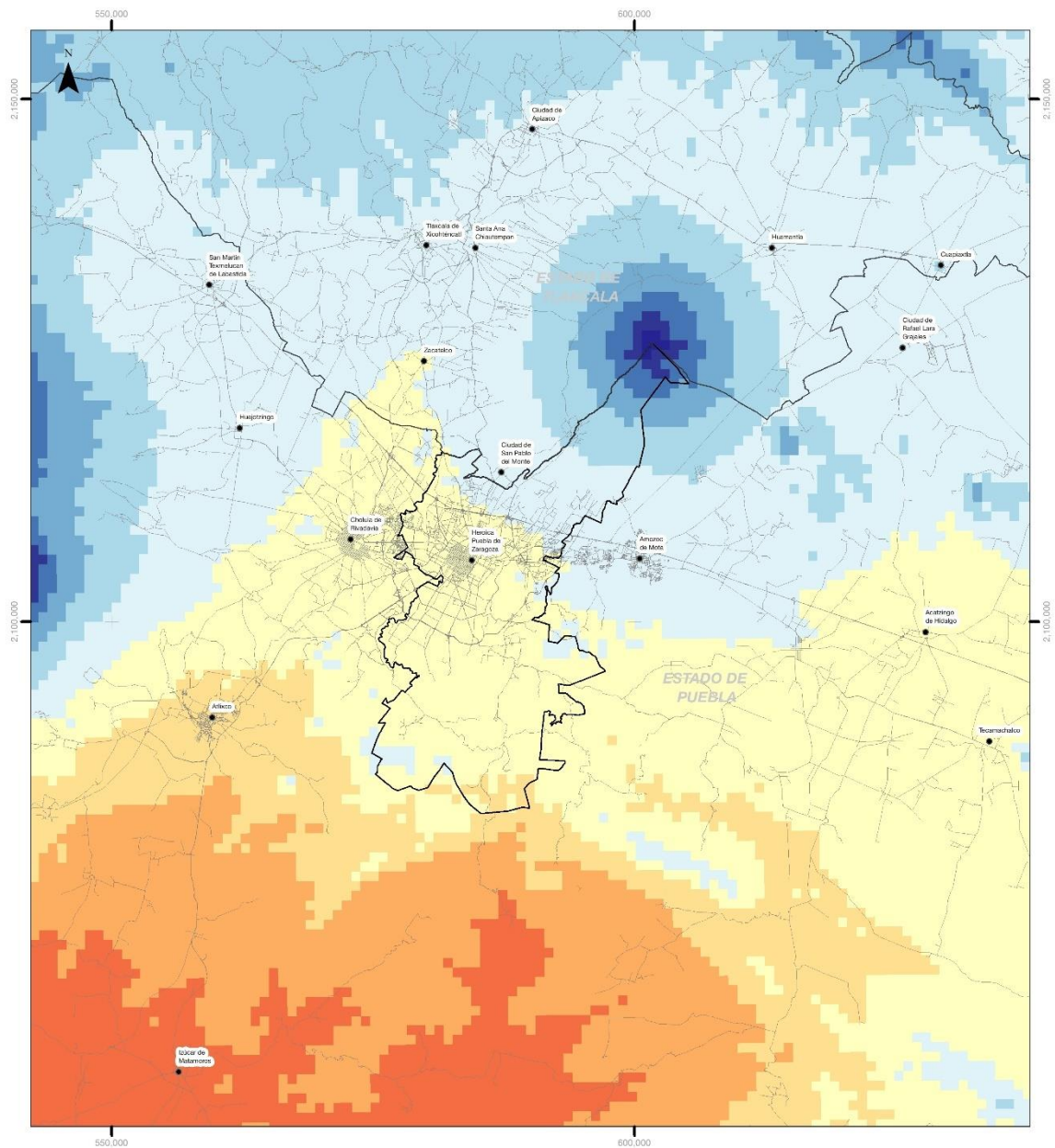
Clave	Estación	Ene	Feb	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
21148	San Miguel Canoa	19	20.1	22.2	23.4	23.2	21.1	20.4	20.6	20.2	20.6	20.3	19.4	20.9
21035	Puebla	23	23.9	25.9	27.5	28	26.4	25.3	25.3	24.8	24.8	24.4	23.6	25.2
21163	El Batán	24	25.3	27.5	29	28.6	26.3	25.5	26	25.2	25.5	25.6	24.3	26.1
21034	Echeverría	21.9	22.8	24.8	26.4	26.5	24.8	23.6	23.8	23.2	23.2	22.9	22.2	23.8
21071	San Baltazar Tetela	22.9	23.6	25.5	27.5	28	26.4	25.2	25.2	25	24.8	24.4	23.2	25.1
21016	Balcón del Diablo	22.3	23.5	25.8	27.5	27.2	25	24	24.5	23.7	23.8	23.4	22.3	24.4

Fuente. Elaboración propia a partir de las Normales Climatológicas por Estación (SMN, 2013).

Tabla 4. Temperatura mínima promedio (°C) en estaciones climatológicas, 1951-2010.

Clave	Estación	Ene	Feb	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Anu.
21148	San Miguel Canoa	3.2	4.3	5.7	6.8	7.7	8	7.1	6.7	6.9	5.7	4.5	3.4	5.8
21035	Puebla	4.9	6.2	8.4	10.5	11.7	12.5	11.6	11.5	11.5	9.8	7.2	5.4	9.3
21163	El Batán	2.6	4.1	6.5	9	10.9	12.2	10.9	11.1	11.3	8.7	5.2	3.8	8
21034	Echeverría	1	2.4	4.7	7.2	9.4	11.3	10.2	10.1	10.3	8	4.1	1.8	6.7
21071	San Baltazar	4.8	5.7	8	9.5	11.1	12.4	11.6	11.4	11.6	10	7.2	5.4	9.1
21016	Balcón del Diablo	3.8	4.9	7.1	9.4	10.9	12	11	10.9	11.1	9.1	6.3	4.6	8.4

Fuente. Elaboración propia a partir de las Normales Climatológicas por Estación (SMN, 2013).



Simbología

- Limite municipal Puebla
- Limite estatal
- Localidades principales
- Red vial

Temperatura media anual
°C

	0 - 2		14.1 - 16
	2.1 - 4		16.1 - 18
	4.1 - 6		18.1 - 20
	6.1 - 8		20.1 - 22
	8.1 - 10		22.1 - 24
	10.1 - 12		24.1 - 26
	12.1 - 14		26.1 - 28

Fuente:

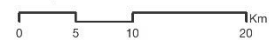
- Marco geoestadístico 2020, INEGI (2020).
- Red nacional de caminos 2020, INEGI (2020).
- Climas 1902-2011, INEGI (2023).

Referencia cartográfica:

- Proyección: UTM Zona 14 N
- Datum: WGS84.

Escala:

- 1:500,000



MAPA 3
TEMPERATURA MEDIA ANUAL
1902-2011

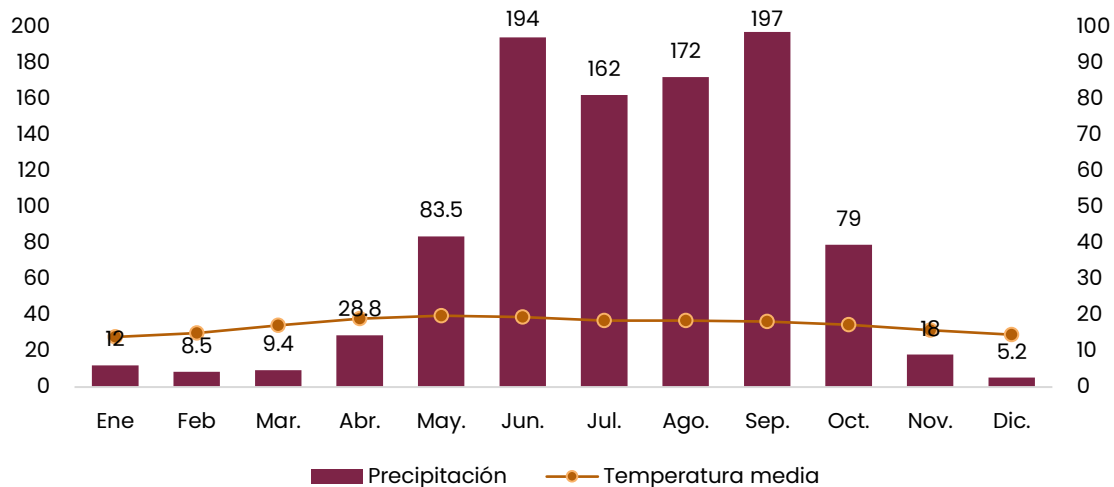
02.3. Precipitación

En el municipio de Puebla, la precipitación total anual oscila entre los 800 y 900 mm, presentando una distribución espacial y temporal heterogénea. Espacialmente, el volumen de lluvia es mayor en la parte alta de la Malinche y disminuye progresivamente hacia el sur del territorio. Temporalmente, se caracteriza por una marcada estacionalidad, con un máximo estival muy definido y un prolongado período de estiaje durante el invierno y la primavera.

Los datos de las Normales Climatológicas (1951-2010) corroboran este patrón. La estación Puebla (21035) registra el mayor volumen promedio de precipitación con 969.1 mm, mientras que la estación San Baltazar (21071) reporta el menor. En cuanto a la distribución anual, el período de lluvias se concentra entre junio y septiembre, acumulando aproximadamente el 75% de la precipitación total anual. Por el contrario, la estación seca —de noviembre a abril— contribuye con menos del 10% del total anual.

Un análisis del balance hídrico, tomando como referencia la estación Puebla (21035), permite identificar un período húmedo que se extiende de mayo a octubre. Durante estos meses, la precipitación supera al menos el doble de la temperatura media, un indicador de que los volúmenes de lluvia exceden las pérdidas por evaporación. Esta condición es de vital importancia para el sostenimiento de la agricultura de temporal y para la recarga de los acuíferos en la región.

Gráfica 1. Relación precipitación (mm) – temperatura media (°C) para la estación 21035 Puebla, 1951-2010.

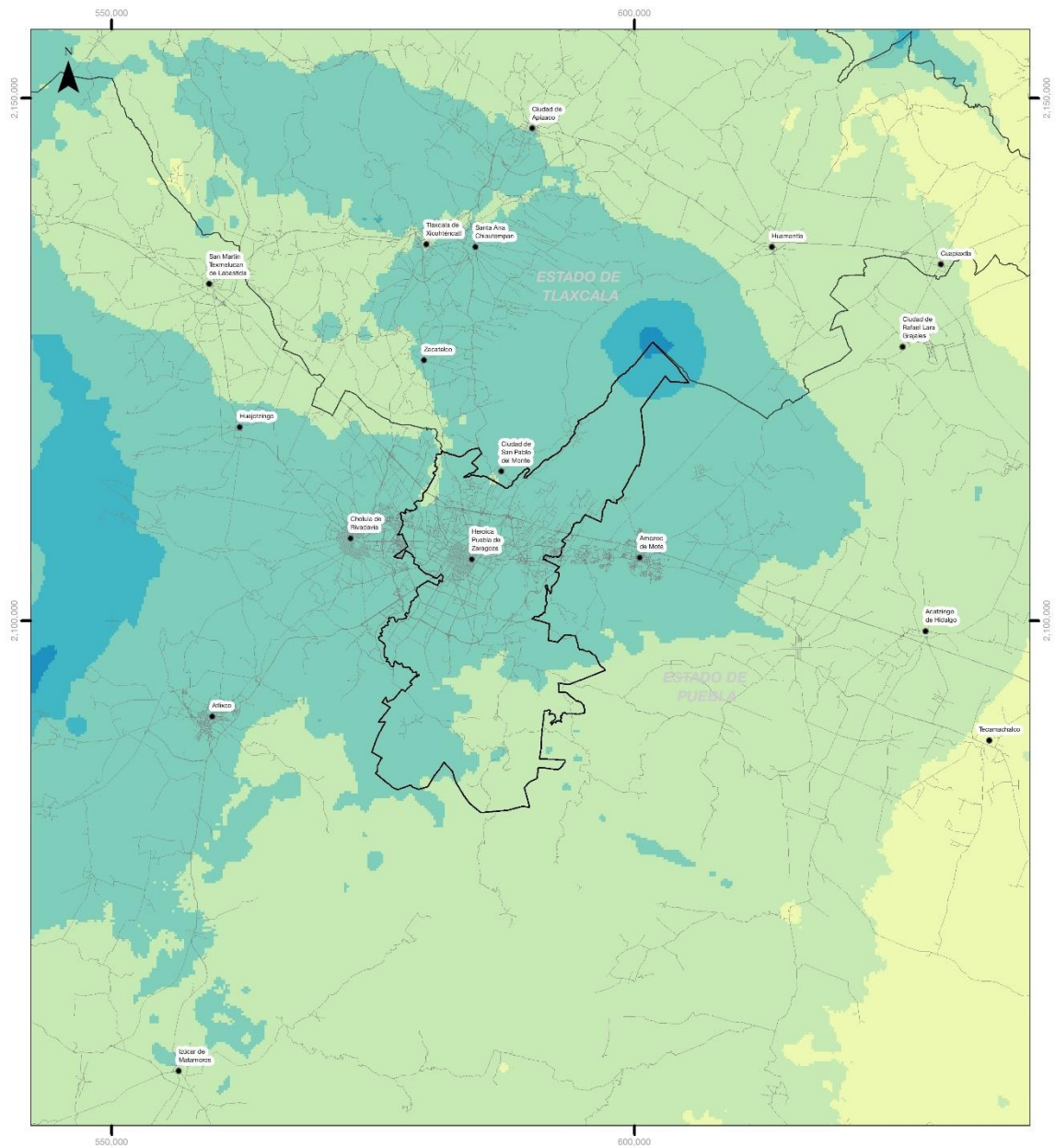


Fuente. Elaboración propia a partir de las Normales Climatológicas por Estación (SMN, 2013).

Tabla 5. Precipitación total (mm) en estaciones climatológicas, 1951-2010.

Clave	Estación	Ene	Feb	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
21148	San Miguel Canoa	7.3	15	12.5	34.9	96.4	181	152	138	147	57	10.8	6.7	857.6
21035	Puebla	12	8.5	9.4	28.8	83.5	194	162	172	197	79	18	5.2	969.1
21163	El Batán	5.3	7.2	12.3	25.6	97.1	205	124	164	154	76	7.8	3.3	880.5
21034	Echeverría	11	8.5	8.6	25.2	73	189	159	169	175	75	16.1	4.7	913.8
21071	San Baltazar Tetela	12	5.8	7	24.6	73.2	136	120	121	141	56	13.5	5.9	714.8
21016	Balcón del Diablo	11	6.9	8.2	26.8	78.3	144	114	115	145	58	11.9	5.4	724.7

Fuente. Elaboración propia a partir de las Normales Climatológicas por Estación (SMN, 2013).



Simbología

- Limite municipal Puebla
- Limite estatal
- Localidades principales
- Red vial

Precipitación mm
385 - 400
400.1 - 600
600.1 - 800
800.1 - 1,000
1,000.1 - 1,200
1,200.1 - 1,400
1,400.1 - 1,600
1,600.1 - 1,730

Fuente:

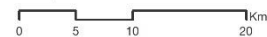
- Marco geostatístico 2020, INEGI (2020).
- Red nacional de caminos 2020, INEGI (2020).
- Atlas Climático Digital de México, UNAM (2018).

Referencia cartográfica:

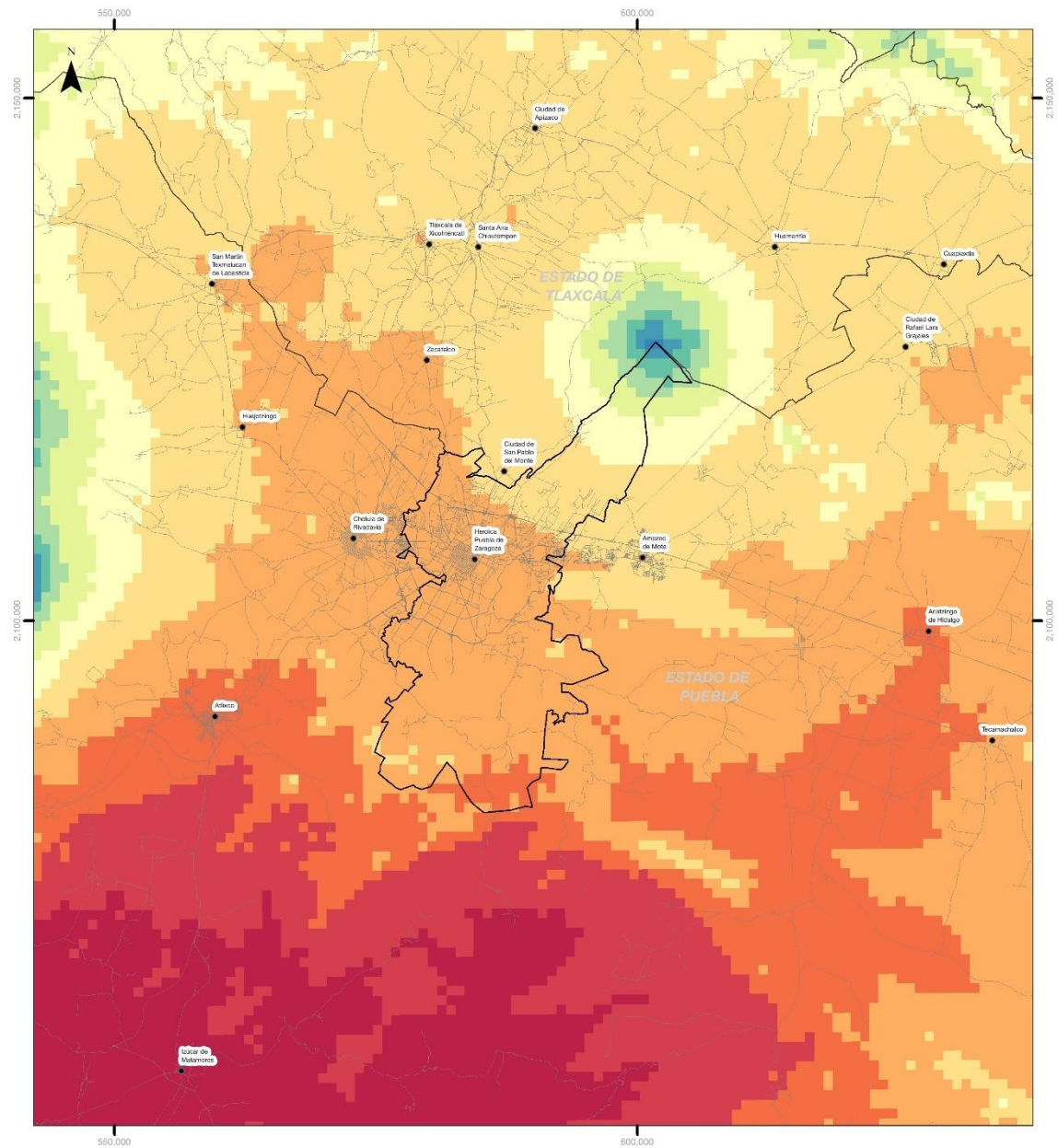
- Proyección: UTM Zona 14 N
- Datum: WGS84.

Escala:

- 1:500,000



PRECIPITACIÓN ANUAL PROMEDIO 1902-2011



Simbología

- Límite municipal Puebla
- Límite estatal
- Localidades principales
- Red vial

Temperatura máxima

5 - 6	20.1 - 22
6.1 - 8	22.1 - 24
8.1 - 10	24.1 - 26
10.1 - 12	26.1 - 28
12.1 - 14	28.1 - 30
14.1 - 16	30.1 - 32
16.1 - 18	32.1 - 33.9
18.1 - 20	

Fuente:

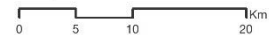
- Marco geostatístico 2020, INEGI (2020).
- Red nacional de caminos 2020, INEGI (2020).
- Atlas Climático Digital de México, UNAM (2018).

Referencia cartográfica:

- Proyección: UTM Zona 14 N
- Datum: WGS84.

Escala:

~ 1:500,000



TEMPERATURA MÁXIMA PROMEDIO 1902-2011

03. PRINCIPALES COMPONENTES DEL DESARROLLO

URBANO MUNICIPAL

03.1. Población y vivienda

A partir de la información censal generada por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 1990; 2000; 2010; 2020), así como de los datos presentados en el Anteproyecto del Programa Municipal de Desarrollo Urbano de Puebla (IMPLAN, 2023), se observa que el municipio de Puebla ha experimentado un crecimiento demográfico significativo, aunque con una tendencia reciente hacia la desaceleración. Entre 1990 y 2020, la población municipal pasó de 1,057,454 a 1,692,181 habitantes, lo que representa un incremento absoluto de 634,727 personas, equivalente a un crecimiento del 60% en treinta años, con una tasa media anual de 1.58%. Sin embargo, este ritmo de crecimiento se ha moderado, ya que durante la última década (2010-2020) la tasa media anual se redujo a 0.95% (INEGI, 2020).

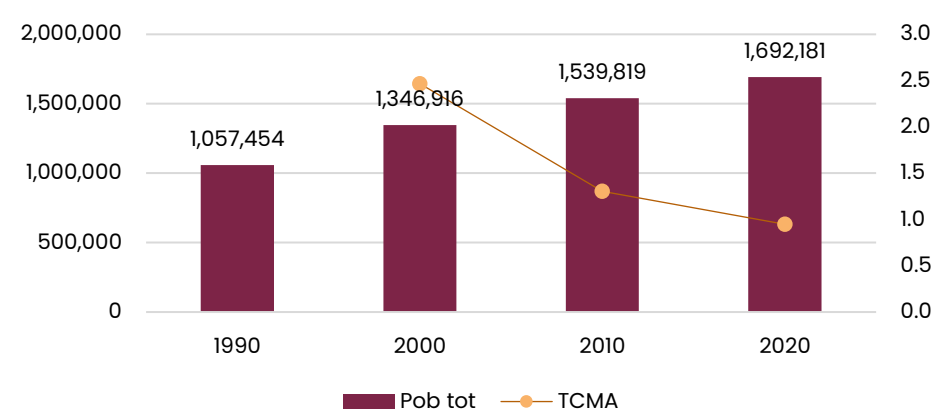
Es importante destacar que, dentro de la Zona Metropolitana Puebla-Tlaxcala, de la cual el municipio de Puebla constituye la ciudad central, el crecimiento poblacional reciente se ha concentrado en los municipios periféricos. Este fenómeno obedece, en buena medida, al incremento del valor del suelo en la capital, lo que ha impulsado la localización de nuevos desarrollos habitacionales en la periferia metropolitana (IMPLAN, 2023). En este sentido, en la última década se registraron tasas medias anuales de crecimiento poblacional particularmente elevadas en Cuautlancingo (5.67%), Ocoyucan (5.19%), San Andrés Cholula (4.4%) y Coronango (3.08%) (INEGI, 2020).

No obstante lo anterior, el municipio de Puebla continúa desempeñando un papel central en la dinámica metropolitana, ya que entre 2010 y 2020 concentró el 38.1% de los 399,992 nuevos habitantes incorporados a la Zona Metropolitana Puebla-Tlaxcala. Este hecho confirma que, a pesar de la redistribución poblacional hacia la periferia, la ciudad central mantiene una función nodal en la estructura demográfica y urbana de la región (INEGI, 2020; IMPLAN, 2023).

En términos territoriales, el *Anteproyecto del Programa Municipal de Desarrollo Urbano de Puebla* (IMPLAN, 2023) señala que la población municipal presenta una marcada concentración en la zona sur, en áreas específicas de la zona central y en el oriente del territorio. La zona de Castillotla-Guadalupe Hidalgo, ubicada en el extremo sureste, constituye el principal núcleo poblacional, al registrar 346,302 habitantes, equivalentes al 20.46% del total municipal. Le sigue la zona Centro,

correspondiente al anillo inmediato al Centro Histórico, que alberga a 179,608 habitantes, es decir, el 10.61% de la población municipal. Posteriormente destacan, en tamaño poblacional, las zonas de Mayorazgo–San Miguel, Bosques–Amalucan, Chapulco–Xilotzingo, La Resurrección y Clavijero, las cuales en conjunto concentran el 30.3% de la población total. En contraste, el Centro Histórico evidencia una baja densidad poblacional y un proceso sostenido de despoblamiento, pues entre 2000 y 2020 perdió 29,477 habitantes, lo que equivale a una disminución del 46.9% respecto a la población registrada en el año 2000.

Gráfica 2. Población total y tasa de crecimiento media anual de la población del municipio de Puebla, 1990–2020.



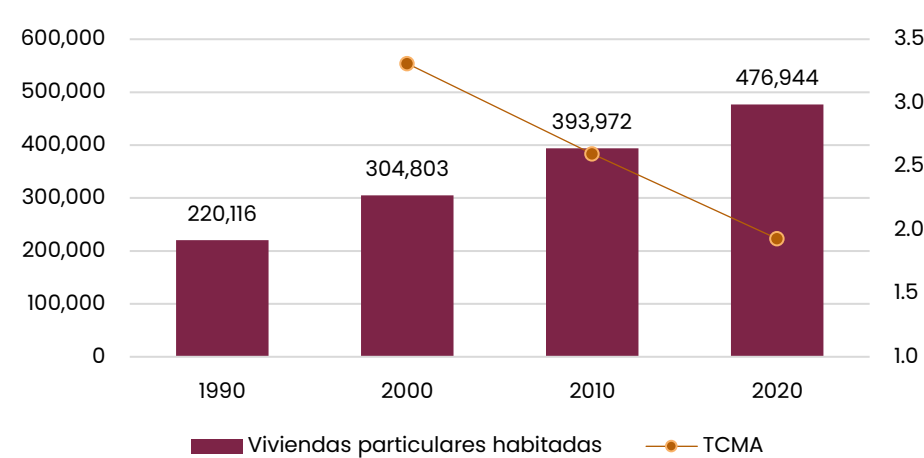
Fuente. Elaboración propia con información de censos de población y vivienda de INEGI (1990, 2000, 2010 y 2020).

De manera paralela a la dinámica demográfica, los datos censales del INEGI reflejan un incremento notable en el parque habitacional del municipio, aunque con una tendencia reciente a la desaceleración y a la dispersión hacia los municipios metropolitanos. Entre 1990 y 2020, las viviendas particulares habitadas en Puebla pasaron de 220,116 a 476,944, lo que representa un crecimiento acumulado del 116.7%, con una tasa media anual de 2.61%. Sin embargo, en el periodo 2010–2020 dicha tasa descendió a 1.9%, lo que indica una ralentización del proceso de expansión habitacional (INEGI, 2020).

En el ámbito metropolitano, el crecimiento del parque habitacional se ha focalizado en los municipios colindantes con Puebla. Durante el periodo 2010–2020, Ocoyucan registró una tasa de crecimiento habitacional de 7.4%, Amozoc de 6.2%, San Andrés Cholula de 6.0%, Juan C. Bonilla de 4.8%, Cuautlancingo y San Miguel Xoxtla de 4.5%, así como San Pablo del Monte de 4.3%. No obstante, el municipio de Puebla continúa absorbiendo el mayor volumen de crecimiento, al concentrar el 55.3% de las 149,949

nuevas viviendas particulares habitadas registradas en la zona metropolitana durante la última década. Territorialmente, este crecimiento habitacional dentro del municipio se ha orientado principalmente hacia el sur, destacando la zona de Castillotla–Guadalupe Hidalgo, que por sí sola concentró el 33% de las viviendas nuevas construidas entre 2000 y 2020 (INEGI, 2020; IMPLAN, 2023).

Gráfica 3. Viviendas particulares habitadas y tasa de crecimiento media anual de las viviendas del municipio de Puebla, 1990–2020



Fuente. Elaboración propia con información de censos de población y vivienda de INEGI (1990, 2000, 2010 y 2020).

03.2. Expansión y estructura urbana

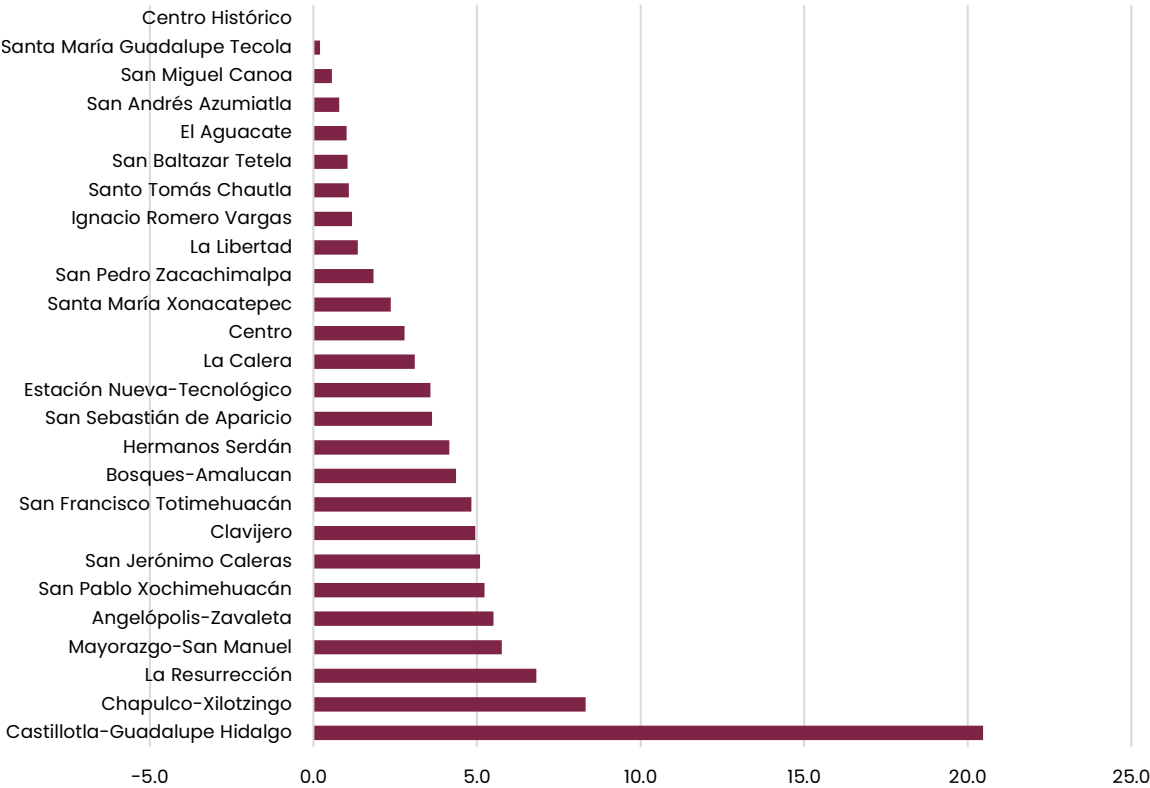
El municipio de Puebla, en su carácter de nodo industrial regional y debido a la alta concentración de comercios, servicios y equipamientos urbanos —muchos de ellos especializados—, experimenta junto con su área metropolitana un proceso intenso de expansión urbana. Este fenómeno responde a su dinamismo económico, a la capacidad de generar empleos y a la oferta de oportunidades de intercambio, configurando así la estructura territorial y condicionando las formas de desarrollo de su población.

En cuanto al ritmo de expansión urbana, el Anteproyecto del Programa Municipal de Desarrollo Urbano de Puebla (IMPLAN, 2023) reporta que la zona metropolitana Puebla–Tlaxcala registró un crecimiento del 51.8% en su superficie artificializada, al pasar de 26,456 hectáreas en 1980 a 40,170 hectáreas en 2022. Este incremento se concentró principalmente en los municipios de Puebla (27.7% del nuevo suelo urbano), San Martín Texmelucan (9.6%), Huejotzingo (7.3% con 999 ha), Cuautlancingo (4.5% con 610 ha), Ocoyucan (4.4% con 608 ha) y San Pedro Cholula

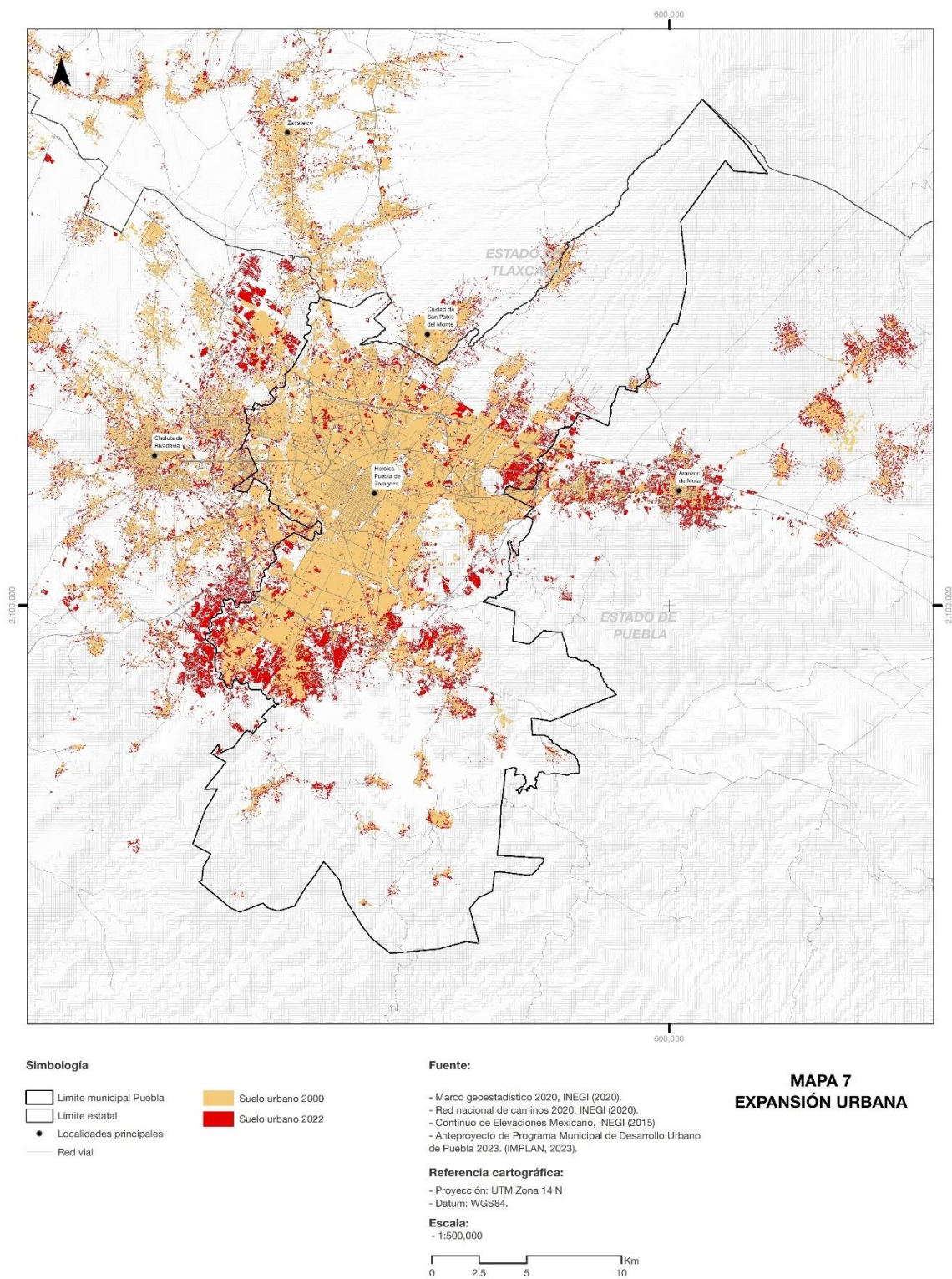
(4.2% con 577 ha). El resultado de esta dinámica ha sido la conformación de una ciudad metropolitana dispersa y con bajas densidades habitacionales; el PMDU estima que en 2020 la densidad promedio apenas alcanzaba 21.4 viviendas por hectárea.

A escala municipal, el documento destaca que la expansión urbana de Puebla se ha orientado principalmente hacia la zona sur. Entre 1980 y 2022, las áreas de Castillotla–Guadalupe Hidalgo, Chapulco–Xilotzingo y San Francisco Totimehuacán concentraron el 33.6% de la nueva superficie urbana. En contraste, en la zona norte, las localidades de San Jerónimo Caleras, San Pablo Xochimehuacán, San Sebastián de Aparicio, La Resurrección, Santa María Xonacatepec y San Miguel Canoa sumaron el 23.7% del nuevo suelo urbanizado. De manera particular, la zona de Castillotla–Guadalupe Hidalgo sobresale al concentrar, por sí sola, el 20.5% de la expansión urbana municipal en el periodo 1980–2022, consolidándose como el principal polo habitacional del territorio

Gráfica 4. Porcentaje de nueva superficie urbana por barrio en el Municipio de Puebla, 1980–2022.



Fuente. Anteproyecto de Programa Municipal de Desarrollo Urbano de Puebla 2023. Versión de consulta pública (IMPLAN, 2023).



Con base en lo anterior, el Programa Municipal de Desarrollo Urbano de Puebla (IMPLAN, 2023) identifica una estructura urbana de carácter marcadamente monocéntrico, con una elevada concentración de actividades económicas, infraestructura y equipamientos en la zona central y, particularmente, hacia el poniente (área de Angelópolis). En contraste, las periferias urbanas concentran la mayor proporción de vivienda, aunque presentan importantes rezagos en infraestructura, servicios y equipamientos urbanos.

A este patrón se suma la presencia del corredor industrial localizado al norte del municipio, a lo largo de la Autopista México–Puebla, el cual constituye un espacio estratégico de actividad económica y de generación de empleo.

El espacio central se caracteriza por un alto grado de integración urbana, con la consolidación de una red de espacios públicos, corredores urbanos y equipamientos diversos. En oposición, la periferia se distingue por la baja conectividad entre sus elementos urbanos, lo que se refleja en la insuficiente dotación de vialidades primarias y secundarias, la limitada presencia de espacios públicos recreativos y la ausencia casi total de subcentralidades urbanas. Estas condiciones restringen el acceso de la población a bienes y servicios básicos y deterioran de manera significativa la calidad de habitabilidad.

El PMDU subraya además que esta configuración urbana condiciona de manera directa la movilidad de la población, la cual se ve obligada a realizar desplazamientos centro–periferia para acceder a empleos, educación y servicios, enfrentando recorridos cada vez más extensos y onerosos. Asimismo, la expansión urbana ejerce una creciente presión sobre áreas de valor ambiental, destacando el bosque de encino de La Calera, el humedal de Valsequillo y las zonas agrícolas de las faldas de La Malinche, que enfrentan riesgos de deterioro y pérdida de funciones ecológicas.

03.3. Infraestructura y servicios públicos

En materia de dotación y acceso a infraestructura vial, el Anteproyecto del Programa Municipal de Desarrollo Urbano de Puebla (IMPLAN, 2023) identifica la existencia de una amplia red de vialidades primarias, secundarias y locales, complementada por una red regional de carreteras que refuerza la conectividad del municipio. Sin embargo, persiste un marcado desequilibrio en la distribución y calidad de la infraestructura vial entre la zona central y las áreas periféricas.

En la zona norte del municipio se observa un rezago significativo en materia de movilidad, dado que su integración con el resto de la ciudad depende de un número

limitado de vialidades primarias y regionales. La ausencia de una estructura interna de mayor jerarquía, en particular de vialidades secundarias, restringe la conectividad y dificulta la movilidad de la población en el territorio.

Por el contrario, el Centro Histórico cuenta con una red vial reticular que dio origen a la traza fundacional de la ciudad. Esta configuración le otorga un alto grado de conectividad tanto interna como hacia otras zonas urbanas, aunque presenta rezagos en las condiciones de operación y mantenimiento de sus vialidades.

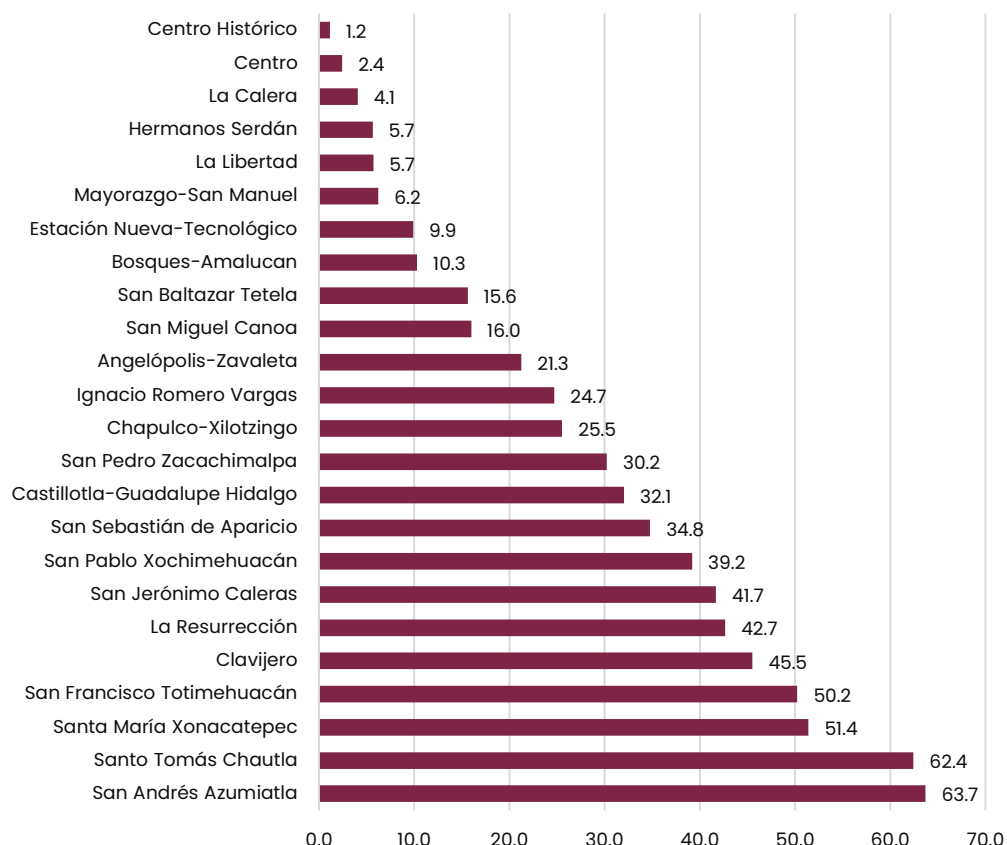
En el poniente, en las zonas de Angelópolis–Zavaleta e Ignacio Romero Vargas, la estructura vial está influenciada por la conurbación con los municipios de San Andrés Cholula, San Pedro Cholula y Cuautlancingo. La dinámica metropolitana en esta franja se articula a través de vialidades regionales, subregionales y primarias que permiten la conexión de numerosos desarrollos habitacionales, comerciales y de servicios. En la zona sur, a pesar de la existencia de vialidades primarias de gran importancia, la escasa dotación de vialidades secundarias, particularmente en el eje oriente–poniente, limita la movilidad cotidiana de la población asentada en grandes conjuntos habitacionales.

Respecto al recubrimiento de la red vial, el Inventario Nacional de Viviendas (INEGI, 2020) señala que el 23.8% de los frentes de manzana del municipio carece de pavimentación. Esta carencia es especialmente crítica en las juntas auxiliares y en las periferias urbanas, donde los porcentajes de déficit superan el 50% de los frentes de manzana, reflejando una brecha territorial significativa en la calidad de la infraestructura vial.

En relación con la cobertura de infraestructura de agua potable, la información censal del INEGI (2020) reporta que únicamente el 2.2% de las viviendas particulares habitadas del municipio carecen de acceso al servicio dentro de la vivienda, lo que equivale a 10,677 hogares. Estas viviendas se concentran principalmente en localidades rurales de baja densidad poblacional, ubicadas en los extremos norte y sur del territorio municipal.

No obstante, el Programa Municipal de Desarrollo Urbano (IMPLAN, 2023), con base en información del Sistema Operador de los Servicios de Agua Potable y Alcantarillado del Municipio de Puebla (SOAPAP), señala que al año 2021 existían 127 colonias con déficit en la dotación de agua potable, localizadas principalmente en las periferias norte y sur del municipio, destacando: San Jerónimo Caleras, San Pablo Xochimehuacán, La Resurrección, Bosques de Amalucan, Clavijero, San Francisco Totimehuacán, Chapulco–Xilotzingo y Castillotla–Guadalupe Hidalgo.

Gráfica 5. Porcentaje de frentes de manzana sin recubrimiento en vialidades por junta auxiliar y zona del Municipio de Puebla, 2020.



Fuente. Anteproyecto de Programa Municipal de Desarrollo Urbano de Puebla 2023. Versión de consulta pública (IMPLAN, 2023).

De las 692 colonias, conjuntos habitacionales y fraccionamientos bajo la cobertura de SOAPAP, se identificó que:

- 309 colonias (45%) reciben agua en promedio únicamente 1 a 2 días por semana,
- 224 colonias (32%) disponen de agua entre 3 y 4 días por semana, y
- 159 colonias (23%) acceden al servicio en más de 4 días por semana.

Respecto al drenaje sanitario, la información del INEGI (2020) indica que el 0.76% de las viviendas particulares habitadas, equivalente a 3,618 hogares, no cuenta con este servicio. A nivel de localidad censal, se identificaron 14 localidades con carencias graves, donde entre el 50% y hasta el 100% de las viviendas carecen de drenaje. Dichas localidades se ubican principalmente en áreas rurales y de urbanización

irregular de las periferias norte y sur, entre ellas: El Aguacate, San Baltazar Tetela, San Andrés Azumiatla, La Resurrección y San Miguel Canoa.

En cuanto a los equipamientos urbanos, el PMDU identifica una distribución desigual de tipo centro-periferia. Las áreas centrales, como el Centro Histórico, la Zona Centro y el poniente (Angelópolis-Zavaleta), presentan mayor dotación, mientras que la periferia urbana —especialmente en las juntas auxiliares del norte y sur— muestra un déficit importante. No obstante, en la periferia existe una concentración de equipamiento básico, principalmente instalaciones educativas de nivel básico (preescolar, primaria y secundaria) y centros de salud de primer contacto. En contraste, otros tipos de equipamientos (culturales, recreativos, deportivos o especializados) presentan una notable insuficiencia en dichas zonas.

En materia de espacios públicos, el PMDU registra 362 espacios de propiedad o administración gubernamental, con una superficie total de 4,372,098.41 m² (437.21 ha), lo que representa una dotación de 2.63 m² por habitante. Esta cifra resulta muy inferior a las recomendaciones internacionales que sugieren al menos 15 m² por persona. De manera complementaria, el Plan Municipal de Desarrollo 2024–2027 (IMPLAN, 2025) señala que el municipio cuenta con apenas 4.4 m² por habitante (Secretaría de Desarrollo Urbano y Sustentabilidad, 2021), distribuidos en 146 parques, 128 jardines y algunos camellones viales, lo que confirma un déficit estructural en áreas verdes y espacios públicos de calidad.

03.4. Movilidad urbana

Debido a la configuración territorial del municipio y a la dinámica de su entorno metropolitano, la movilidad en Puebla se estructura en torno a un patrón centro-periferia claramente definido. Este patrón responde, por un lado, a la localización de los principales centros atractores de viaje —comercio, servicios y equipamiento urbano— concentrados en la zona central, y, por otro, a la expansión de los espacios residenciales hacia la periferia y municipios colindantes. En este esquema, el Centro Histórico constituye el principal nodo de confluencia, mientras que las áreas periféricas, tanto del propio municipio como de la zona metropolitana, funcionan como generadores de gran parte de los desplazamientos. A este modelo de movilidad de trayectos largos se suma una dinámica cotidiana de recorridos de proximidad, orientados al abasto de bienes básicos y al acceso a servicios como la educación primaria y secundaria, que en su mayoría se realizan a pie dentro del entorno barrial.

Un rasgo relevante de la movilidad en el municipio es la alta dependencia del automóvil particular por parte de ciertos sectores de la población, a pesar de que la

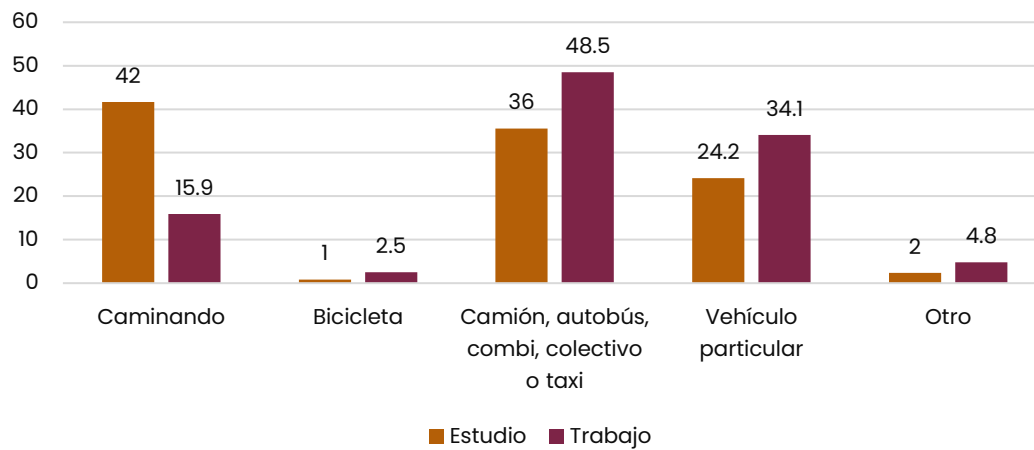
mayoría emplea medios alternativos como el transporte público o la caminata. Esta tendencia al uso del vehículo privado contribuye a efectos adversos de diversa índole: ambientales (aumento de emisiones contaminantes), sociales (exclusión de grupos sin acceso a automóvil), económicos (mayores costos de traslado) y funcionales (congestión vial y pérdida de competitividad urbana). Entre las principales consecuencias destacan el incremento de los tiempos de viaje, la inseguridad vial, la contaminación atmosférica y el refuerzo de desigualdades socioeconómicas.

En relación con los motivos de desplazamiento, el Programa Sectorial de Movilidad de la Zona Metropolitana de la Ciudad de Puebla (2011) documentó que, de los 3.7 millones de viajes diarios realizados en la zona metropolitana Puebla–Tlaxcala en ese año, el 31.6% tuvieron como finalidad asistir a un centro de trabajo o de estudio, el 7% se destinaron a compras, el 4.6% a actividades de acompañamiento (llevar o recoger personas), y el 45.5% correspondieron al regreso al hogar. En cuanto a los modos de transporte empleados, el 42.8% de los viajes se realizaron a pie, el 31.8% en transporte público, el 12.3% en vehículo particular, el 3% en bicicleta y el 1.9% mediante transporte laboral.

Particularmente en el municipio de Puebla, los datos del INEGI (2020) permiten observar patrones diferenciados. En los traslados por motivos escolares, el 42% de la población de tres años y más se desplaza caminando, el 36% utiliza transporte público y el 24% se traslada en vehículo particular, mientras que solo el 0.8% emplea la bicicleta. Resulta relevante que aproximadamente el 60% de la población escolar corresponde a niñas, niños y adolescentes entre 3 y 14 años, es decir, un grupo social en condición de vulnerabilidad que diariamente recorre a pie el espacio público urbano.

De manera complementaria, en lo referente a la población ocupada de 12 años y más, la información censal de 2020 muestra que el 49% utiliza el transporte público para llegar a su lugar de trabajo, el 34% el vehículo particular, el 16% la caminata y el 3% la bicicleta. Estos datos reflejan una fuerte dependencia del transporte colectivo como medio principal de acceso a oportunidades laborales, lo que, junto con la proporción significativa de traslados a pie, pone de manifiesto la importancia de garantizar condiciones de movilidad seguras, accesibles y sostenibles en el municipio.

Gráfica 6. Porcentaje de población por modos de traslado y motivo de viaje en el Municipio de Puebla, 2020.



Fuente: Elaboración propia con información de INEGI (2020).

03.5. Riesgos naturales

Como resultado de las características de su medio natural, de la estructura de ocupación del territorio y de la localización de sus actividades productivas, el municipio de Puebla se encuentra expuesto a diversos riesgos naturales que condicionan su desarrollo urbano.

En cuanto a los riesgos geológicos, el territorio municipal se encuentra en zona de influencia volcánica debido a la actividad del Popocatepetl, cuyo cráter se ubica aproximadamente a 25 km en línea recta del límite municipal. El principal riesgo corresponde a la caída de ceniza volcánica, la cual puede obstruir los sistemas de drenaje y alcantarillado, contaminar fuentes de agua, dañar cultivos y afectar la ganadería; en grandes cantidades incluso puede provocar el colapso de techos, particularmente cuando la ceniza se encuentra húmeda (CENAPRED-UNAM, 2016).

Respecto al riesgo kárstico, tanto el Atlas de Peligros y Riesgos del Municipio de Puebla (H. Ayuntamiento de Puebla, 2021) como el Atlas Nacional de Riesgos (CENAPRED, 2023) reportan la existencia de cavernas de origen kárstico al sur del municipio, en la Sierra del Tentzo. En la zona centro de la ciudad se localizan canteras de travertino que presentan procesos de karstificación debido a la acción del agua subterránea proveniente de La Malinche y de la zona de influencia del Popocatepetl. El mismo Atlas municipal identifica un alto riesgo por karst en la Junta Auxiliar La Libertad, en colonias como Aquiles Serdán, Ampliación Francisco I. Madero, parte de La Paz al pie del Cerro de San Juan, así como en las inmediaciones del Balneario Agua Azul.

A este escenario se suma el riesgo por hundimientos. El Atlas de Peligros y Riesgos del Municipio de Puebla (2021) reporta un nivel alto en la Junta Auxiliar La Libertad, asociado a la circulación de agua subsuperficial que satura los suelos areno-arcillosos e interactúa con estratos fracturados de travertino en los primeros 15 m de profundidad. Asimismo, dicho Atlas señala la presencia de dos estructuras geológicas que cruzan la ciudad y se interceptan de manera perpendicular: la falla Malinche, con dirección NE-SW, y la fractura Valsequillo, con dirección NW-SE. Aunque no se encuentran definidas con precisión, deben considerarse como elementos de atención para la política municipal de protección civil y la gestión integral de riesgos.

En relación con la inestabilidad de laderas, tanto el Atlas municipal (2021) como el Anteproyecto del Programa Municipal de Desarrollo Urbano de Puebla (2023) advierten una alta susceptibilidad en zonas como: Colonia San José Los Cerritos, La Resurrección (Cerro del Marqués), el Centro Histórico (Zona de Los Fuertes), Bosques-Amalucan (Cerro de Amalucan), San Francisco Totimehuacán (Cerro del Chiquihuite), las laderas del Río Atoyac, Colonia Arenillas Coatepec, Santo Tomás Chautla (Barrio de San José y Cerro Calderón), San Pedro Zacachimalpa (Hacienda de Toluquilla), así como en las áreas de alta pendiente de la Sierra del Tentzo (San Andrés Azumiatla, El Aguacate, Santa María Guadalupe Tecola y San Baltazar Tetela). Por su parte, el Mapa Nacional de Susceptibilidad de Inestabilidad de Laderas (CENAPRED, 2020) confirma una alta susceptibilidad a lo largo de gran parte del cauce del Río Atoyac, en las riberas del Río Alseseca y en la Sierra del Tentzo, al sur de San Andrés Azumiatla.

En cuanto al riesgo de inundaciones pluviales, tanto el Atlas de Riesgos como el PMDU identifican zonas críticas en las riberas de los ríos Atoyac, San Francisco, Arroyo Xonaca y Río Alseseca, donde la acumulación de escurrimientos supera la capacidad de la infraestructura pluvial. La Secretaría de Protección Civil y Gestión Integral de Riesgos registró para el año 2022, 66 puntos de inundación, de los cuales 34 se consideran prioritarios por su recurrencia e impacto. Estos se ubican principalmente en zonas cercanas a los escurrimientos principales, aunque también en áreas urbanas como Clavijero, Bosques-Amalucan, San Sebastián de Aparicio, San Pablo Xochimehuacán y Estación Nueva-Tecnológico. Entre los puntos de atención urgente destacan: la Laguna de San Baltazar, el cauce embovedado del Arroyo El Chinguinoso, el Parque Analco, el Centro Comercial Galería Las Ánimas, el Puente de México, el Mercado Hidalgo, la Plaza Loreto, el Infonavit San Bartolo y el Parque Laguna de Chapulco.

03.6. Área naturales y deterioro ambiental

El municipio de Puebla cuenta con un valioso capital natural conformado por extensas áreas de valor ambiental que proveen bienes y servicios ecosistémicos indispensables para el mantenimiento del equilibrio ecológico y el desarrollo sostenible de la metrópoli. En su territorio coexisten cinco áreas naturales protegidas (ANP) bajo jurisdicción federal, estatal y municipal, las cuales abarcan una superficie total de 25,713.1 hectáreas, equivalentes al 45.8% de la superficie municipal. Estas áreas albergan remanentes de vegetación natural y biodiversidad característica de bosques de pino, oyamel, encino, matorrales y pastizales.

Al norte, el Parque Nacional Malinche (jurisdicción federal) se caracteriza por sus bosques de pino, encino, oyamel y zonas de pastizal. Esta área enfrenta presiones por la extracción ilegal de recursos maderables, una alta incidencia de incendios forestales durante la temporada de estiaje y el avance de la mancha urbana sobre sus laderas bajas, lo que compromete su función crítica como zona de recarga del acuífero.

Al sur, se localizan el Parque Estatal Humedal de Valsequillo y la Reserva Estatal Sierra del Tentzo. El primero está reconocido como humedal de importancia internacional (sitio Ramsar) por ser un cuerpo de agua crucial para el refugio, descanso y alimentación de aves migratorias. No obstante, sufre una intensa presión por la expansión urbana del sur de la ciudad y presenta altos niveles de contaminación en el vaso de la presa. Por su parte, la Sierra del Tentzo alberga un bosque de encino en buen estado de conservación, favorecido por la baja densidad de población. Sin embargo, sus ecosistemas también se ven amenazados por la expansión urbana, particularmente la proveniente del municipio vecino de Ocoyucan.

Al oriente: Los bosques de encino de La Calera y de la Reserva Estatal Flor del Bosque enfrentan una grave amenaza debido al crecimiento de grandes fraccionamientos habitacionales y asentamientos humanos irregulares. La importancia de estos ecosistemas radica en su función como hábitat para diversas especies de aves, mamíferos y reptiles, las cuales se han visto forzadas a desplazarse hacia barrancas ante el avance de la urbanización.

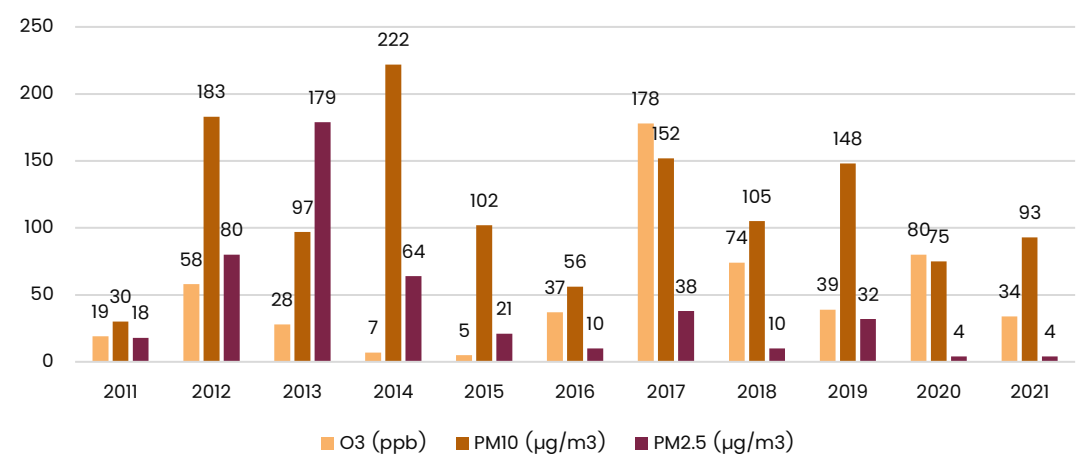
En relación con la disponibilidad de Agua Subterránea, el Anteproyecto del Programa Municipal de Desarrollo Urbano de Puebla 2023 alerta sobre la reducción en la disponibilidad de agua en el Acuífero Valle de Puebla. Datos de la CONAGUA (2024) registran abatimientos significativos en el nivel estático del acuífero; entre 2002 y 2010, el descenso osciló entre 2 y 20 metros, con tasas anuales de 0.25 a 2.5 metros, lo que indica una velocidad crítica de disminución. Adicionalmente, la disponibilidad

de agua reportada por CONAGUA pasó de 44.6 hm³ en 2015 a 18.01 hm³ en 2024, confirmando una tendencia negativa y preocupante.

Respecto a la calidad del agua superficial, según información de CONAGUA (2023), entre 2012 y 2020 los principales cuerpos de agua del municipio presentaron un alto grado de contaminación. En el parámetro de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5), que mide la carga orgánica principalmente de origen domiciliario, el 52.9% de los 34 puntos de monitoreo se clasificaron como "fuertemente contaminados", el 35.2% como "contaminados" y solo el 11.8% mostró una calidad "aceptable". Respecto a la Demanda Química de Oxígeno (DQO), indicador de contaminantes de origen industrial, el 70.6% de los puntos registraron una calidad "fuertemente contaminada" y el 29.4% "contaminada". Cabe destacar que el vaso de la Presa de Valsequillo presenta una calidad contaminada, lo que evidencia su baja capacidad de oxigenación y dilución de carga contaminante química.

En materia de contaminación atmosférica: El PMDU señala un incremento en los niveles de contaminación del aire en los últimos años. La Secretaría de Medio Ambiente, Desarrollo Sustentable y Ordenamiento Territorial (2022) reportó para 2021 hasta 14 días fuera de la norma por concentraciones de ozono (O3) y 51 días con mala calidad del aire debido a partículas suspendidas (PM10).

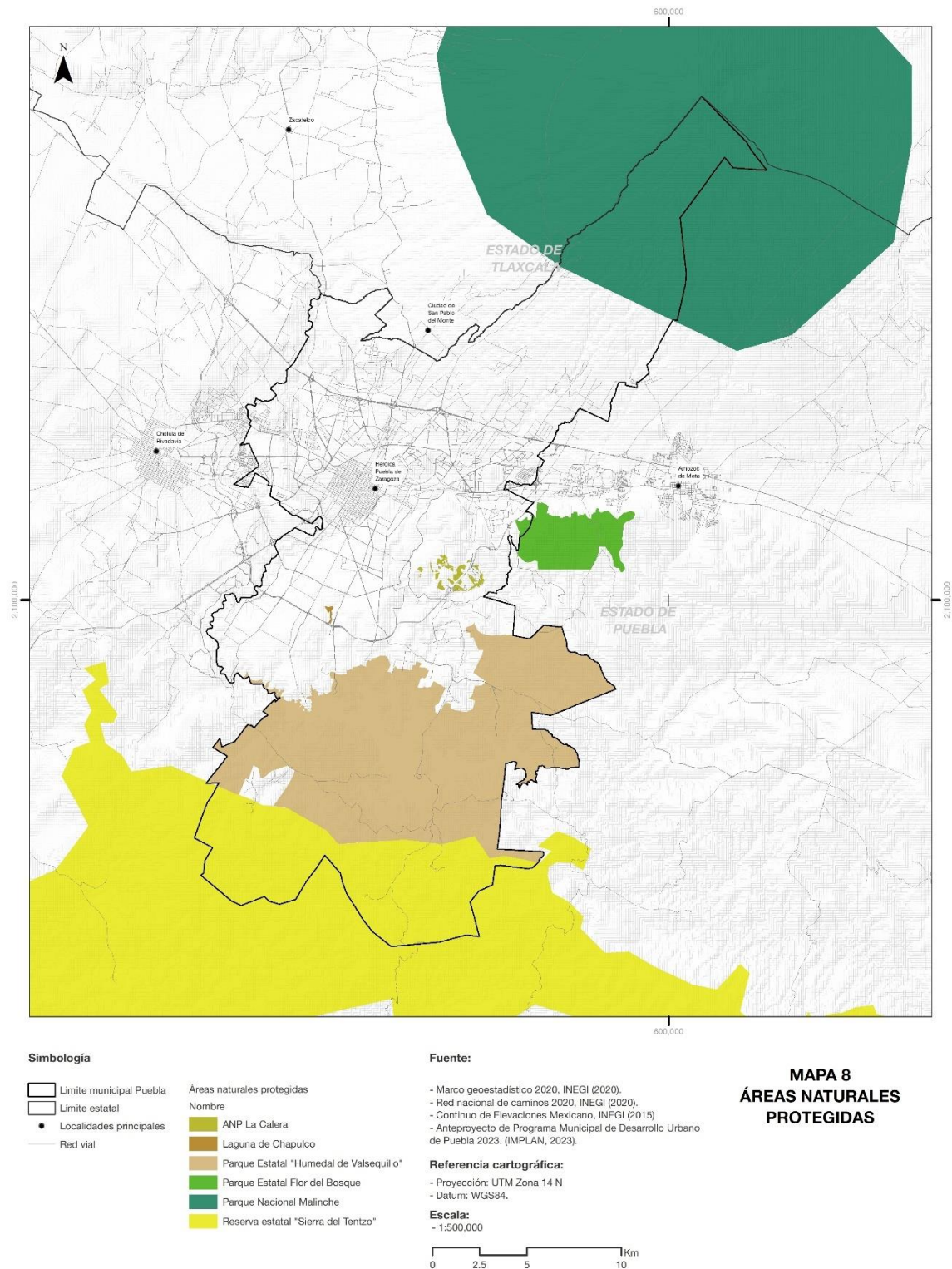
Gráfica 7. Días fuera de la norma en las estaciones de monitoreo en el Municipio de Puebla, 2011-2021.



Fuente. Elaboración propia con información de la Secretaría de Medio Ambiente, Desarrollo Sustentable y Ordenamiento Territorial (2022).

Adicionalmente, en materia de gestión de residuos sólido, el PMDU, con base en datos del Organismo Operador del Servicio de Limpia (2021), reporta una recolección diaria de 1,700 toneladas de residuos sólidos urbanos. Al contrastar con datos del INEGI

(1,329 ton/día en 2012 y 983 ton/día en 2011), se observa que en la última década la generación de residuos se incrementó en un 72.9%, con una tasa media anual de crecimiento del 6.2%, muy superior al crecimiento poblacional (1.05% entre 2010-2020). A esta problemática se suma el pasivo ambiental que representa el Relleno Sanitario Chiltepeque, único sitio de disposición final del municipio, a pesar de contar con infraestructura que cumple con la NOM-083-SEMARNAT-2003.



04. ESCENARIOS CLIMÁTICOS

El estudio del cambio climático se sustenta, en gran medida, en la construcción de modelos y escenarios climáticos, los cuales constituyen herramientas esenciales para comprender el comportamiento del sistema climático y anticipar sus posibles transformaciones. Estos instrumentos permiten generar información científica para la toma de decisiones en materia de política pública, planificación territorial, gestión ambiental y de gestión de riesgos, desarrollo urbano, y recientemente en previsiones económicas y sociales.

En términos generales, un modelo climático puede definirse como una representación matemática del sistema climático del planeta, construida a partir de variables que rigen la atmósfera, la hidrosfera, la criosfera, la litosfera y la biosfera. Los modelos climáticos se integran de algoritmos que simulan procesos como la circulación atmosférica y oceánica, el balance de energía, el ciclo del carbono, la dinámica del vapor de agua y la interacción entre la radiación solar y los gases de efecto invernadero.

Por su parte, los escenarios climáticos se entienden como representaciones coherentes de la evolución futura del clima, construidas a partir de los resultados de los modelos climáticos, tomando en cuenta supuestos socioeconómicos, demográficos y tecnológicos. Cabe señalar que, un escenario no constituye una predicción exacta del clima, sino una proyección basada en trayectorias posibles de desarrollo económico y emisiones, por lo que integran grados de incertidumbre. En este sentido, los escenarios permiten explorar diferentes futuros climáticos, comparando condiciones derivadas de mayores o menores niveles de mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero (Ureta, et al, 2024).

La construcción de escenarios climáticos se apoya en un conjunto de variables generales, entre las que destacan: la temperatura media anual, las temperaturas extremas (máxima y mínima), la precipitación total anual y su distribución estacional. Adicionalmente, los modelos más avanzados integran variables relacionadas con el uso del suelo, la concentración de aerosoles, la cobertura vegetal y las emisiones de carbono, lo que permite realizar evaluaciones más integrales sobre los impactos del cambio climático.

Para el presente estudio se emplearon los escenarios de cambio climático generados a partir del modelo climático **CNRM-CM5**, desarrollado por el *Centre National de Recherches Météorologiques* de Francia, en el marco del *Coupled Model Intercomparison Project Phase 5 (CMIP5)*. Este modelo ha sido ampliamente utilizado en evaluaciones internacionales, incluyendo los informes del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC), debido a su capacidad para

simular de manera consistente las interacciones entre la atmósfera, el océano, la criosfera y la biosfera.

El **CNRM-CM5** pertenece a la categoría de modelos de circulación general de la atmósfera acoplados (AOGCM, por sus siglas en inglés), lo que significa que integra los componentes atmosféricos y oceánicos en un solo sistema dinámico, reproduciendo los procesos de transferencia de energía y humedad entre ellos. Su resolución espacial es de aproximadamente 1.4° en la atmósfera y en torno a 1° en el océano, lo que permite obtener proyecciones globales y regionales de variables fundamentales como temperatura, precipitación, nubosidad y circulación atmosférica. Una de sus fortalezas es la representación, particularmente precisa, de los ciclos hidrológicos y de las variaciones estacionales, lo que es relevante para evaluar el comportamiento de la precipitación y la temperatura.

Conviene resaltar que, los escenarios utilizados en este estudio se enmarcan en dos trayectorias de concentración representativa (*Representative Concentration Pathways*, RCP), que corresponden a supuestos diferenciados de emisiones de gases de efecto invernadero. El primero es el **CNRM-CM5 RCP 4.5**, considerado un escenario de estabilización intermedia, el cual supone que, hacia mediados del siglo XXI, las emisiones globales comenzarán a decrecer como resultado de políticas de mitigación y avances tecnológicos que se implementarán por los países, estabilizando la concentración de gases de efecto invernadero en torno a 650 ppm de CO₂ equivalente hacia el año 2100. Bajo este escenario, se presentará un incremento moderado de la temperatura global y un cambio relativamente controlado en los patrones de precipitación, es decir, un escenario optimista.

El segundo escenario corresponde al **CNRM-CM5 RCP 8.5**, considerado el escenario de altas emisiones. En este caso, se asume la ausencia de medidas significativas de mitigación y la continuidad de un crecimiento sostenido en el consumo energético basado en combustibles fósiles. Ello conducirá a una concentración de gases de efecto invernadero superior a 1,370 ppm de CO₂ equivalente hacia finales de siglo. Este escenario se asocia con los impactos más intensos del cambio climático, incluyendo aumentos pronunciados de la temperatura media global, incremento en la frecuencia de olas de calor y alteraciones profundas en los regímenes de precipitación (INECC, 2014), es decir, un escenario pesimista.

Los escenarios utilizados en el presente estudio, fueron formulados por el Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático de la UNAM para la Sexta Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático publicada en 2018 (INECC, 2018), y han utilizados para generar escenarios climáticos regionalizados en el *Atlas Climático Digital de México* (UNAM, 2018). Para el municipio de Puebla, los periodos de análisis seleccionados son los horizontes de 2039 (que permite observar impactos a mediano plazo) y 2069 (que refleja los cambios a más largo plazo).

Geográficamente, se retoman los datos de precipitación total y temperatura media anual, en la localización geográfica de la Estación 21035 Puebla, a fin de compararla con los datos de las normales climatológicas de esta estación para el periodo 1951-2010.

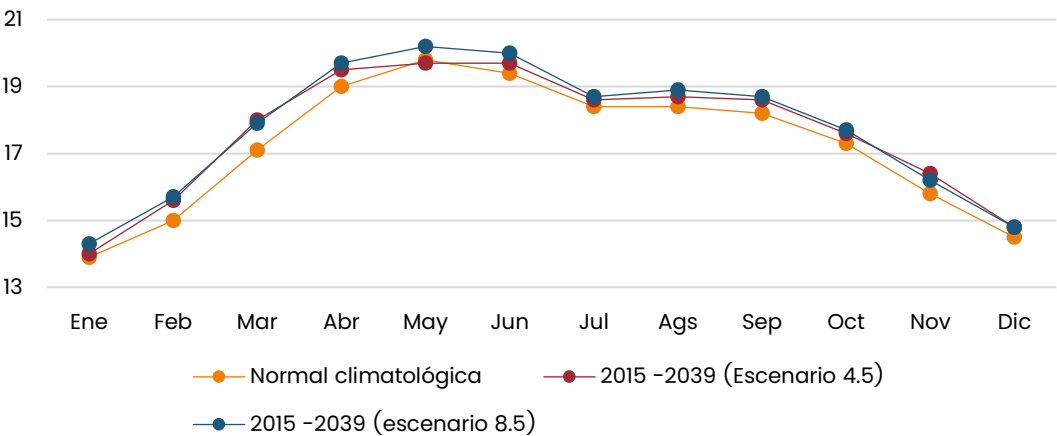
04.1. Escenarios al año 2039

Temperatura media

Los escenarios de cambio climático proyectados para el municipio de Puebla a mediano (2039) y largo plazo (2069) prevén un incremento de la temperatura media anual y una reducción de los volúmenes de precipitación, acompañados de una ligera modificación en la distribución temporal de las lluvias. Estos cambios configurarían una alteración cualitativa del régimen climático en el territorio.

Para el año 2039, el escenario CNRM-CM5 RCP 4.5—que considera una estabilización moderada de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) a nivel global (escenario optimista)— estima para la localización de la Estación 21035 Puebla una temperatura media anual de 17.6 °C. Esto representa un incremento de 0.4 °C respecto a la normal climatológica del periodo 1951-2010. A escala mensual, el mayor aumento se proyecta para el mes de marzo (+0.9 °C), pasando de 17.1 °C a 18.0 °C. También se prevén incrementos significativos de 0.6 °C en los meses de febrero y noviembre. Cabe destacar que, en este escenario, la temperatura media de junio se elevaría hasta igualar a la de mayo (19.7 °C), convirtiéndose ambos en los meses más cálidos del año.

Gráfica 8. Temperatura media anual (°C), 1959-2010 y escenarios 4.5 y 8.5 al año 2039.



Fuente. Elaboración propia con información del SMN (2013) y UNAM (2018).

Por otro lado, el escenario CNRM-CM5 RCP 8.5 —que estima emisiones muy altas de GEI (escenario pesimista)— proyecta una temperatura media anual de 17.7°C, equivalente a un aumento de 0.5°C respecto al periodo de referencia. En este caso, marzo registraría nuevamente el mayor incremento (+0.8 °C), alcanzando los 17.9°C. Sin embargo, a diferencia del escenario anterior, mayo se mantendría como el mes más cálido, con una temperatura media de 20.2°C, seguido por junio, que alcanzaría los 20.0°C

Tabla 6. Temperatura media anual (°C), 1951-2010 y escenarios 4.5 y 8.5 al año 2039.

Variable	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ags	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Normal climatológica (1951-2010)	13.9	15.0	17.1	19.0	19.8	19.4	18.4	18.4	18.2	17.3	15.8	14.5	17.2
2015 -2039 (Escenario 4.5)	14.0	15.6	18.0	19.5	19.7	19.7	18.6	18.7	18.6	17.6	16.4	14.8	17.6
2015 -2039 (escenario 8.5)	14.3	15.7	17.9	19.7	20.2	20.0	18.7	18.9	18.7	17.7	16.2	14.8	17.7
Cambio escenario 4.5	0.1	0.6	0.9	0.5	-0.1	0.3	0.2	0.3	0.4	0.3	0.6	0.3	0.4
Cambio escenario 8.5	0.4	0.7	0.8	0.7	0.4	0.6	0.3	0.5	0.5	0.4	0.4	0.3	0.5

Fuente. Elaboración propia con información del SMN (2013) y UNAM (2018).

Temperatura mínima

Por su parte, la temperatura mínima promedio anual al año 2039 para el escenario 4.5 se registrará en el municipio en 9.4°C, lo que implica un incremento de apenas 0.1°C respecto al dato de la normal climatológica de 1951 a 2010. No obstante, se espera un incremento importante en los mes de noviembre y diciembre en los que la temperatura mínima promedio se incrementará en 0.6 y 0.5°C respectivamente, es decir, se tendrán otoños más cálidos.

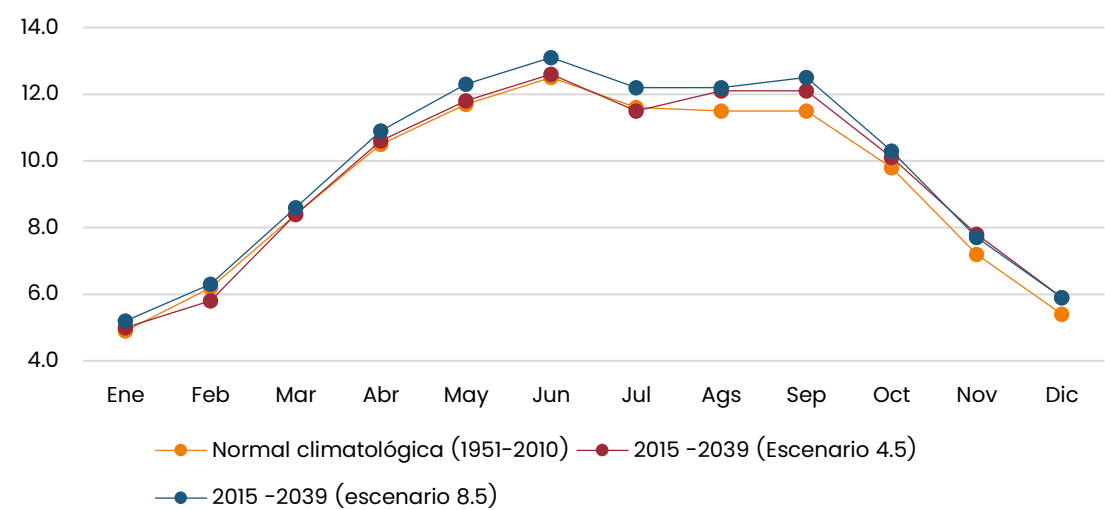
Tabla 7. Temperatura mínima promedio (°C), 1951-2010 y escenarios 4.5 y 8.5 al año 2039.

Variable	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ags	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Normal climatológica (1951-2010)	4.9	6.2	8.4	10.5	11.7	12.5	11.6	11.5	11.5	9.8	7.2	5.4	9.3
2015 -2039 (Escenario 4.5)	5.0	5.8	8.4	10.6	11.8	12.6	11.5	12.1	12.1	10.1	7.8	5.9	9.4
2015 -2039 (escenario 8.5)	5.2	6.3	8.6	10.9	12.3	13.1	12.2	12.2	12.5	10.3	7.7	5.9	9.7
Cambio escenario 4.5	0.1	-0.4	0.0	0.1	0.1	0.1	-0.1	0.6	0.6	0.3	0.6	0.5	0.1
Cambio escenario 8.5	0.3	0.1	0.2	0.4	0.6	0.6	0.6	0.7	1.0	0.5	0.5	0.5	0.4

Fuente. Elaboración propia con información del SMN (2013) y UNAM (2018).

Por su parte, el escenario 8.5 para el año 2039, prevé para el municipio el incremento de la temperatura mínima promedio anual del orden de 0.4°C respecto al periodo 1951-2010, al pasar de 9.3°C a 9.7°C. Destaca el incremento de hasta 1°C en el mes de septiembre y de 0.7°C en el mes de agosto, lo que indica la ocurrencia de veranos más calurosos que los actuales. Para ambos escenarios se prevén inviernos ligeramente menos fríos, ya que en diciembre se registrarán un incremento de la temperatura mínima de alrededor de 0.5°C.

Gráfica 9. Temperatura mínima promedio (°C), 1959-2010 y escenarios 4.5 y 8.5 al año 2039.



Fuente. Elaboración propia con información del SMN (2013) y UNAM (2018).

Temperatura máxima

A partir de los escenarios climáticos analizados, se observa que la temperatura máxima promedio en el municipio registrará incrementos con primaveras y veranos cualitativamente más cálidos que los actuales, particularmente, en los meses de marzo y abril. Así el escenario 4.5, prevé una temperatura máxima promedio de 25.7°C, lo que implica el incremento de 0.5°C respecto al periodo 1951-2010. En particular, el mes de marzo alcanzará un incremento de hasta 1.7°C en su temperatura máxima, mientras que en el mes de abril esta variable se incrementará en 1°C. De igual forma, el mes de febrero aumentará también su temperatura máxima en 1.5°C, alcanzado hasta 25.3°C. Destaca que el mes de abril será el más cálido del año en este escenario, desplazando al mes de mayo, ya que el primero registrará en promedio una temperatura máxima de 28.5°C.

En el mismo sentido, el escenario 8.5, estima un incremento de 0.5°C en la temperatura máxima promedio anual respecto al periodo de 1951 a 2010 con 25.7°C. Se observa el incremento homogéneo de los meses de febrero, marzo y abril con

Tabla 8. Temperatura máxima promedio (°C), 1951-2010 y escenarios 4.5 y 8.5 al año 2039.

Fuente. Elaboración propia con información del SMN (2013) y UNAM (2018).

Mes	Normal climatológica (1951-2010)	2015 -2039 (Escenario 4.5)	2015 -2039 (escenario 8.5)
Ene	23.0	23.0	23.5
Feb	23.9	25.4	25.1
Mar	25.9	27.6	27.1
Abr	27.5	28.5	28.8
May	28.0	27.7	28.4
Jun	26.4	26.4	26.7
Jul	25.3	25.7	25.2
Ags	25.3	25.6	25.6
Sep	24.8	25.1	25.0
Oct	24.8	25.1	25.1
Nov	24.4	24.9	24.6
Dic	23.7	23.7	23.6

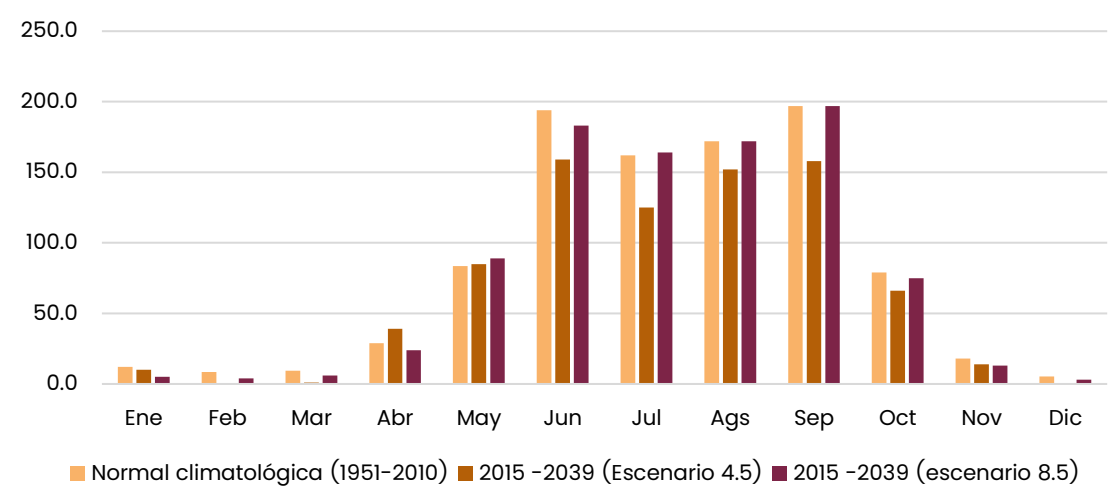
Precipitación

ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO Y SUS IMPLICACIONES EN EL DESARROLLO URBANO DEL MUNICIPIO DE PUEBLA. 2025 **45**

En términos absolutos, la mayor reducción de precipitación se presentará en el mes de septiembre, en plena temporada de lluvias, con 39 mm menos, lo que representa el 19.8% de los cuantificado entre 1951 y 2010, aunque también destacan los meses de junio y julio con 35 y 37 mm menos, es decir, el 18 y el 22%. En este escenario se observa una reducción importante en el mes de febrero del 100%, el cual, aunque forma parte de la temporada de estiaje, tiene una importancia particular en el periodo de siembra de cultivos básicos de temporal en la región del Valle de Puebla. Así, en este escenario, la temporada de estiaje (enero-mayo y octubre-diciembre) registrará una reducción del 12% en el volumen normal de precipitación, mientras que la temporada de lluvias registrará un decremento del 18.1%.

En el escenario 8.5 se espera una precipitación total anual al año 2039 de 935 mm, apenas el 3.5% menos que lo registrado entre 1951 y 2010. Retomando los datos por mes, se observa que el verano sufrirá sólo una pequeña reducción del volumen de lluvia, siendo la más destacada la del mes de junio con 11 mm menos, es decir, un 5.7%. Por su parte, el invierno y la primavera serán los periodos con las reducciones más significativas, sobresaliendo los meses de enero y febrero con disminución de 58.3 y 52.9%. Específicamente, la temporada de estiaje presentará en este escenario una reducción de 10.4% su volumen de precipitación, mientras que la temporada de lluvias se reducirá en 1.2%.

Gráfica 11. Precipitación total anual (mm), 1951-2010 y escenarios 4.5 y 8.5 al año 2039.



Fuente. Elaboración propia con información del SMN (2013) y UNAM (2018).

Tabla 9. Precipitación total anual (mm), 1951-2010 y escenarios 4.5 y 8.5 al año 2039.

Variable	Normal climatológica (1951-2010)	2015 -2039 (Escenario 4.5)	2015 -2039 (escenario 8.5)	Cambio escenario 4.5	Cambio escenario 8.5	Cambio escenario 4.5 (%)	Cambio escenario 8.5 (%)
Ene	12	10	5	-2	-7	-16.7	-58.3
Feb	8.5	0	4	-8.5	-4.5	-100.0	-52.9
Mar	9.4	1	6	-8.4	-3.4	-89.4	-36.2
Abr	28.8	39	24	10.2	-4.8	35.4	-16.7
May	83.5	85	89	1.5	5.5	1.8	6.6
Jun	194	159	183	-35	-11	-18.0	-5.7
Jul	162	125	164	-37	2	-22.8	1.2
Ags	172	152	172	-20	0	-11.6	0.0
Sep	197	158	197	-39	0	-19.8	0.0
Oct	79	66	75	-13	-4	-16.5	-5.1
Nov	18	14	13	-4	-5	-22.2	-27.8
Dic	5.2	0	3	-5.2	-2.2	-100.0	-42.3
Anual	969.1	809	935	-160.1	-34.1	-16.5	-3.5

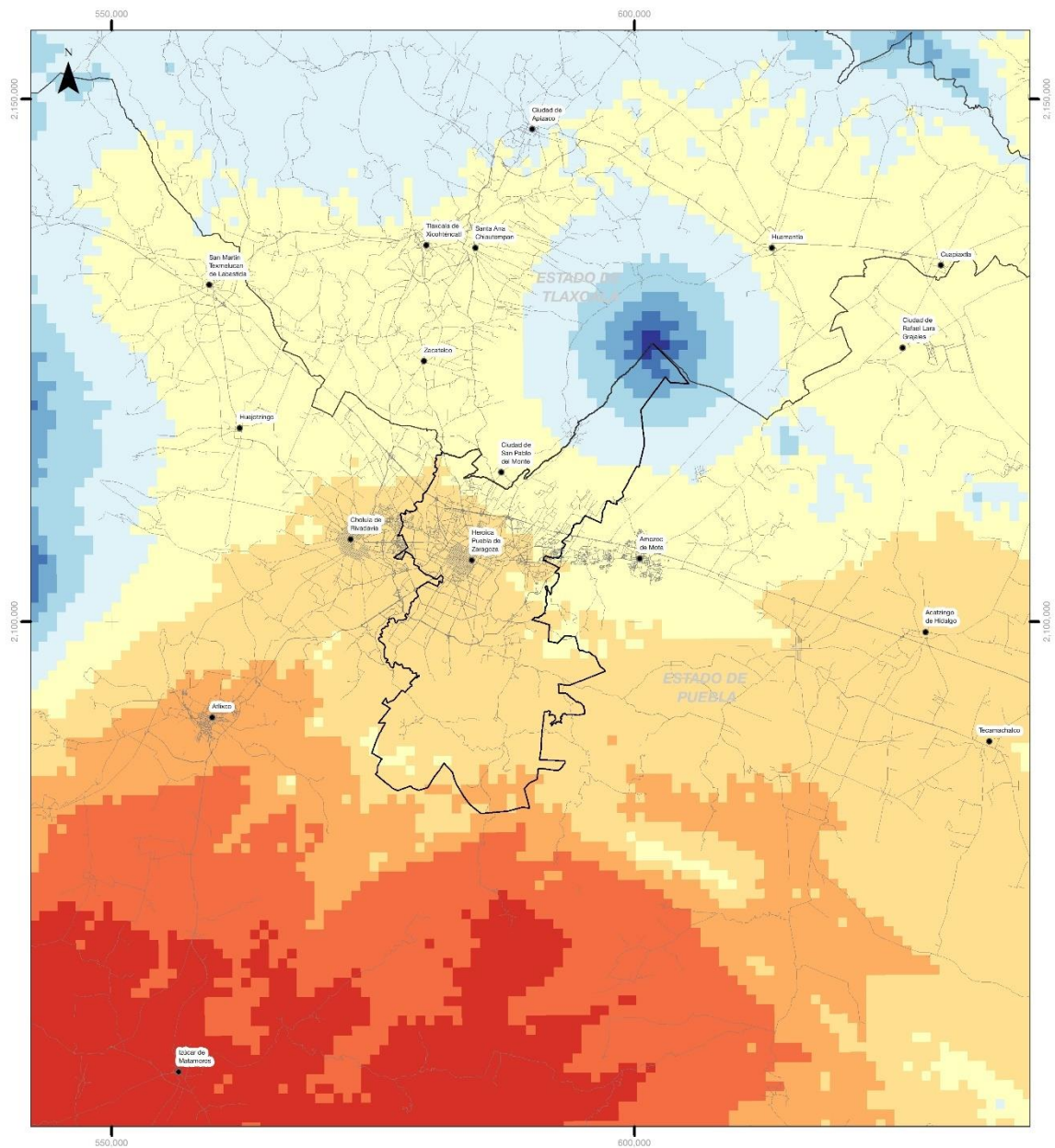
Fuente. Elaboración propia con información del SMN (2013) y UNAM (2018).

04.2. Escenarios al año 2069

Temperatura media

De acuerdo con los escenarios climáticos analizados, para el año 2069, se espera que la temperatura en el municipio se incremente alrededor de 1.5°C y la precipitación se reduzca en 14% respecto a las normales climatológicas del periodo 1951-2010, lo que derivará en múltiples efectos en el medio natural y en las dinámicas socioeconómicas. Así, el escenario CNRM-CM5 RCP 4.5 prevé una temperatura media anual en el municipio al año 2069 de 18.3°C, lo que implica un incremento de 1.1°C, con las mayores temperaturas en los meses de mayo y junio que alcanzarán los 20.7°C y la menor en enero con 15°C. Resalta en este escenario que el mes de abril presentará el mayor cambio de temperatura con un incremento de 2.2°C respecto al promedio registrado entre 1951 y 2010, aunque los meses de marzo y abril también serán particularmente calurosos pues se incrementará 2 y 2.1°C.

Para el escenario CNRM-CM5 RCP 8.5, se prevé un incremento de la temperatura media anual de 1.6°C con los meses más cálidos en abril y mayo que alcanzarán los 20.1°C y el más frío en enero con 15.3°C. También destacan los meses de febrero, marzo y abril con los mayores incrementos respecto a los registros de 1951 a 2010 con aumentos de 2, 2.1 y 2.2 °C. Es importante destacar que este escenario implica la superación de la meta establecida en el Acuerdo de París de 1.5°C, lo que implica la transformaciones severas a los sistemas climáticos global y regional.



Simbología

- Limite municipal Puebla
- Limite estatal
- Localidades principales
- Red vial

Temperatura media anual °C

0 - 2	14.1 - 16
2.1 - 4	16.1 - 18
4.1 - 6	18.1 - 20
6.1 - 8	20.1 - 22
8.1 - 10	22.1 - 24
10.1 - 12	24.1 - 26
12.1 - 14	26.1 - 28

Fuente:

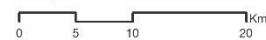
- Marco geoestadístico 2020, INEGI (2020).
- Red nacional de caminos 2020, INEGI (2020).
- Atlas Climático de México, UNAM (2018).

Referencia cartográfica:

- Proyección: UTM Zona 14 N
- Datum: WGS84.

Escala:

- 1:500,000



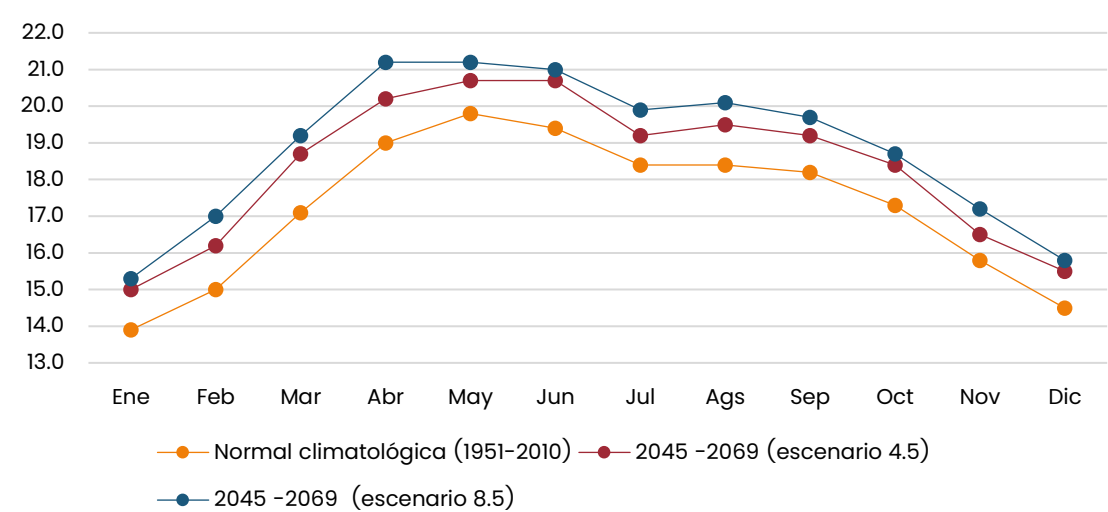
MAPA 9 TEMPERATURA MEDIA ANUAL ESCENARIO 2069 (CNRM-CM5 RCP 8.5)

Tabla 10. Temperatura media anual (°C), 1951-2010 y escenarios 4.5 y 8.5 al año 2036.

Variable	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ags	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Normal climatológica (1951-2010)	13.9	15.0	17.1	19.0	19.8	19.4	18.4	18.4	18.2	17.3	15.8	14.5	17.2
2045 -2069 (escenario 4.5)	15.0	16.2	18.7	20.2	20.7	20.7	19.2	19.5	19.2	18.4	16.5	15.5	18.3
2045 -2069 (escenario 8.5)	15.3	17.0	19.2	21.2	21.2	21.0	19.9	20.1	19.7	18.7	17.2	15.8	18.8
Cambio escenario 4.5	1.1	1.2	1.6	1.2	0.9	1.3	0.8	1.1	1.0	1.1	0.7	1.0	1.1
Cambio escenario 8.5	1.4	2.0	2.1	2.2	1.4	1.6	1.5	1.7	1.5	1.4	1.4	1.3	1.6

Fuente. Elaboración propia con información del SMN (2013) y UNAM (2018).

Gráfica 12. Temperatura media anual (°C), 1959-2010 y escenarios 4.5 y 8.5 al año 2069.



Fuente. Elaboración propia con información del SMN (2013) y UNAM (2018).

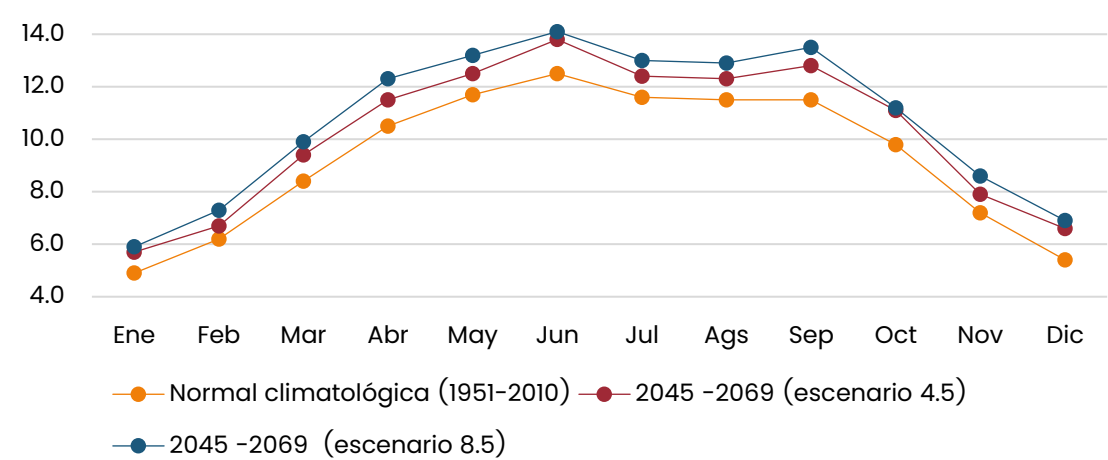
Temperatura mínima

Para el año 2069, los escenarios climático estiman también un incremento importante de la temperatura mínima promedio en el municipio que casi alcanza los 1.5°C. En particular, el escenario CNRM-CM5 RCP 4.5, con previsiones optimistas, estima un aumento de 0.9°C al año 2069 para registrar 10.2°C, con los mayores cambios en los meses de junio, septiembre y octubre, todos ellos con 1.3°C, alcanzando promedios de 13.8, 12.8 y 11.1°C.

Por su parte, el escenario CNRM-CM5 RCP 8.5 estima que la temperatura mínima promedio se registrará en 1.4°C, muy cerca de rebasar la meta definida en el Acuerdo de París. El mayor incremento se presentará en el mes de septiembre con 2°C y el registro de 13.5°C, aunque también destaca el mes de abril con un cambio de 1.8°C

para alcanzar 12.3°C. Cabe señalar también que los meses de marzo, mayo y diciembre verán también incrementadas sus promedios de temperatura mínima para alcanzar los 1.5°C.

Gráfica 13. Temperatura mínima promedio (°C), 1959-2010 y escenarios 4.5 y 8.5 al año 2069.



Fuente. Elaboración propia con información del SMN (2013) y UNAM (2018).

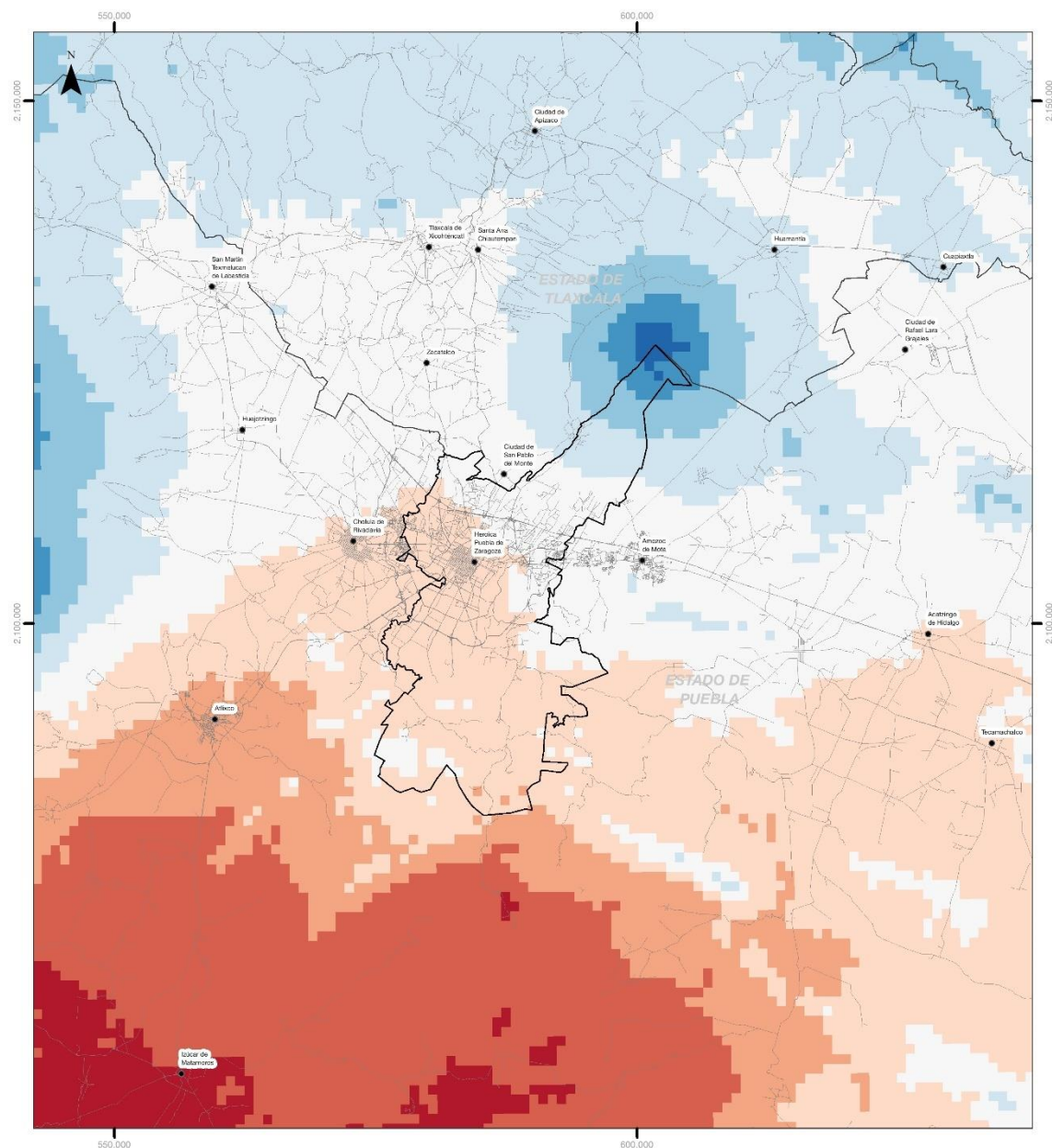
Tabla 11. Temperatura mínima promedio (°C), 1959-2010 y escenarios 4.5 y 8.5 al año 2069.

Variable	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ags	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Normal climatológica (1951-2010)	4.9	6.2	8.4	10.5	11.7	12.5	11.6	11.5	11.5	9.8	7.2	5.4	9.3
2045 -2069 (escenario 4.5)	5.7	6.7	9.4	11.5	12.5	13.8	12.4	12.3	12.8	11.1	7.9	6.6	10.2
2045 -2069 (escenario 8.5)	5.9	7.3	9.9	12.3	13.2	14.1	13.0	12.9	13.5	11.2	8.6	6.9	10.7
Cambio escenario 4.5	0.8	0.5	1.0	1.0	0.8	1.3	0.8	0.8	1.3	1.3	0.7	1.2	0.9
Cambio escenario 8.5	1.0	1.1	1.5	1.8	1.5	1.6	1.4	1.4	2.0	1.4	1.4	1.5	1.4

Fuente. Elaboración propia con información del SMN (2013) y UNAM (2018).

Temperatura máxima

Al igual que las variables anteriores, los escenarios climáticos estiman que la temperatura máxima promedio en el municipio se incrementará de forma notable para el año 2069, superando la meta de 1.5°C. Particularmente, el escenario CNRM-CM5 RCP 4.5 calcula que la temperatura máxima alcanzará los 26.5°C, lo que implica un incremento de 1.2°C, con el mayor cambio en el mes de marzo que registrará 2.2°C más de los registrado entre 1951 y 2010, seguido del mes de febrero con 2°C, alcanzando temperaturas máximas promedio de 25.9 y 28.1°C.



Simbología

- Limite municipal Puebla
- Limite estatal
- Localidades principales
- Red vial

Temperatura mínima

°C	
-3.2 - -2	8.1 - 10
-1.9 - 0	10.1 - 12
0.1 - 2	12.1 - 14
2.1 - 4	14.1 - 16
4.1 - 6	16.1 - 18
6.1 - 8	18.1 - 18.2

Fuente:

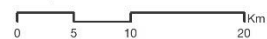
- Marco geostatístico 2020, INEGI (2020).
- Red nacional de caminos 2020, INEGI (2020).
- Atlas Climático Digital de México (UNAM, 2018).

Referencia cartográfica:

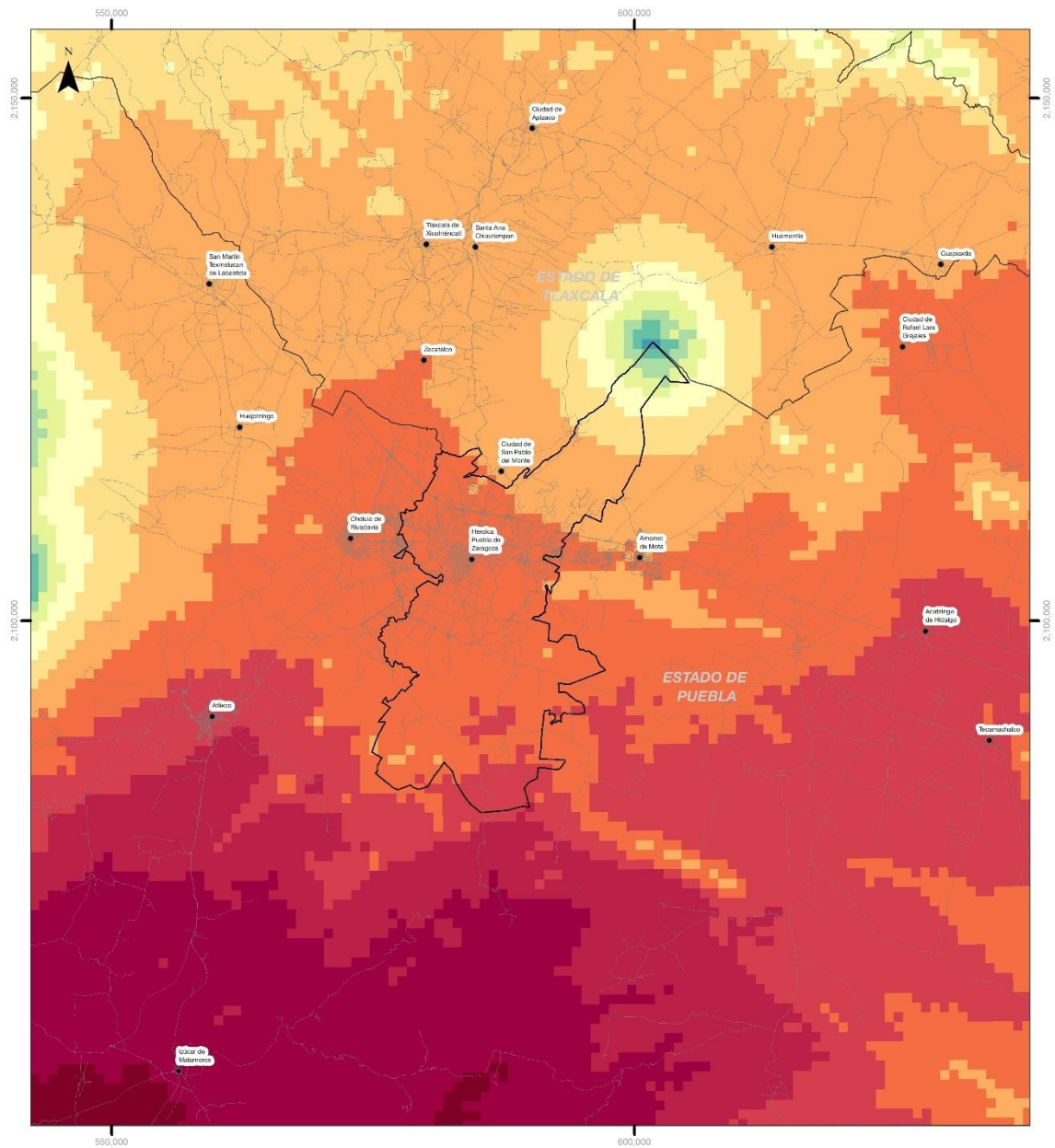
- Proyección: UTM Zona 14 N
- Datum: WGS84.

Escala:

- 1:500,000



MAPA 10 TEMPERATURA MÍNIMA PROMEDIO ESCENARIO 2039 (CNRM-CM5 RCP 8.5)



Simbología

- Limite municipal Puebla
- Limite estatal
- Localidades principales
- Red vial

Temperatura máxima °C

	7.2 - 8		22.1 - 24
	8.1 - 10		24.1 - 26
	10.1 - 12		26.1 - 28
	12.1 - 14		28.1 - 30
	14.1 - 16		30.1 - 32
	16.1 - 18		32.1 - 34
	18.1 - 20		34.1 - 36
	20.1 - 22		36.1 - 36.3

Fuente:

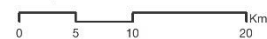
- Marco geostatístico 2020, INEGI (2020).
- Red nacional de caminos 2020, INEGI (2020).
- Atlas Climático Digital de México, UNAM (2018).

Referencia cartográfica:

- Proyección: UTM Zona 14 N
- Datum: WGS84.

Escala:

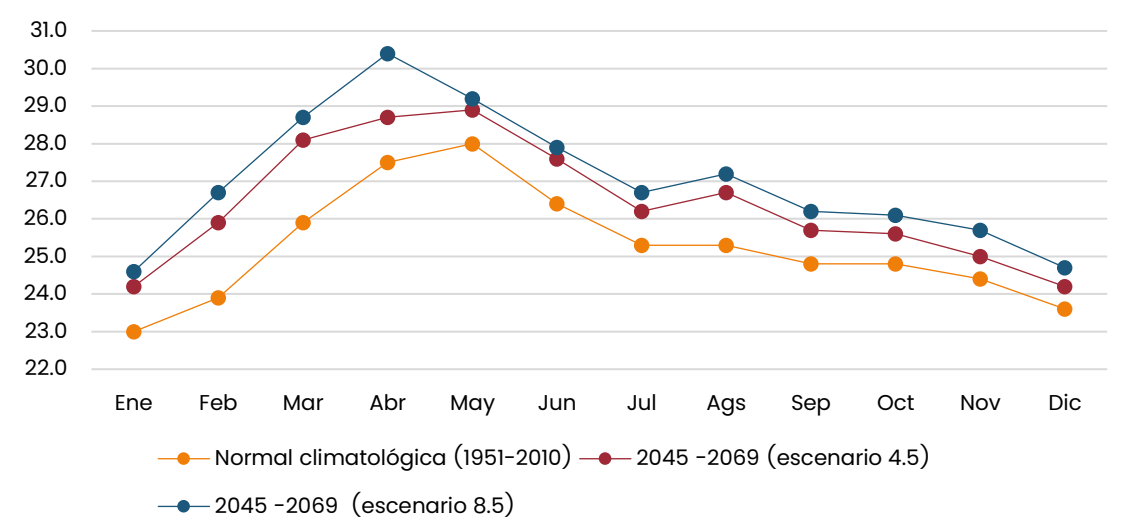
- 1:500,000



MAPA 11 TEMPERATURA MÁXIMA PROMEDIO ESCENARIO 2069 (CNRM-CM5 RCP 8.5)

El escenario CNRM-CM5 RCP 8.5 prevé un incremento de 1.8°C, superando la meta de 1.5°C, para registrar un promedio anual de 27°C. Por mes, sobresalen los incrementos de 2.9°C para el mes de abril que implica una temperatura máxima de 30.4°C, y para los meses de febrero y marzo de 2.8°C cuando se alcanzarán promedios de 26.7 y 28.7°C. Adicionalmente, conviene señalar el incremento de la temperatura máxima en el mes de agosto de 1.9°C, enero de 1.6°C y junio de 1.5°C. Con lo anterior se observa que, a largo plazo, la temperatura máxima será el tipo de temperatura con mayor incremento en el escenario pesimista, superado las metas definidas en el Acuerdo de París, particularmente en la primavera y el verano.

Gráfica 14. Temperatura máxima promedio (°C), 1959-2010 y escenarios 4.5 y 8.5 al año 2069.



Fuente. Elaboración propia con información del SMN (2013) y UNAM (2018).

Tabla 12. Temperatura máxima promedio (°C), 1959-2010 y escenarios 4.5 y 8.5 al año 2069.

Variable	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ags	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Normal climatológica (1951-2010)	23.0	23.9	25.9	27.5	28.0	26.4	25.3	25.3	24.8	24.8	24.4	23.6	25.2
2045 -2069 (escenario 4.5)	24.2	25.9	28.1	28.7	28.9	27.6	26.2	26.7	25.7	25.6	25.0	24.2	26.4
2045 -2069 (escenario 8.5)	24.6	26.7	28.7	30.4	29.2	27.9	26.7	27.2	26.2	26.1	25.7	24.7	27.0
Cambio escenario 4.5	1.2	2.0	2.2	1.2	0.9	1.2	0.9	1.4	0.9	0.8	0.6	0.6	1.2
Cambio escenario 8.5	1.6	2.8	2.8	2.9	1.2	1.5	1.4	1.9	1.4	1.3	1.3	1.1	1.8

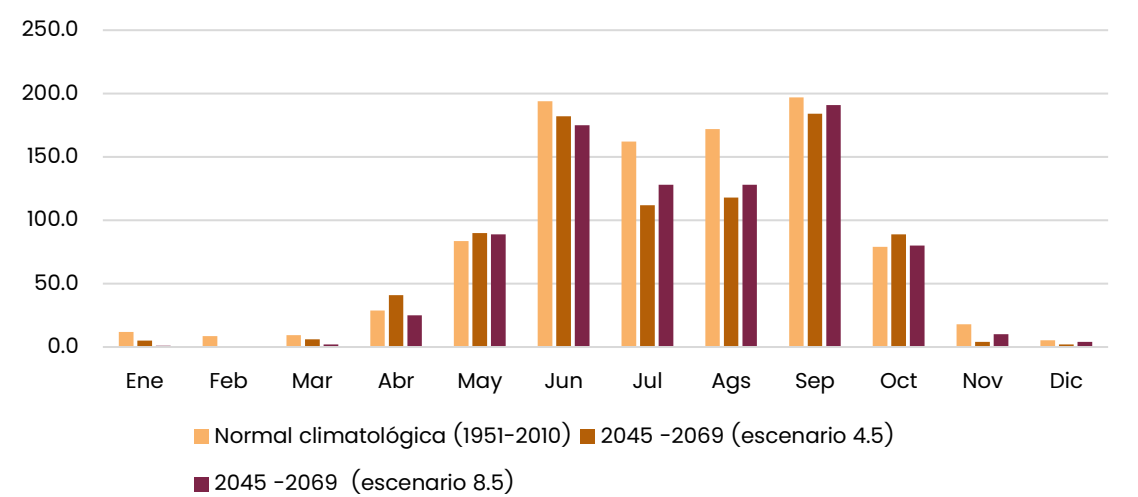
Fuente. Elaboración propia con información del SMN (2013) y UNAM (2018).

Precipitación

Los escenarios climáticos analizados estiman una reducción considerable también del volumen de precipitación en el municipio en el largo plazo (año 2069) que implica la caída de 14.1% menos de lluvia respecto a lo registrado en el periodo de 1951 a 2010. En el escenario CNRM-CM5 RCP 4.5, la mayor reducción se presentará en el mes de febrero cuando dejará de llover la totalidad de los 8.5 mm que precipitan generalmente, seguido de los meses de diciembre y enero cuando se estima una reducción del 61.5 y 58.3% de menor precipitación. Así, se observa una reducción de la precipitación en la temporada de estiaje (enero-mayo y octubre-diciembre) de 3% y en la temporada de lluvias (junio-septiembre) de 17.8%.

Para el escenario CNRM-CM5 RCP 8.5, que implica altas emisiones de gases de efecto invernadero, y por consecuencia mayores cambios en el clima, se prevé también una reducción del 100% de la precipitación normal en el mes de febrero, destacando también los decrementos del 91.7% en el mes de enero y de 78.7% en el mes de marzo. Es importante señalar que el escenario CNRM-CM5 RCP 4.5, la temporada de estiaje verá una reducción de hasta el 13.7% de las lluvias registradas en el periodo de 1951 a 2010, y de 14.2% en la temporadas de lluvias.

Gráfica 15. Precipitación promedio (°C), 1959-2010 y escenarios 4.5 y 8.5 al año 2069.



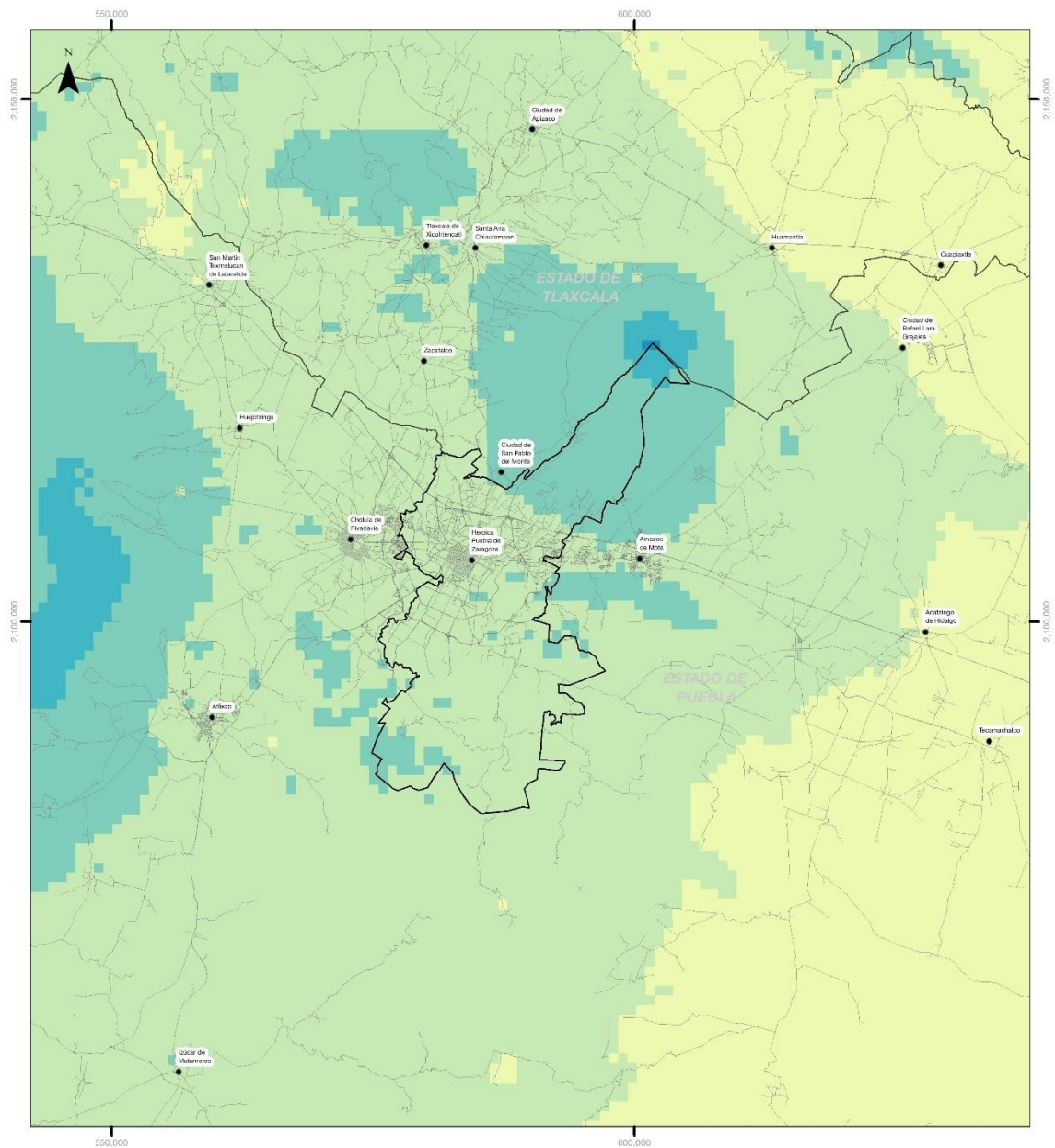
Fuente. Elaboración propia con información del SMN (2013) y UNAM (2018).

Tabla 13. Precipitación total anual (mm), 1951-2010 y escenarios 4.5 y 8.5 al año 2069.

Variable	Normal climatológica (1951-2010)	2045-2069 (escenario 4.5)	2045-2069 (escenario 8.5)	Cambio escenario 4.5	Cambio escenario 8.5	Cambio escenario 4.5 (%)	Cambio escenario 8.5 (%)
Ene	12	5	1	-7	-11	-58.3	-91.7
Feb	8.5	0	0	-8.5	-8.5	-100.0	-100.0
Mar	9.4	6	2	-3.4	-7.4	-36.2	-78.7

Abr	28.8	41	25	12.2	-3.8	42.4	-13.2
May	83.5	90	89	6.5	5.5	7.8	6.6
Jun	194	182	175	-12	-19	-6.2	-9.8
Jul	162	112	128	-50	-34	-30.9	-21.0
Ags	172	118	128	-54	-44	-31.4	-25.6
Sep	197	184	191	-13	-6	-6.6	-3.0
Oct	79	89	80	10	1	12.7	1.3
Nov	18	4	10	-14	-8	-77.8	-44.4
Dic	5.2	2	4	-3.2	-1.2	-61.5	-23.1
Anual	969.4	833	833	-136.4	-136.4	-14.1	-14.1

Fuente. Elaboración propia con información del SMN (2013) y UNAM (2018).



Simbología

- Límite municipal Puebla
- Límite estatal
- Localidades principales
- Red vial

Precipitación

- mm
- 325 - 400
 - 400.1 - 600
 - 600.1 - 800
 - 800.1 - 1,000
 - 1,000.1 - 1,200
 - 1,200.1 - 1,400
 - 1,400.1 - 1,600
 - 1,600.1 - 1,644

Fuente:

- Marco geoestadístico 2020, INEGI (2020).
- Red nacional de caminos 2020, INEGI (2020).
- Atlas Climático Digital de México, UNAM (2018).

Referencia cartográfica:

- Proyección: UTM Zona 14 N
- Datum: WGS84.

Escala:

- 1:500,000

PRECIPITACIÓN ANUAL ESCENARIO 2069 (CNRM-CM5 RCP 8.5)

05. IMPLICACIONES URBANAS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

Como se ha señalado, el cambio climático constituye un fenómeno multidimensional que afectará de manera directa e indirecta la dinámica urbana del municipio de Puebla en el mediano y largo plazo. La interacción entre el medio natural, los sistemas de infraestructura, los procesos socioeconómicos y la configuración del riesgo condiciona la vulnerabilidad de la ciudad frente a escenarios climáticos futuros. En este contexto, la identificación de implicaciones urbanas resulta de la mayor importancia para orientar la planificación territorial hacia esquemas de mayor resiliencia y sostenibilidad.

Implicaciones al medio natural

Los escenarios climáticos proyectados para el municipio de Puebla, caracterizados por un incremento sostenido de la temperatura media y la reducción en los volúmenes de precipitación, tendrán profundas repercusiones en sus ecosistemas y recursos naturales. En principio, y para el largo plazo, es previsible que el aumento de la temperatura, particularmente de las máximas promedio con hasta 1.8°C más de lo registrado históricamente para el año 2069 en el escenario RCP 8.5, intensificará la tasa de evapotranspiración, generando un estrés hídrico elevado en un territorio donde la disponibilidad del Acuífero Valle de Puebla ya muestra una tendencia crítica de abatimiento (CONAGUA, 2020).

En el municipio de Puebla, la reducción en la disponibilidad de agua en el acuífero del Valle de Puebla, junto con el incremento en la variabilidad de la precipitación, amenazará la capacidad de recarga hídrica y el equilibrio ecológico de humedales y áreas naturales protegidas (CONAGUA, 2020). Este proceso se verá agravado por la fragmentación de hábitats y el crecimiento urbano descontrolado sobre áreas de valor ambiental como la Sierra del Tentzo, los bosques de La Malinche y los humedales de Valsequillo.

La reducción de la precipitación para el largo plazo en un 14.1%, con especial disminución en el invierno e inicios de la primavera, generará condiciones climáticas adversas para la producción agrícola de maíz, principalmente para la dependiente de las lluvias de temporal, que actualmente se practica en la mayor parte de los terrenos agrícolas del Valle de Puebla y en las laderas de las montañas altas, aunque sin duda comprometerá también la producción agrícola de riesgo que se extiende en la parte baja del valle. En términos de seguridad alimentaria, las dificultades en la producción agrícola de temporal en el municipio pueden poner en riesgo las variedades de maíz nativo que se producen en la laderas de la Malinche y hacia el Humedal de Valsequillo, las cuales aún forman parte de la base alimentaria y de complemento de la economía de la población de juntas auxiliares rurales.

La reducción de la precipitación, especialmente durante la temporada de lluvias (hasta -31.4% en agosto para 2069, escenario RCP 4.5), también alterará el ciclo hidrológico natural. Esto impactará directamente la recarga de los acuíferos y el caudal de los ríos Atoyac y Alseseca, disminuyendo los volúmenes de almacenamiento de la Presa Valsequillo, cuyas aguas sirven al distrito de riego de Tehuacán, una de las zonas de mayor producción agrícola del estado. Los ecosistemas dependientes de la humedad, como el Humedal de Valsequillo (sitio Ramsar), enfrentarán una presión adicional por la menor entrada de agua, comprometiendo su función como refugio de biodiversidad y pudiendo acelerar procesos de eutrofización y pérdida de hábitat.

Es muy probable que la combinación de calor extremo y sequías prolongadas incremente la vulnerabilidad de las áreas naturales protegidas. El Parque Nacional La Malinche y los bosques de encino de La Calera y la Sierra del Tentzo experimentarán una mayor frecuencia e intensidad de incendios forestales durante la extendida temporada de estiaje. Simultáneamente, el cambio en las variables climáticas principales generará transformaciones en la composición de especies forestales, favoreciendo a aquellas más adaptadas a condiciones de sequía y calor, y potencialmente llevando a una migración altitudinal de la biodiversidad o a la pérdida local de especies menos resilientes. La degradación de estos ecosistemas no solo implica una pérdida de patrimonio natural, sino también la merma de servicios ecosistémicos cruciales, como la captura de carbono, la regulación del microclima urbano y la protección de suelos frente a la erosión.

Los efectos del calentamiento global también intensificarán fenómenos como la pérdida de cobertura vegetal, la degradación de suelos y el aumento de islas de calor urbano. En Puebla, la deforestación de laderas y la insuficiente dotación de áreas verdes urbanas (menos de 5 m² por habitante, frente a los 15 m² recomendados por la OMS) incrementarán la exposición a olas de calor y reducirán la capacidad de mitigación de contaminantes atmosféricos (OMS, 2017). En este sentido, la vulnerabilidad ambiental no se limitará a la pérdida de servicios ecosistémicos, sino que repercutirá directamente en la salud y bienestar de la población urbana.

Implicaciones socioeconómicas

El cambio climático actuará como un multiplicador de amenazas que, muy probablemente, exacerbará las desigualdades socioeconómicas preexistentes en el municipio. Es previsible que los impactos no se distribuyan de manera homogénea, sino que recaigan con mayor fuerza en los grupos poblacionales en situación de vulnerabilidad, aquellos con menores recursos económicos, acceso limitado a servicios y asentados en zonas de riesgo (IPCC, 2022).

La población asentada en colonias periféricas y juntas auxiliares del municipio enfrentará mayores riesgos asociados a inundaciones, deslizamientos de ladera y déficit de servicios básicos, lo que amplificará su vulnerabilidad (ONU-Hábitat, 2011). La pérdida de productividad agrícola en zonas rurales y periurbanas por sequías prolongadas y cambios en los ciclos de precipitación también repercutirá en el empleo, el abastecimiento alimentario y los precios de productos básicos.

Adicionalmente, el aumento en la frecuencia de olas de calor y la contaminación atmosférica agrava los problemas de salud pública, en particular enfermedades respiratorias y cardiovasculares. Estas afectaciones tienden a concentrarse en grupos vulnerables como personas adultas mayores, infancia y población en situación de pobreza, reproduciendo la inequidad socioespacial (IPCC, 2023). La vulnerabilidad social se ve condicionada no solo por la exposición física a amenazas, sino también por factores como ingreso, género, edad y acceso diferencial a infraestructura y servicios urbanos (Meerow et al., 2016b).

La posible alteración en los patrones de precipitación podría también influir en la distribución temporal y espacial de enfermedades vectoriales como el dengue, el cual, aunque en el municipio de Puebla tiene una baja incidencia, puede extenderse en el límite sur, hacia la zona de Valsequillo en la que la temperatura se incrementará notablemente.

En el ámbito económico, los sectores productivos se verán afectados. Es previsible que los costos operativos de las empresas e industrias se incrementarán debido a la mayor demanda de energía para sistemas de refrigeración y necesidad de aire acondicionado, este último, poco utilizado actualmente en las edificaciones de la ciudad. El sector turístico del municipio, centrado en el patrimonio cultural y la gastronomía, podría verse afectado por las temperaturas extremas que disuadan las actividades al aire libre en los horarios diurnos.

Implicaciones a la infraestructura y los servicios públicos

La infraestructura urbana del municipio de Puebla, en muchos casos ya rebasada o con mantenimiento deficiente, enfrentará desafíos importante por el cambio climático en el mediano y largo plazo, considerando que actualmente el sistema de abastecimiento de agua potable es particularmente crítico. Es muy probable que la reducción en la recarga del acuífero y la menor disponibilidad superficial profundicen el estrés hídrico que ya padecen numerosas colonias, especialmente en las periferias norte y sur donde el suministro es intermitente (1-2 días por semana en el 45% de las colonias). El aumento en la demanda por consumo humano y para los servicios básicos en la vivienda entrará en conflicto directo con la reducción de los volumen de dotación, lo que puede generar inconformidades sociales y conflicto de gobernabilidad.

Por otro lado, se prevé que los episodios de lluvia extrema, aunque menos frecuentes, sean más intensos. La infraestructura de drenaje pluvial y alcantarillado, que ya genera conflictos de 66 puntos conocidos del municipio, tendrá dificultades para captar y conducir volúmenes pico de lluvia cada vez mayores, aumentando la frecuencia e intensidad de inundaciones en zonas bajas y vulnerables como los márgenes de los ríos y arroyos. Esto podría dañar viviendas, comercios, servicios, equipamientos e infraestructura básica, particularmente la vial.

Es muy probable que las altas temperaturas afecten la infraestructura de servicios. Las carreteras y pavimentos sufrirán un mayor deterioro por el ablandamiento del asfalto y la expansión térmica. La demanda de energía eléctrica se incrementará en horarios pico debido al uso masivo de aire acondicionado, lo que puede sobrecargar la red de distribución y aumentando el riesgo de apagones (Currie & Pérez, 2021). La infraestructura verde existente, ya insuficiente con apenas $\sim 2.6 \text{ m}^2/\text{hab}$, sufrirá estrés hídrico, requiriendo de riego y mantenimiento intensivo, lo que comprometerá su función de mitigación del calor urbano y de provisión de espacios de esparcimiento. Según la OCDE (2021), las ciudades latinoamericanas que no adaptan su infraestructura al cambio climático enfrentarán costos crecientes por mantenimiento, interrupciones económicas y pérdida de competitividad.

Implicaciones en riesgos naturales

El cambio climático modificará la frecuencia, intensidad y distribución espacial de los riesgos naturales a los que está expuesto el municipio, amplificando las amenazas existentes y generando nuevas vulnerabilidades. El calor extremo se consolidará como una amenaza crónica, con olas de calor más largas y frecuentes que representarán un riesgo permanente para la salud, especialmente en las "islas de calor urbanas" del centro y sur de la ciudad, donde la densificación y la falta de vegetación intensifican las temperaturas.

El régimen alterado de precipitaciones aumentará la probabilidad de sequías agrícolas e hidrológicas, pero también de inundaciones repentinas. En las lluvias torrenciales, aunque sean de menor duración, el escurrimiento superficial será mucho mayor y más rápido, saturando en menor tiempo la capacidad de drenaje y generando inundaciones en áreas que antes no se consideraban de alto riesgo. Las zonas identificadas como críticas (riberas de ríos, puntos de inundación recurrentes) verán incrementado su nivel de peligro.

Es previsible también la incremento del riesgo de inestabilidad de laderas en el territorio. Los suelos de las laderas de La Malinche, la Sierra del Tentzo y otras elevaciones en el interior de la ciudad (Amalucan, Marqués) se verán afectados por ciclos de sequía intensa que fracturan el terreno, seguidos de lluvias intensas que pueden movilizar el material suelto, incrementando la susceptibilidad a

deslizamientos y flujos de escombros, lo que pondría en alto riesgo a los asentamientos humanos localizados en estas laderas.

La sobreexplotación del acuífero y la variación en los patrones de precipitación pueden acelerar procesos de subsidencia e incrementar la inestabilidad en zonas de karstificación y fallas geológicas, como las reportadas en La Libertad y Valsequillo (Ayuntamiento de Puebla, 2021)

Aunque no directamente causado por el cambio climático, un riesgo secundario lo representa la ceniza volcánica del Popocatepetl. Periodos de sequía prolongada combinados con vientos fuertes podrían facilitar la remoción y redistribución de cenizas previamente depositadas, afectando recurrentemente la calidad del aire, la infraestructura y la salud respiratoria de la población, incluso sin que ocurra una erupción de alta magnitud. La gestión integral del riesgo deberá, por tanto, adoptar un enfoque multiamenaza que considere estas interacciones complejas entre el cambio climático y las amenazas geológicas preexistentes.

Desde una perspectiva de gestión urbana, la magnitud de estos riesgos evidencia la necesidad de integrar criterios de adaptación y reducción de vulnerabilidades en la planeación territorial. La transición hacia un modelo de ciudad resiliente implica no solo inversiones en infraestructura, sino también procesos de gobernanza participativa y fortalecimiento institucional que permitan anticipar, mitigar y responder de manera efectiva a los impactos del cambio climático (Méndez, 2012; IPCC, 2022).

06. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A partir del análisis de las implicaciones urbanas del cambio climático en el municipio de Puebla es posible concluir que la ciudad enfrentará escenarios de alta vulnerabilidad ambiental, social y territorial en el mediano y largo plazo. La disminución sostenida en la disponibilidad de agua en el acuífero del Valle de Puebla y la creciente irregularidad en los patrones de precipitación comprometerán la seguridad hídrica, mientras que la sobreexplotación de fuentes subterráneas y el déficit en la infraestructura de distribución profundizarán la fragilidad del sistema urbano. A estas condiciones se suma la presión constante sobre áreas de valor ambiental como la Sierra del Tentzo, los bosques de La Malinche y el humedal de Valsequillo, cuya degradación reducirá la capacidad del territorio para mantener servicios ecosistémicos esenciales y amortiguar los efectos climáticos extremos.

En el plano social, el cambio climático profundizará las desigualdades territoriales ya existentes. Las colonias periféricas y juntas auxiliares, que presentan mayores carencias de infraestructura y servicios básicos, serán también las más expuestas a inundaciones, deslizamientos de ladera y déficit hídrico, lo que incrementará su vulnerabilidad y afectará de manera desproporcionada a los grupos de menor ingreso. La salud pública se verá igualmente comprometida por la mayor frecuencia de olas de calor, condiciones que afectarán especialmente a la niñez, personas adultas mayores y sectores en condición de pobreza.

La infraestructura urbana muestra una marcada fragilidad frente a los impactos del cambio climático. Los sistemas de drenaje y alcantarillado resultarán insuficientes para enfrentar eventos pluviales extremos, lo que derivará en inundaciones recurrentes en zonas críticas de la ciudad. De igual manera, el transporte y las vialidades se verán afectados por lluvias intensas y olas de calor que deteriorarán su operatividad, incrementando los costos de mantenimiento y reduciendo la competitividad urbana. Este déficit de adaptación se verá agravado por la escasa presencia de infraestructura verde y por un rezago estructural en la dotación de áreas verdes, ya que Puebla dispone de menos de 5 metros cuadrados por habitante, muy por debajo de los estándares internacionales que recomiendan al menos 15. Esta condición intensificará las islas de calor urbano, limitando la capacidad de absorción de contaminantes y restringiendo las oportunidades de recreación y bienestar social.

En términos de riesgos naturales, el cambio climático exacerbará amenazas ya presentes en el territorio municipal. La mayor recurrencia de lluvias intensas incrementará la posibilidad de inundaciones en cauces como el Atoyac y el Alseseca, mientras que la variabilidad térmica y la reducción de la humedad relativa favorecerán la ocurrencia de incendios forestales en áreas naturales y periurbanas.

Asimismo, la interacción entre la sobreexplotación del acuífero y la variación en los patrones de precipitación incrementarán la susceptibilidad a hundimientos, subsidencia y procesos de karstificación en zonas como La Libertad y Valsequillo, donde los daños potenciales sobre la infraestructura y el patrimonio urbano podrían ser significativos.

A partir de este panorama, es posible establecer algunas recomendaciones orientadas a la construcción de un modelo de desarrollo urbano resiliente:

En primer lugar, resulta indispensable fortalecer la gestión integral del agua mediante la implementación de programas de captación pluvial, la ampliación de plantas de tratamiento y reúso de aguas residuales, y la conservación de las zonas de recarga hídrica en las laderas de la Malinche y la Sierra del Tentzo.

En segundo lugar, la planeación territorial debe incorporar de manera sistemática los mapas de riesgo climático y natural, con el fin de restringir el crecimiento urbano en zonas de alta vulnerabilidad y orientar la expansión hacia áreas con infraestructura consolidada. Asimismo, se recomienda promover proyectos de densificación ordenada que reduzcan la presión sobre las periferias y favorezcan una ciudad más compacta y eficiente.

La adaptación de la infraestructura urbana constituye otra prioridad. Es necesario modernizar el sistema de drenaje pluvial mediante soluciones basadas en la naturaleza, como parques inundables y pavimentos permeables, además de diseñar vialidades y sistemas de transporte público resistentes a lluvias extremas y olas de calor. La creación de infraestructura verde y la ampliación de áreas verdes urbanas permitirán no solo mitigar los efectos del cambio climático, sino también mejorar la calidad de vida de la población.

Al mismo tiempo, resulta fundamental reducir las desigualdades socioespaciales que determinan la vulnerabilidad urbana. Para ello, se requiere priorizar inversiones en servicios básicos en colonias periféricas y juntas auxiliares, impulsar programas de mejoramiento barrial y vivienda resiliente, e incorporar criterios de justicia climática en la asignación de recursos municipales. Estas medidas deben complementarse con un fortalecimiento de la gobernanza y la participación social. La creación de un sistema municipal de monitoreo climático y gestión de riesgos, con acceso público a la información, permitirá mejorar la transparencia y la capacidad de respuesta. Además, la inclusión de comunidades y grupos sociales vulnerables en los procesos de planeación contribuirá a generar estrategias de adaptación más equitativas y efectivas.

Finalmente, se recomienda impulsar una cultura climática a nivel local que promueva la sensibilización ciudadana sobre el cambio climático y fomenta prácticas comunitarias de adaptación como la reforestación urbana, el ahorro de agua y energía, y la creación de huertos urbanos. Integrar estos contenidos en los

programas educativos y en las políticas municipales permitirá consolidar una sociedad más consciente, corresponsable y preparada para enfrentar los retos climáticos del futuro.

Bibliografía

- Banco Mundial. (2020). Revised Estimates of the Impact of Climate Change on Extreme Poverty by 2030. Recuperado de: <https://documents1.worldbank.org/curated/en/706751601388457990/pdf/Revised-Estimates-of-the-Impact-of-Climate-Change-on-Extreme-Poverty-by-2030.pdf>
- CENAPRED. (2020). Mapa Nacional de Susceptibilidad de Inestabilidad de Laderas. Revisado en: <https://www.atlasnacionalderiesgos.gob.mx/>
- CENAPRED-UNAM. (2020). Mapa de Peligros del Volcán Popocatepetl. Recuperado de: https://www.geofisica.unam.mx/mapas/IGEF_mapa_peligros_popocatepetl_2016_web.pdf
- Chelleri, L., Waters, J. J., Olazabal, M., & Minucci, G. (2015). Resilience trade-offs: addressing multiple scales and temporal aspects of urban resilience. *Environment and Urbanization*, 27(1), 181-198.
- Comisión Nacional de Agua (CONAGUA). (2020). Estadísticas del agua en México.
- Comisión Nacional de Agua (CONAGUA). (2023). Calidad del agua en México. Recuperado de: <https://www.gob.mx/conagua/articulos/calidad-del-agua>
- Comisión Nacional de Agua (CONAGUA). (2024). Actualización de la Disponibilidad Media Anual de Agua en el Acuífero Valle de Puebla (2104), Estado de Puebla. Recuperado de: https://sigagis.conagua.gob.mx/gas1/Edos_Acuiferos_18/puebla/DR_2104.pdf
- Currie, R., Pérez, G. (2021). Cambio climático y planificación urbana: Desafíos y oportunidades para la Evaluación Ambiental Estratégica. En: *Revista de Derecho Ambiental*. NÚM. 16 (2021) • PÁGS. 73-107.
- Gobierno del Estado de Puebla (2011). Programa Sectorial de Movilidad de la Zona Metropolitana de la Ciudad de Puebla.
- H. Ayuntamiento de Puebla. (2021). Atlas de Peligros y Riesgos del Municipio de Puebla.
- OCDE. (2021). Hacia la Resiliencia y Neutralidad Climática en América Latina y el Caribe. Recuperado de: https://www.oecd.org/content/dam/oecd/es/publications/reports/2023/10/towards-climate-resilience-and-neutrality-in-latin-america-and-the-caribbean_7589d040/a73c1364-es.pdf

- IPCC. (2014). Fifth Assessment Report (AR5), Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Cambridge University Press
- IPCC. (2022). Sixth Assessment Report (AR6), Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Cambridge University Press
- IPCC. (2022). Sexto Informe de Evaluación del IPCC: Cambio Climático 2023. Panel Intergubernamental de Expertos en Cambio Climático. Recuperado de: <https://www.ipcc.ch/assessment-report/ar6/>
- Instituto Municipal de Planeación (IMPLAN). (2023). Anteproyecto de Programa Municipal de Desarrollo Urbano de Puebla. Versión de consulta pública.
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). (2018). Sexta Comunicación Nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Recuperado de: <https://cambioclimatico.gob.mx/sexta-comunicacion/>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (1990). XI Censo General de Población y Vivienda (CPV) 1990. Recuperado de: <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/1990/>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2000). XII Censo General de Población y Vivienda (CPV) 2000. Recuperado de: <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2000/>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2010). Censo de Población y Vivienda (CPV) 2010. Recuperado de: <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2010/>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2013). Continuo de Elevaciones Mexicano. Recuperado de: <https://www.inegi.org.mx/app/geo2/elevacionesmex/>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2020). Censo de Población y Vivienda (CPV) 2020. Recuperado de: <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/>
- Meerow, S., & Stults, M. (2016). Comparing conceptualizations of urban climate resilience in theory and practice. *Sustainability*, 8(7), 70
- Meerow, S., Newell, J. P., & Stults, M. (2016b). Defining urban resilience: A review. *Landscape and Urban Planning*, 147, 38–49.
- Méndez, R. (2012). Ciudades y metáforas: sobre el concepto de resiliencia urbana. *Ciudad Y Territorio Estudios Territoriales*, 44(172), 215–231. Recuperado a partir de: <https://recyt.fecyt.es/index.php/CyTET/article/view/76122>
- OMS. (2017). Urban green spaces and health. World Health Organization. Recuperado de: <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/345751/WHO-EURO-2016-3352-43111-60341-eng.pdf?sequence=3>

- ONU. (1992). Convención Marco de las Naciones Unidas Sobre el Cambio Climático. Recuperado de: <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/convsp.pdf>
- ONU-Hábitat. (2011). Las Ciudades y El Cambio Climático: Orientaciones Para Políticas (Cities and Climate Change: Policy Guidance). Recuperado de: <https://unhabitat.org/node/92208>
- Porrúa, F., Zavala, J., Martínez, A., Raga, G., Gay, C. (2023). Estado y perspectivas del cambio climático en México: un punto de partida. Ciudad de México. Universidad Nacional de Autónoma de México (UNAM). Programa de Investigación en Cambio Climático.
- Secretaría de Medio Ambiente, Desarrollo Sustentable y Ordenamiento Territorial (2022). Resultados de Calidad del Aire en la Ciudad de Puebla. Tabulados estadísticos.
- Servicio Meteorológico Nacional (SMN). (2013). Normales Climatológicas por Estación.
- Ureta, C., Gonzales, C., Cuervo, A. (2024). Cambio Climático en México. Bienestar Humano y Ecosistémico. Ciudad de México. Consejo Nacional de Humanidades Ciencias y Tecnología (CONAHCYT). Instituto Mora.
- Universidad Nacional de Autónoma de México (UNAM). (2018). Atlas Climático Digital de México. Recuperado de: <https://atlasclimatico.unam.mx/acdm/visualizador>