



DIAGNÓSTICO CLIMATOLÓGICO Y PROSPECTIVO DE LA VULNERABILIDAD AL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA ZONA CONURBADA DE GUADALAJARA, JALISCO, MÉXICO.

VALENTINA DAVYDOVA BELITSKAYA



UNIVERSIDAD DE
GUADALAJARA
Red Universitaria de Jalisco

Diagnóstico climatológico y prospectivo de la vulnerabilidad al cambio climático en la zona conurbada de Guadalajara, Jalisco, México.

Valentina Davydova Belitskaya

Arturo Javier Palero Castro



Diseño de portada y diagramación:

Alejandra Ulloa / Prometeo Editores

D.R. © 2025 Universidad de Guadalajara

D.R. © 2025 Edición. Guadalajara, Jalisco, México.

ISBN: 978-607-69257-6-8

Número de ejemplares: 100 ejemplares

Primera edición, febrero 2026

Prometeo Editores S.A. de C.V.

C. Libertad 1457 Col. Americana

C.P. 44160 Guadalajara, Jalisco, México

Tels.: 3826 2726, 3826 2782

Fase de revisión editorial doble ciego
con el apoyo del Instituto del Medio
Ambiente y Comunidades Humanas
(CUCBA, U de G)

Todos los derechos reservados. A parte de los usos legales relacionados con la investigación, el estudio privado, la crítica o la reseña, esta publicación no puede ser reproducida ni en su totalidad o parcialidad, en español o cualquier otro idioma, ni registrada en, transmitida por, un sistema de recuperación de información, en ninguna forma ni por ningún medio, sea mecánico fotoquímico, electrónico, magnético, electroóptico, por fotocopia, o cualquier otro, inventado o por inventar, sin permiso expreso, precio y por escrito del autor.

Impreso y hecho en México / *Printed and made in Mexico.*

DR Universidad de Guadalajara

Prólogo

Está de más especificar que el cambio climático es uno de los retos más importantes que tenemos en este momento, incluso en la coyuntura mundial actual. Este libro recaba información sobre cambio climático y la vulnerabilidad que tenemos las personas que habitamos el territorio administrativo denominado como Área Metropolitana de Guadalajara. Éste libro conforma una serie de documentos publicados por Valentina Davydova, quien se ha dedicado a estudiar, educar, discutir y difundir la ciencia climática en México y en Jalisco, uno de los estados con mayores vulnerabilidades en el país.

Valentina Davydova, no solo ha generado a lo largo de su carrera profesional información precisa para la toma de decisiones, sino que también se ha dedicado a formar a las juventudes desde la academia, de manera crítica y consciente, destacando la generación y difusión de información académica local que no se gesta por parte del gobierno u otro organismo.

Contar con ésta información resulta de utilidad, primero para comprender la dimensión del problema que enfrentamos desde nuestra ciudad, y después brinda esperanza para buscar alternativas al desarrollo que nos permitan, por un lado recuperar la estabilidad planetaria y por el otro, el bienestar de las personas y los ecosistemas en los que habitamos.

El libro que leerás, está dividido en cuatro secciones:

- En la primera, Valentina presenta información actualizada, básica y clara, sobre el cambio climático y sus implicaciones a nivel nacional y local, que nos permitirá establecer un mismo punto de partida en temas de conceptos y conocimientos.
- La segunda sección nos introduce específicamente en la ciencia del clima en el área metropolitana de Guadalajara, como lo he mencionado anteriormente, ésta información es muy valiosa, dado que son pocos los documentos que presentan información específica en niveles locales o regionales.
- En la tercera, la autora ha decidido enfocarse en el efecto de las islas de calor de la capital del estado de Jalisco, la zona urbana conformada por 724

km² de superficie que, alberga a 5,268,642 de personas, el otro 88% de la superficie es integrada por zonas rurales y áreas naturales protegidas según información del IMEPLAN¹.

- En la cuarta sección, se puntualiza sobre la vulnerabilidad de las personas ante las enfermedades transmitidas por el vector “*Aedes Aegypti*” conocido como el mosquito del dengue. Jalisco ha sido de los estados que ha presentado mayores casos y mortalidad por este insecto. A pesar de las acciones gubernamentales al respecto, estas no han sido suficientes, según datos del MIDE², respecto al número de casos de dengue notificados en el Sistema Único de Información para la Vigilancia Epidemiológica, sólo dos años reportan casi el 50% de las personas: 2024 ha sido el año con mayores casos reportados 20,907 (31% del total de casos contabilizados desde 2006) y el 2019 con 11,787 (18% del total de casos), lo que ha puesto en la mira que efectos de los cambios en los patrones del clima y los hábitos de sus habitantes, alteran significativamente la salud pública en Guadalajara.

Valentina Davydova, es Ingeniera en Meteorología, Ciencias Atmosféricas y Meteorología por parte de la Universidad de Hidrometeorología en Leningrado, en la entonces Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas. También cuenta con una maestría en Matemáticas Aplicadas cursada en la Universidad de Guadalajara, donde tiene más de 36 años siendo investigadora y profesora en climatología y cambio climático. Finalmente tiene un Doctorado en Ciencias, Física Atmosférica de la Universidad Nacional Autónoma de México.

En 2009 fue la primera vez que leí información generada por la gerencia nacional del Servicio Meteorológico Nacional, del cual Valentina estuvo a cargo durante 8 años, desde mi colaboración con el Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo y los Consejos Consultivos para el Desarrollo Sustentable, se trataba de recomendaciones sobre la agenda azul rumbo a la 16va Conferencia de las Partes (COP16), donde México fue sede.

1 Fuente: Instituto de Planeación y Gestión del Desarrollo del Área Metropolitana de Guadalajara (IMEPLAN). 2021. Reporte Metropolitano Zods 11: Movilidad Sostenible Área Metropolitana de Guadalajara. Disponible en: <https://urbanpolicyplatform.org/wp-content/uploads/2023/07/VMR-Mobility-Guadalajara.pdf>

2 Fuente: Monitoreo de Indicadores del Desarrollo de Jalisco (MIDE), 2025. Indicador: Casos de Dengue. Gobierno del Estado de Jalisco, México. Disponible en: <https://mide.jalisco.gob.mx/mide/panelCiudadano/detalleIndicador/772>

Tuve el gusto de conocer personalmente a Valentina Davydova en 2017, cuando estuve a cargo de la Dirección de Gestión Transversal ante el Cambio Climático en Jalisco, compartimos un panel, ella desde la academia, yo desde el gobierno, dándome cuenta de que estaba junto a una de las mujeres científicas jaliscienses más relevantes en temas de meteorología y cambio climático de Jalisco y que, además admiro.

Espero que disfrutes la lectura de este libro y que sirva para accionar ante el cambio climático de manera justa ante otros mundos que son posibles.

Arturo Javier Palero Castro

Contenido

I. Antecedentes y bases científicas de la ciencia del cambio climático	9
I.1. Introducción	9
I.2. El sistema climático: estructura, procesos y retroalimentaciones	10
I.3. Forzamientos climáticos: naturaleza y magnitud	12
I.4. Evidencia observacional: estado del sistema climático	13
<i>I.4.1 Temperatura</i>	13
<i>I.4.2 Océanos</i>	14
<i>I.4.3 Criosfera</i>	15
<i>I.4.4 Nivel del mar</i>	15
<i>I.4.5 Eventos extremos</i>	15
I.5. Las proyecciones del cambio climático en México	17
I.6. Implicaciones científicas para la Zona Conurbada de Guadalajara	19
I.7. Conclusiones	20
 II. Diagnóstico climatológico de la zona conurbada de Guadalajara	 21
II.1. La Zona Conurbada de Guadalajara: Territorio, población y dinámica urbana	21
II.2. Clima actual de la Zona Metropolitana de Guadalajara	27
<i>II.2.1. Tipos climáticos</i>	27
<i>II.2.2. Análisis de temperatura</i>	29
<i>II.2.3. Análisis de precipitación</i>	34
<i>II.2.4 Discusión</i>	37
<i>II.2.5 Conclusiones</i>	39

III. Expansión de la isla de calor urbana en Guadalajara: implicaciones medioambientales y para la salud	41
III.1. Introducción	41
III.2. Resultados y su discusión	43
III.3. Islas de calor, bioconfort y salud pública	48
III.4. Conclusiones	59
IV. Vulnerabilidad de la población ante la infestación generalizada del <i>Aedes aegypti</i> en Guadalajara y Zapopan: Implicaciones para las estrategias de prevención del dengue	63
IV.1. Fenología del vector del dengue	65
IV.1.1 <i>Huevo</i>	65
IV.1.2 <i>Larva</i>	65
IV.1.3 <i>Pupa</i>	66
IV.1.4. <i>Adulto.</i>	67
IV.2. Serotipos del virus del dengue	68
IV.2.1. <i>Serotipos circulantes en México</i>	69
IV.2. Metodología y datos	72
IV.3. Resultados y su discusión	74
IV.4. Conclusiones	77
Bibliografía	79



I. Antecedentes y bases científicas de la ciencia del cambio climático

I.1. Introducción

El cambio climático causado por el ser humano es un fenómeno mundial que se distingue por cambios continuos en el sistema climático de nuestro planeta, los cuales son provocados directa o indirectamente por las acciones humanas que alteran la composición química de la atmósfera (UNESCO, 2024).

La evidencia observacional reunida desde la segunda mitad del siglo XX, organizada por entidades internacionales como el Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC), la Organización Meteorológica Mundial (WMO) y varias agencias de la ONU, indica que el sistema climático está experimentando un calentamiento rápido y sin precedente en al menos los últimos 2,000 años.

En este capítulo se examinan los principios científicos detrás del cambio climático, incluyendo la dinámica del sistema climático, los factores de forzamiento tanto naturales como causados por el ser humano, la evidencia de cambios observados a nivel global y regional, los progresos en la ciencia de atribución, así como la utilización de escenarios climáticos CMIP6/SSP (Government of Canada, 2023; SIEMENS, 2024) para evaluar el impacto y la vulnerabilidad.

I.2. El sistema climático: estructura, procesos y retroalimentaciones

El sistema climático comprende cinco subsistemas acoplados: atmósfera, hidrosfera, criosfera, litosfera y biosfera (Fig. 1). En donde (Hartmann, 2016):

- **Atmósfera:** La atmósfera es la capa de gases que rodea la Tierra, o cualquier otro cuerpo celeste, y es sostenida por la fuerza gravitatoria. Esta capa es crucial para la existencia de vida, puesto que ofrece oxígeno, ayuda a mantener la temperatura, actúa como escudo contra la radiación solar y desintegra los meteoritos. Se compone de una combinación de gases, incluyendo nitrógeno, oxígeno, argón y vapor de agua, además de contener partículas en suspensión. La atmósfera constituye el componente más dinámico del sistema climático. Su composición química, dominada por nitrógeno, oxígeno y trazas de gases de efecto invernadero (GEI), regula el intercambio energético. Cambios en la concentración de GEI alteran directamente el balance radiativo.
- **Hidrosfera:** La hidrosfera es la capa discontinua de la superficie de la Tierra que se compone del conjunto de todas las partes líquidas del planeta. Incluye toda el agua que existe en la Tierra en sus tres estados físicos: líquido, sólido y gaseoso. Los océanos almacenan más del 90% del exceso de calor inducido por el forzamiento antropogénico. Este proceso conduce a mayor estratificación, acidificación y desoxigenación, con consecuencias sistémicas para el clima y la biodiversidad marina.
- **Criosfera:** La criosfera representa la sección helada del planeta, abarcando glaciares, capas de hielo, nieve, permafrost (suelo que permanece congelado), hielo marino, y el hielo presente en ríos y lagos. Su importancia radica en su capacidad para influir en el clima mediante la reflexión de la luz solar y el almacenamiento de agua dulce. Sin embargo, esta parte del planeta es extremadamente vulnerable al cambio climático, lo cual se evidencia a través de transformaciones significativas en el paisaje, además de tener repercusiones sobre los ecosistemas mundiales. Su rápida pérdida reduce el albedo planetario y contribuye al aumento del nivel del mar.

- **Litosfera:** La litosfera constituye la capa externa rígida y sólida de nuestro planeta, abarcando tanto la corteza terrestre como la porción superior del manto. Esta capa está dividida en enormes secciones conocidas como placas tectónicas, las cuales son responsables de diversos fenómenos geológicos, como sismos y erupciones volcánicas, al desplazarse sobre la astenosfera, que es la capa más blanda situada justo debajo.
- **Biosfera:** La biosfera es la capa de la Tierra en la que la vida se origina y prospera, extendiéndose desde las profundidades de los océanos hasta varios kilómetros en la atmósfera. Esta incluye todos los organismos vivos, como plantas, animales y microorganismos, así como el entorno físico compuesto por agua, aire y suelo con el que interactúan. Es el “ecosistema global” de nuestro planeta. La biosfera participa en los ciclos de carbono y agua. La degradación de ecosistemas reduce su capacidad de secuestro y amplifica el cambio climático.

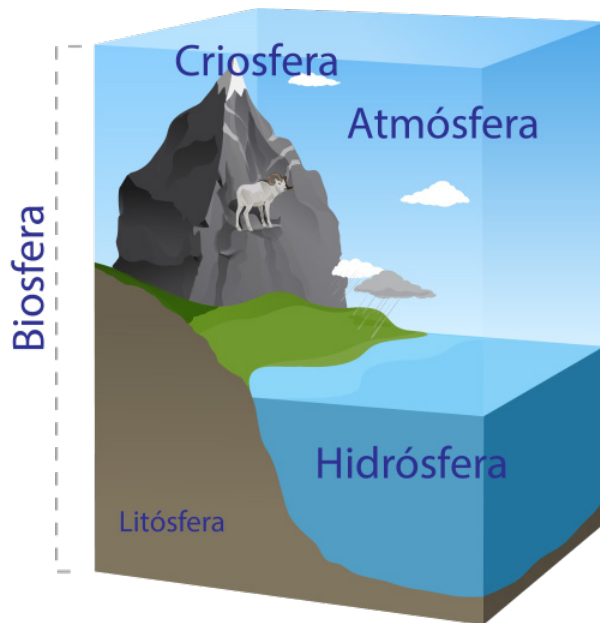


Fig. 1. Sistema climático terrestre. Fuente: (Lira, 2018)

La evolución del clima se define por el equilibrio del balance radiativo del planeta, los intercambios de energía entre la superficie terrestre, los océanos y la atmósfera, los ciclos biogeoquímicos, así como las retroalimentaciones climáticas tales como el hielo-albedo, el vapor de agua, las nubes y la relación entre el carbono y la temperatura. Según el sexto informe (AR6) del IPCC WGI (2021), la mayor incertidumbre reside en el papel que desempeñan las nubes y los aerosoles en el balance radiativo, aunque la dirección del cambio global está claramente establecida: un calentamiento sostenido y acelerado.

1.3. Forzamientos climáticos: naturaleza y magnitud

Los elementos naturales que afectan el clima incluyen variaciones en la radiación solar, erupciones volcánicas de gran magnitud, y cambios internos en el sistema océano-atmósfera como El Niño y la Oscilación del Sur (ENOS), la Oscilación Decadal del Pacífico (ODP), y la Oscilación del Atlántico Norte (OAN) (Pavia, Graef, & Reyes, 2006; Sánchez-Santillán, Signoret-Poillon, & Garduño-López, 2006; Peralta, 2009; Méndez G., Ramírez L., Cornejo O., Zárate., & Cavazos P., 2010; L'Heureux, 2014; Dutton, 2021). Sin embargo, su impacto no es suficiente para explicar el calentamiento global observado desde 1950. Estos elementos contribuyen a la variabilidad climática normal, aunque de vez en cuando pueden provocar eventos extremos tales como sequías, nevadas, olas de frío o de calor, lluvias y granizadas que impactan notablemente en el desarrollo de actividades socioeconómicas nacionales en las regiones afectadas.

Los principales responsables del forzamiento antropogénico son:

1. CO₂ generado por la quema de combustibles fósiles y la deforestación
2. CH₄ proveniente de la agricultura, la ganadería y las fugas de gas
3. N₂O resultante de la fertilización agrícola y las industrias
4. Aerosoles de origen humano (que provocan un efecto de enfriamiento parcial)
5. Expansión urbana con un albedo bajo, es decir, una baja capacidad para reflejar la radiación solar.

Según los informes del Grupo de Trabajo 1 del IPCC, el forzamiento radiativo neto antropogénico alcanzó los $+2.72 \text{ W/m}^2$ en el año 2019. Esto significa que este grupo de expertos en física atmosférica concluye con muy alta certeza que la actividad humana es la principal causa del calentamiento actual (WGI-IPCC, 2021).

I.4. Evidencia observacional: estado del sistema climático

I.4.1 Temperatura

La temperatura global superficial aumentó $1.09 \text{ }^{\circ}\text{C}$ entre 1850 y 2020. Los últimos ocho años han sido los más cálidos desde que existen registros instrumentales (Fig. 2).

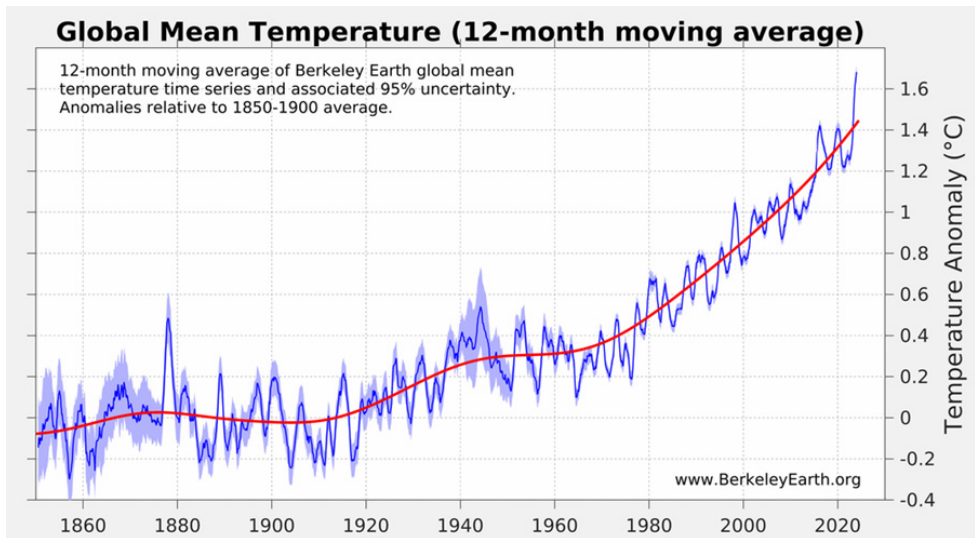


Fig. 2. Anomalía de la temperatura promedio anual global: 1850-2020. Fuente: <http://www.tiempo.com/ram/la-tierra-experimento-periodos-de-temperatura-mas-pronunciados.html>

La Figura 3 ilustra la variación temporal de la temperatura media anual que se ha registrado en la Ciudad de México durante el mismo período. Es crucial

notar que su aumento es cuatro veces superior al de la anomalía global anual, lo cual se debe a la combinación del crecimiento urbano, conocido como el efecto de isla de calor, y el cambio climático que exagera dicho fenómeno.

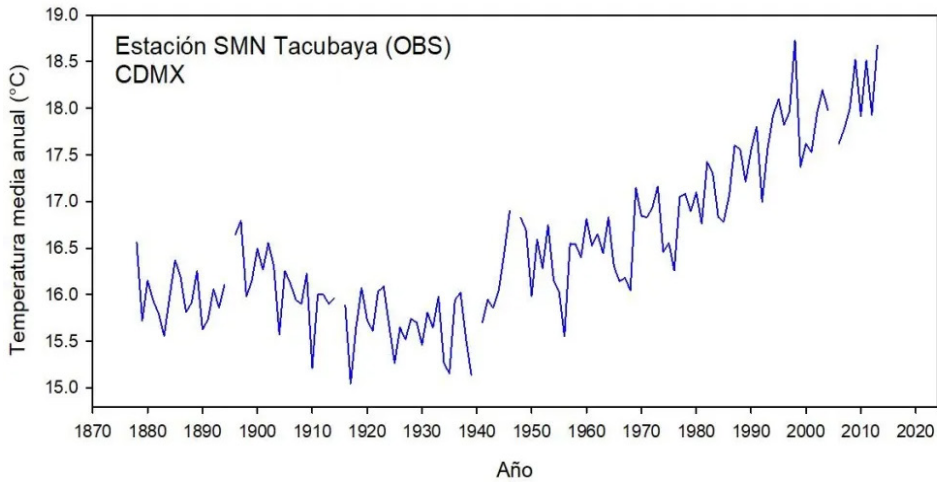


Fig. 3. Registro de temperaturas de la Ciudad de México desde 1876 a 2020.

Fuente: (Martínez-Abarca, 2020)

1.4.2 Océanos

El contenido de calor oceánico alcanza valores récord. Sin duda, el pH de los océanos ha bajado alrededor de 0.1 unidades desde la época preindustrial, lo que equivale a un incremento del 30% en la acidez, y hay una evidente tendencia hacia la desoxigenación. Estos cambios, principalmente impulsados por el incremento del dióxido de carbono (CO_2) en la atmósfera como resultado de las actividades humanas, traen serias repercusiones para la vida marina y los ecosistemas (Berge, Daugbjerg, Andersen, & Hansen, 2010; Rojas-Higuera & Pabón-Cañedo, 2015; Canadell, y otros, 2021).

1.4.3 Criosfera

Enorme pérdida de glaciares, reducción del hielo del Ártico, deshielo en Groenlandia y la Antártida Occidental. El permafrost funciona como un enorme depósito de carbono, albergando cerca del doble de carbono que se encuentra en la atmósfera actual. Cuando se derrite, los microorganismos descomponen la materia orgánica que ha estado atrapada durante milenios, liberando grandes cantidades de dióxido de carbono y metano. Este metano es un gas de efecto invernadero significativamente más poderoso que el CO₂, lo que exacerba el calentamiento global aún más, generando un ciclo de retroalimentación (Delgado, Medina, & Herrera, 2025).

1.4.4 Nivel del mar

Según el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC), se está observando un incremento acelerado en el nivel medio global del mar. El Sexto Informe de Evaluación del IPCC (IPCC, 2023) detalla lo siguiente:

- Entre 1901 y 1971, el nivel del mar se elevó a una tasa promedio de 1,3 mm por año.
- Desde 2006 hasta 2018, esta tasa se incrementó a 3,7 mm por año (con el periodo más cercano al mencionado 2006-2020 indicado en las fuentes).

Estos datos muestran de manera clara una aceleración en el aumento del nivel del mar, principalmente debido a la expansión térmica del agua y el deshielo de glaciares y capas de hielo, ambos factores están vinculados al calentamiento global provocado por la actividad humana.

1.4.5 Eventos extremos

Entre los eventos extremos estén ampliamente documentados incrementos significativos en:

1. Olas de calor: Una ola de calor se define como un intervalo prolongado, generalmente de tres días o más, donde las temperaturas alcanzan niveles excepcionalmente elevados. Este fenómeno suele ir acompañado de alta humedad, superando los valores climáticos normales para una región determinada y representando una amenaza tanto para la

salud pública como para la infraestructura local. La causa principal es la presencia persistente de masas de aire extremadamente cálido, y su intensidad y frecuencia pueden aumentar debido al cambio climático, afectando especialmente a personas mayores, niños y aquellos con problemas de salud (López García, 2018; Davydova Belitskaya, Sánchez Torres, Orozco Medina, Figueroa Montaña, & García Velasco, 2019; Chan & Davydova Belitskaya, 2020; Garibay-Chávez & Curiel-Ballesteros, 2021).

2. Precipitación extrema: La precipitación extrema ocurre cuando un área experimenta significativamente más lluvia o nieve de lo acostumbrado en un breve lapso, superando los niveles típicos para ese lugar y temporada. Esto puede provocar inundaciones, deslizamientos de tierra y daños. Se evalúa por la intensidad, como más de 60 mm por hora, o por el número de días con acumulaciones sustanciales. Un ejemplo de esto sería un huracán con lluvias intensas o una tormenta de nieve que inmoviliza una ciudad (Sánchez González, 2011; Castillo Rodríguez, 2017; Herrera, Magaña, & Morett, 2018; Alexander, Calice, Scheufele, & Brossard, 2023; Zhang, y otros, 2024)
3. Sequías agrícolas e hidrológicas: Las sequías hidrológicas y agrícolas representan diferentes formas de escasez de agua. La sequía hidrológica se caracteriza por una carencia prolongada de agua en los ríos, embalses y acuíferos, lo cual repercute en el suministro general de agua. Por otro lado, la sequía agrícola se refiere a la insuficiencia de humedad en el suelo necesaria para los cultivos, lo que influye directamente en la producción de alimentos y forraje. Aunque ambas son provocadas por la sequía meteorológica, es decir, la escasez de lluvias, se manifiestan de maneras distintas: la sequía hidrológica tiende a ser más gradual y prolongada, mientras que la agrícola tiene un impacto más inmediato en la agricultura, afectando el desarrollo de las plantas y la producción de alimentos (Velasco, Ochoa, & Gutierrez, 2005; Wang, Mohamad Hejazi, Cai, & Valocchi, 2011; Ortega Gaucin, De la Cruz Bartolón, & Castellano Bahena, 2018; Bocco, Orozco Ramírez, Alvarez Larrain, Solís, & Dobler Morales, 2021; Ortega-Marín & González-Rosa, 2024)

4. Incendios forestales: Un incendio forestal es un fuego que se desata sin control, consumiendo vegetación como árboles, pastos y matorrales en áreas rurales. En México, cerca del 95% de estos incendios son causados por actividades humanas, tales como quemas agrícolas, fogatas que no se apagan correctamente y la presencia de vidrios. Además, el cambio climático agrava la situación, provocando un grave impacto en los ecosistemas y generando problemas de salud (Abatzoglou, Williams, & Barbero, 2019; Abram, y otros, 2021). Recientemente, se han registrado ejemplos de estos incendios en el Estado de México, específicamente en Naucalpan y Valle de Bravo, así como en Jalisco, Veracruz y Nuevo León.
5. Ciclones tropicales intensos: Un ciclón tropical intenso es un sistema de tormentas giratorias que se desarrollan sobre aguas cálidas. Cuando los vientos superan los 119 km/h, se clasifica como huracán y se evalúa según la escala Saffir-Simpson en Categorías 3, 4, y 5. Este tipo de ciclón genera vientos destructivos, lluvias torrenciales e inundaciones (Redacción National Geographic, 2023). En México, ejemplos notables incluyen a Gilberto en 1988, Wilma en 2005, Dean en 2007, Patricia en 2015 y Otis en 2023, los cuales causaron gran devastación en la península de Yucatán, el Caribe y las costas del Pacífico (Davydova Belitskaya, 2024)

I.5. Las proyecciones del cambio climático en México

América Latina es considerada un hotspot de riesgo climático. En México destacan (IPCC, 2023):

- Incremento de 1.4 °C desde 1960
- Más días y noches cálidas en grandes ciudades como Guadalajara
- Cambios en la estacionalidad y distribución de la precipitación
- Aumento de sequías hidrológicas
- Vulnerabilidad del sistema Lerma–Chapala–Santiago

La atribución utiliza modelos, análisis estadísticos y simulaciones contra fac-

tuales para identificar la influencia humana en tendencias y eventos extremos. Se emplean modelos CMIP6 (CCACC-UNAM, 2025; Salinas Prieto, Maya Magaña, Hernández Martínez, & Montero Martínez, 2020; Ruiz-García, y otros, 2022), técnicas bayesianas y comparaciones entre mundos “con” y “sin” forzamiento humano (WCRP, 2022).

Aquí, los modelos CMIP6 (Coupled Model Intercomparison Project Phase 6) representan la sexta generación de modelos climáticos globales estandarizados, que son el resultado de un proyecto internacional que agrupa simulaciones de más de 50 centros de modelización. Este esfuerzo busca mejorar la comprensión del sistema terrestre y anticipar el futuro cambio climático, proporcionando una base para los informes del IPCC. Comparados con CMIP5, estos modelos ofrecen avances significativos al incorporar nuevas físicas y escenarios (SSPs), permitiendo proyecciones más detalladas de variables como temperatura, precipitación y vientos hasta el año 2100, además de incluir datos históricos desde 1950 (FIC, 2021; Government of Canada, 2023).

El cambio climático causado por el ser humano incrementa la probabilidad de que ocurran eventos extremos entre 5 y 100 veces, variando según la región y el tipo de evento en cuestión. Según los escenarios y proyecciones climáticas desarrollados bajo el marco de CMIP6-SSP, que representan los Escenarios Socioeconómicos Compartidos (SSP), se simulan diferentes trayectorias de desarrollo global y, como resultado, diversas concentraciones de gases de efecto invernadero. Esto permite visualizar cuatro posibles horizontes de respuesta climática basados en modelos físicos e hipótesis socioeconómicas en los cuales (IPCC, 2023):

- SSP1–2.6: bajas emisiones, mitigación fuerte
- SSP2–4.5: estabilización intermedia
- SSP3–7.0: regionalización, poca cooperación
- SSP5–8.5: muy altas emisiones

Las proyecciones modeladas para México hacia 2100 muestran las siguientes tendencias en la temperatura (CCACC-UNAM, 2025):

- 1.4–1.8 °C (SSP1–2.6)
- 2.1–3.0 °C (SSP2–4.5)
- 3.8–4.8 °C (SSP5–8.5)

I.6. Implicaciones científicas para la Zona Conurbada de Guadalajara

La Zona Conurbada de Guadalajara (ZCG), integrada por municipios con alto dinamismo urbano, económico y demográfico, se enfrenta a un conjunto creciente de desafíos ambientales y climáticos derivados de la expansión urbana acelerada, la degradación de ecosistemas y la intensificación de fenómenos hidroclicmáticos. Estos procesos han modificado de manera significativa los patrones de temperatura, precipitación, calidad del aire y disponibilidad hídrica, afectando directamente la salud pública, la infraestructura y la resiliencia territorial.

En las últimas décadas, múltiples estudios científicos han documentado tendencias claras en el incremento de las temperaturas máximas, la mayor frecuencia de olas de calor, la alteración de los ciclos de lluvia, el aumento de inundaciones y episodios de mala calidad del aire, especialmente por ozono y partículas PM2.5. Estos cambios no solo representan señales del cambio climático regional, sino también del impacto sinérgico entre urbanización intensiva y variabilidad climática.

Por ello, analizar las **implicaciones científicas** para la ZCG resulta fundamental para guiar decisiones de política pública, orientar la planificación urbana, fortalecer la salud ambiental y diseñar estrategias de adaptación basadas en evidencia.

El análisis global y regional indica:

- Mayor frecuencia e intensidad de olas de calor urbanas, es decir la mayor frecuencia e intensidad de olas de calor urbanas significa que las ciudades experimentan períodos más largos y calurosos de temperaturas elevadas, agravados por el efecto Isla de Calor Urbana (ICU), donde edificios y asfalto atrapan el calor, y la causa principal es el cambio climático, resultando en más golpes de calor, estrés en infraestructuras y mayor consumo energético en las urbes.
- Mayor estrés hídrico y presión sobre el Lago de Chapala
- Incremento de lluvias intensas de corta duración
- Aumento de inundaciones urbanas
- Ampliación de la isla de calor urbana
- Riesgos diferenciales según desigualdad socio espacial

I.7. Conclusiones

El cambio climático es un fenómeno evidente y mayormente causado por el ser humano, resultado del aumento continuo de gases de efecto invernadero generados por actividades como la combustión de combustibles fósiles, las modificaciones en el uso del suelo y los procesos industriales. Estas transformaciones han alterado significativamente todos los componentes del sistema climático, incluyendo la temperatura promedio, los patrones de precipitación, la frecuencia e intensidad de eventos extremos, así como los ciclos hidrológicos y biogeoquímicos.

En México, estos cambios ya son evidentes en el incremento de olas de calor, sequías más prolongadas, lluvias intensas y eventos hidrometeorológicos extremos, con consecuencias directas para la salud, la seguridad del agua, la producción agrícola y la infraestructura urbana.

En este contexto, la Zona Conurbada de Guadalajara enfrenta una creciente vulnerabilidad climática, resultado de la interacción entre la presión demográfica, el crecimiento urbano no planificado, la degradación ambiental y la exposición a riesgos climáticos. Esta situación hace necesario desarrollar diagnósticos científicos precisos, integrales y adaptados a diferentes territorios, así como construir escenarios prospectivos sólidos que permitan respaldar estrategias de adaptación y mitigación basadas en evidencia para fortalecer la resiliencia urbana y regional.



II. Diagnóstico climatológico de la zona conurbada de Guadalajara

II.1. La Zona Conurbada de Guadalajara: Territorio, población y dinámica urbana

La zona urbana de Guadalajara, está ubicada en la región centro de Jalisco, México (Fig. 4), se distingue por una interacción compleja de factores climáticos influenciados por su topografía y su cercanía al océano Pacífico. El clima de la ciudad se destaca por sus variaciones estacionales, con periodos de lluvia y sequía claramente marcados que impactan tanto en el ecosistema local como en la infraestructura urbana.

El desarrollo urbano de la Zona Metropolitana de Guadalajara (ZMG) avanza de manera veloz, desorganizada y sin regulación, caracterizándose por un crecimiento hacia las áreas periféricas, especialmente en Tlajomulco y El Salto. Al mismo tiempo, hay un aumento en la densidad poblacional con construcciones verticales tanto en zonas centrales como suburbanas. Este fenómeno enfrenta grandes desafíos de sostenibilidad, como la pérdida de áreas verdes, la formación de islas de calor, y complicaciones en movilidad y servicios como el agua, derivadas de un crecimiento acelerado y desigual. La economía, que se ve impulsada por la industria manufacturera y la tecnología, atrae a nuevos residentes y fortalece la metrópoli, pero también provoca segregación socioeconómica y una mayor demanda de infraestructura. Entre las características principales del crecimiento se debe resaltar:

Expansión Extendida: La ciudad se está extendiendo más allá de sus fronteras tradicionales, con áreas como Tlajomulco y El Salto experimentando un rápido crecimiento, transformando lo que antes eran regiones rurales.

Desarrollo Vertical: Desde la década de 2000, ha habido un aumento significativo en la construcción de edificios altos, lo que ha incrementado la densidad poblacional en zonas que antes eran principalmente horizontales, presentando desafíos en términos de convivencia y provisión de servicios.

Segregación Socioeconómica: La creación de desarrollos cerrados y centros comerciales ha promovido estilos de vida diferenciados, ahora más comunes, y ha acentuado la división entre distintos estratos socioeconómicos.

Reducción de Vegetación: La urbanización está dando lugar a la formación de islas de calor urbanas y disminuyendo las áreas verdes, lo que impacta negativamente en el medio ambiente.

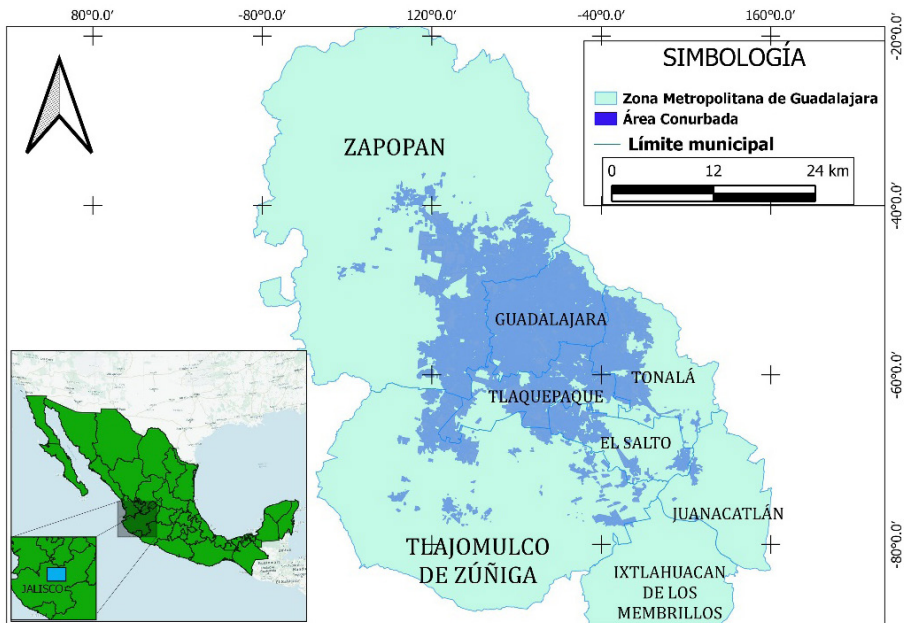


Fig. 4. Localización de la zona conurbada de Guadalajara, Jalisco, México.

Fuente: Elaboración propia.

La transformación del uso del suelo en la Zona Metropolitana de Guadalajara (ZMG) se caracteriza por una expansión urbana caótica que disminuye los espacios verdes y agrícolas, provocando una pérdida de biodiversidad y un

incremento en los problemas ambientales como la contaminación. A pesar de esto, se han desarrollado planes recientes, como el Plan de Arbolado Urbano 2025, que buscan reforestar y establecer corredores verdes (Fig. 5). Además, se intenta fomentar la verticalización y los usos mixtos para optimizar el uso del suelo. Sin embargo, la consulta y regulación sigue siendo un proceso complicado que exige actualizar los planes parciales, de acuerdo con el Código Urbano de Jalisco, el Instituto de Información Estadística y Geográfica de Jalisco (IIEG), la Universidad Politécnica de Cataluña (UPC), el Gobierno de Guadalajara y Esfera Pública.

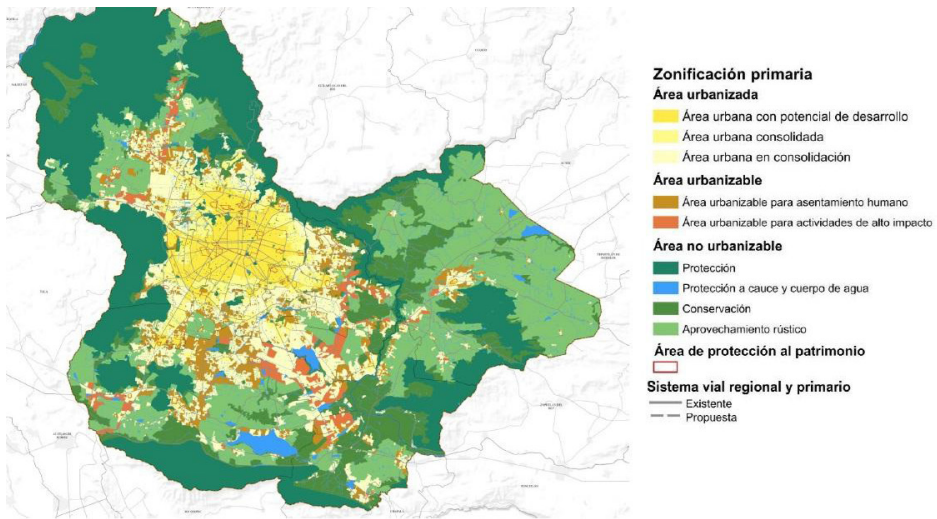


Fig. 5. Uso del suelo en la zona conurbada de Guadalajara, Jalisco, México.

Fuente: (IMEPLAN, 2024).

No obstante, desde el inicio del siglo XXI, el crecimiento poblacional en la zona conurbada de Guadalajara se ha desacelerado, manteniéndose estable en aproximadamente un 60% de la población total de Jalisco en las dos últimas décadas (Fig. 6 y Tabla 1.).

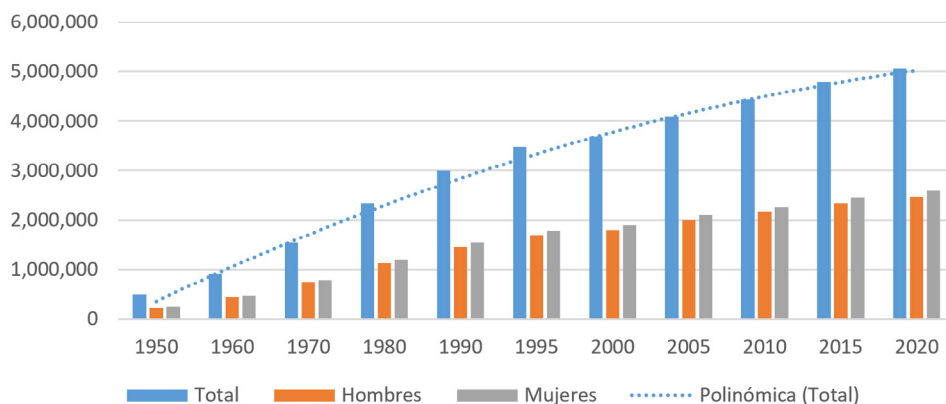


Fig. 6. Crecimiento de la población en el área conurbada de Guadalajara de acuerdo a las estadísticas de INEGI 1950-2020. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 1. Crecimiento poblacional en el estado de Jalisco y su área metropolitana 1950-2020.

POBLACIÓN	1950	1960	1970	1980	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020
Total Jalisco	1746777	2443261	3296586	4371998	5302689	5991176	6322002	6752113	7350682	7844830	8363277
Total ZMG	490129	915193	1544137	2335690	3003868	3482417	3699136	4095853	4434878	4796603	5066976
ZMG (%)	28%	37%	47%	53%	57%	58%	59%	61%	60%	61%	61%

Fuente: Elaboración propia de acuerdo a las estadísticas de INEGI.

Para detener o reconducir la verticalización excesiva de la Zona Conurbada de Guadalajara (ZCG) —especialmente en un contexto de desaceleración del crecimiento poblacional— es fundamental pasar de una lógica meramente inmobiliaria a una planificación urbana integral, climáticamente informada y socialmente justa.

A continuación, se proponen recomendaciones clave, articuladas desde la gobernanza urbana, la regulación territorial y la sostenibilidad:

1. Ajustar la normativa urbana a la dinámica demográfica actual: Es necesario revisar los planes parciales de desarrollo urbano para que las densidades permitidas se alineen con las tendencias reales de crecimiento poblacional en lugar de basarse en proyecciones infladas. Se deben establecer límites precisos de altura y coeficientes de ocupación del suelo (COS y CUS) diferenciados según la zona, teniendo en cuenta la capacidad de servicios, la movilidad y la disponibilidad de agua. Además, es importante introducir cláusulas para revisar periódicamente (cada 5 años) las densidades y alturas máximas, basándose en evidencias demográficas y climáticas.
2. Priorizar la densificación equilibrada sobre la construcción extrema en altura: Es fundamental fomentar modelos de densificación media y compacta (3–6 niveles) para optimizar el uso del suelo sin causar una sobrecarga urbana. Se debe promover la creación de tipologías habitacionales mixtas y flexibles, adecuadas para hogares pequeños y una población envejecida, reduciendo la presión por construir torres de gran altura. Es crucial evitar la concentración de edificios altos en áreas con infraestructura hídrica y de drenaje insuficiente o que son altamente vulnerables a inundaciones y estrés térmico.
3. Integrar criterios de capacidad ecológica y resiliencia climática: Cualquier proyecto vertical debe estar condicionado a estudios de capacidad de carga urbana, balance hídrico y evaluación de riesgos climáticos. Es importante incorporar una zonificación climática urbana que limite la altura en áreas afectadas por islas de calor, baja ventilación natural o pérdida de cobertura vegetal. Se debe exigir la inclusión de infraestructura verde obligatoria (techos verdes, captación pluvial, superficies permeables) como un requisito, no solo como un incentivo opcional.
4. Fortalecer la gobernanza y el control del desarrollo inmobiliario: Es esencial reducir la discrecionalidad mediante reglas claras y transparentes para cambios en el uso del suelo y aumentos de densidad. Los incentivos a la verticalización deben limitarse cuando no se pueda verificar un beneficio urbano tangible, como la vivienda asequible, el espacio público o la mitigación climática. Es importante fortalecer la

capacidad técnica de los municipios para evaluar los impactos acumulativos de los proyectos verticales.

5. Proteger el paisaje urbano, el patrimonio y la calidad de vida: Se deben establecer corredores de altura controlada que mantengan el asoleamiento, la ventilación y las vistas urbanas. Es crucial proteger los barrios tradicionales y las zonas consolidadas mediante la creación de zonas de conservación morfológica. La verticalización debe evaluarse no solo por la eficiencia del uso del suelo, sino también por sus efectos en la movilidad, el ruido, el consumo energético y la cohesión social.
6. Descentralizar funciones urbanas y vivienda: Se debe incentivar la redistribución de servicios, empleo y vivienda hacia municipios periféricos bien conectados, para reducir la presión inmobiliaria en áreas centrales. La política de vivienda debe articularse con una estrategia metropolitana, no solo municipal, para evitar la competencia por atraer desarrollos verticales.
7. Incorporar participación social y evaluación ex post: Es fundamental garantizar procesos efectivos de consulta ciudadana en proyectos de gran altura. Además, se deben implementar evaluaciones ex post de desarrollos verticales para medir los impactos reales y ajustar la política urbana en consecuencia.

En resumen, en una ciudad como Guadalajara, donde el aumento de la población ya no es un factor significativo, el desarrollo excesivo en altura no se justifica por la demanda demográfica, sino más bien por las fuerzas del mercado. Por esta razón, las políticas urbanísticas deben enfocarse en regular, equilibrar y redirigir el crecimiento vertical hacia un modelo de ciudad que sea compacta, resistente al clima, inclusiva socialmente y fundamentada en datos científicos, alineándose con los retos del cambio climático y la sostenibilidad urbana.

II.2. Clima actual de la Zona Metropolitana de Guadalajara

Entender la dinámica climática en áreas urbanas es esencial para gestionar de manera efectiva el medio ambiente y formular políticas adecuadas. Esta investigación se centra en analizar el clima de la zona urbana de Guadalajara, México, particularmente en los patrones de precipitación y temperatura durante un periodo extenso. Aunque se han realizado estudios anteriores, todavía existe una falta de comprensión sobre cómo el cambio climático impacta las áreas urbanas, especialmente en regiones en desarrollo. Este estudio busca cerrar esa brecha proporcionando un análisis detallado de la variabilidad climática en el área conurbada de Guadalajara, utilizando una amplia colección de datos históricos.

La metodología incluyó el análisis de datos climáticos proporcionados por la Coordinación General del Servicio Meteorológico Nacional (CGSMN), funcionario de la Comisión Nacional del Agua CONAGUA), Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales SEMARNAT), cubriendo desde 1951 hasta 2020. Se crearon mapas espaciales de temperaturas medias y máximas anuales, así como de precipitaciones para Jalisco y el área metropolitana de Guadalajara, empleando ArcGIS para visualizar las características climáticas y sus variaciones espaciales. Se utilizó la clasificación climática de Köppen para desarrollar mapas de tipos de clima, mientras que las variaciones dentro del año de la temperatura mínima media mensual, la temperatura máxima media mensual y las precipitaciones mensuales se determinaron mediante datos estadísticos del periodo estudiado.

II.2.1. Tipos climáticos

El sistema de clasificación climática de Köppen, que es ampliamente utilizado en climatología, brinda un marco para categorizar los tipos de clima basándose en los patrones de temperatura y precipitación. Este sistema es esencial para entender las características climáticas de regiones como Jalisco, donde se sitúa Guadalajara. El estado de Jalisco presenta una amplia gama de condiciones climáticas, desde zonas costeras húmedas hasta regiones áridas en el interior (Fig. 7).

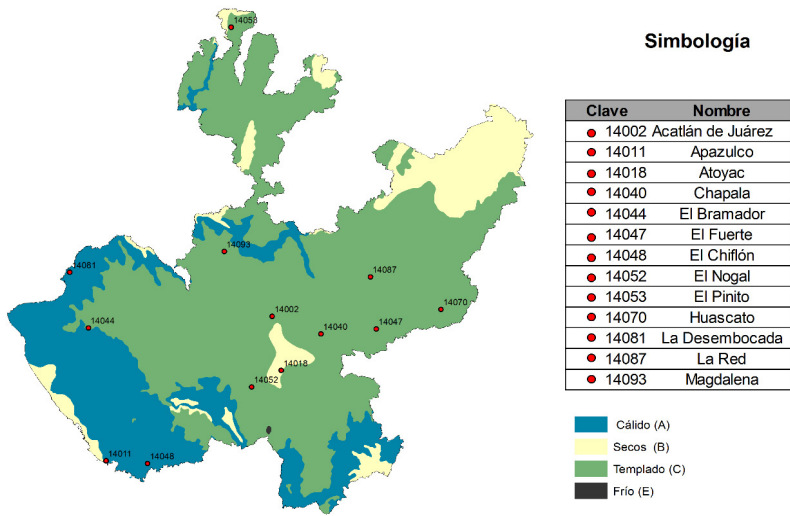


Fig. 7. Clasificación climática del estado de Jalisco basándose en la tipificación de Köppen. Fuente: Navarro Rodríguez, 2015.

De acuerdo a los resultados obtenidos para la zona conurbada de Guadalajara, el clima predominante en el área es templado con lluvias durante en verano y presencia y se caracteriza por tener un verano caluroso, es decir el clima tipo Cwa, según la clasificación climática de Köppen.

Esta diversidad demanda un análisis detallado de los datos climáticos para discernir los impactos específicos del cambio climático en las áreas urbanas. Estudios recientes han resaltado la relevancia del cambio climático en la modificación de los regímenes de lluvia y las temperaturas extremas en diferentes partes del mundo. En México, estos cambios son notablemente acentuados, con un incremento en los fenómenos meteorológicos extremos que afectan tanto a áreas rurales como urbanas.

El efecto de isla de calor urbana, un fenómeno donde las áreas urbanas experimentan temperaturas más altas que las áreas rurales, exagera aún más estos cambios climáticos. Este fenómeno se debe a factores como el aumento de la actividad humana, los cambios en el uso del suelo y la concentración de

edificaciones e infraestructuras que alteran el clima local. A pesar del creciente número de investigaciones sobre la dinámica climática urbana, persisten importantes vacíos en nuestro entendimiento de cómo estos cambios se manifiestan en contextos urbanos específicos como Guadalajara.

Los estudios previos se han enfocado principalmente en análisis regionales más amplios, pasando por alto con frecuencia los impactos localizados dentro de las áreas urbanas. Esta brecha en el conocimiento resalta la necesidad de investigaciones específicas que examinen las condiciones climáticas únicas de las zonas urbanas y sus implicaciones para los sistemas ambientales y socioeconómicos. Abordar esta brecha en la investigación es crucial por varias razones. En primer lugar, las áreas urbanas albergan a una gran parte de la población mundial, haciéndolas un elemento central en los esfuerzos para mitigar los efectos del cambio climático. En segundo lugar, entender las condiciones climáticas específicas de ciudades como Guadalajara puede servir de base para la planificación urbana y la formulación de políticas, asegurando que las estrategias de desarrollo se alineen con los objetivos de sostenibilidad. Finalmente, los diagnósticos climáticos localizados pueden ofrecer información valiosa sobre los patrones generales del cambio climático, contribuyendo a los modelos y predicciones climáticas a nivel global.

II.2.2. Análisis de temperatura

De acuerdo con los relatos de los residentes más antiguos de Guadalajara, esta ciudad era históricamente conocida como “el lugar de la eterna primavera”. No obstante, a consecuencia de su urbanización desordenada y excesiva desde los años 70, perdió su reconocida comodidad y bienestar ambiental. Esta misma situación se registró en los cuatro municipios que conforman su área metropolitana, también en donde se concentra la principal parte de la población de la zona conurbada: Guadalajara, Tlaquepaque, Tonalá y Zapopan.

En el primer estudio enfocado a la dinámica de la isla del calor y evaluación de su intensidad se determinan los principales parámetros climáticos de la zona conurbada de Guadalajara, así como se visualiza su comportamiento espacial y temporal a partir de la información que brindó la Red Automática de Monitoreo Ambiental gestionada por la Comisión Estatal de Ecología actual la Secretaría del Medio Ambiente y desarrollo Sustentable de Jalisco

(Davydova Belitskaya, Skiba, Bulgakov, & Martínez Z., 1999; Davydova Belitskaya & Skiba, 1999).

Los primeros parámetros climáticos de Guadalajara fueron estimados a partir de la serie del Instituto de Astronomía y Meteorología de la Universidad de Guadalajara, el primer observatorio meteorológico del estado de Jalisco fundado por Pbro. Severo Díaz Galindo (Tabla 2). Para evaluar los parámetros de las temperaturas mínima, media y máxima se utilizó la serie del período 1890-1996, mientras para estimar la precipitación la serie registrada fue para el período 1881-1996. La humedad relativa, dirección y velocidad del viento se estimó a partir de la serie del IAM-UDG de 1960-1996.

Tabla 2. Parámetros climatológicos de Guadalajara, Jalisco, México.

PARÁMETRO CLIMATOLÓGICO	PROMEDIO ANUAL	DESVIACIÓN ESTÁNDAR
Temperatura máxima (t_{mx} , °C)	26.5	7.8
Temperatura media (t_{md} , °C)	19.2	5.4
Temperatura mínima (t_{mn} , °C)	11.9	4.3
Humedad relativa (RH, %)	62.4	14.8
Precipitación (R, mm)	892.2	153.5
Presión atmosférica (P, HPa)	845.5	6.7
Dirección del viento (WD, grad)	225	-
Velocidad del viento (WV, m/seg)	3.4	2.1

Fuente: Elaboración propia.

A partir de las series de datos históricos se estimaron los pendientes de la temperatura máxima promedio anual y de la temperatura mínima promedio anual (Fig. 8), en donde la temperatura mínima registra una tendencia a crecer a partir del año 1927 con un gradiente de $0.59^{\circ}\text{C}/10$ años (Davydova Belitskaya & Skiba, 1999). Sin embargo, diversos estudios climatológicos recientes han revelado resultados que muestran una tendencia creciente mayor tanto en la temperatura mínima (0.94°C por cada década) como en la máxima (2.27°

C por cada década) (Davydova y Alamilla, 2019; Curiel, 2018). Es decir, la intensidad creciente de la isla del calor de la zona conurbada de Guadalajara ya es un hecho, igual como su acelerada expansión.

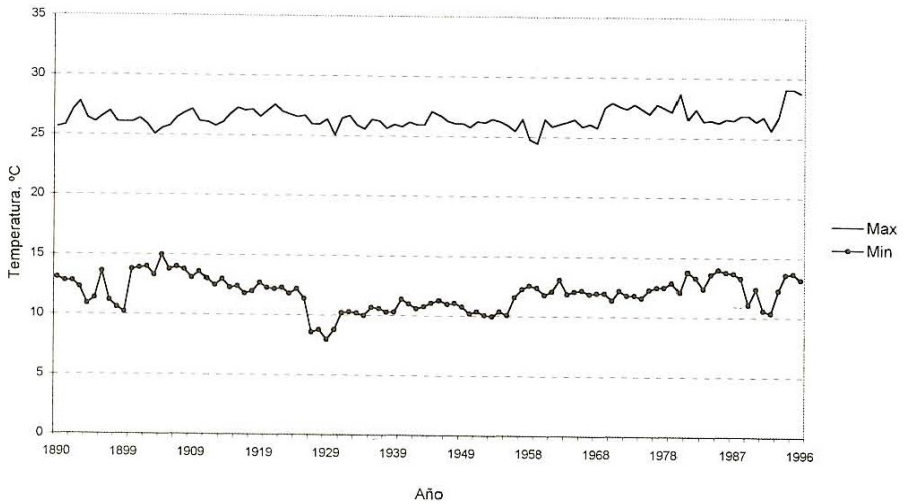


Fig. 8. Oscilación temporal de las temperaturas mínima y máxima promedios anuales 1890-1996. Fuente: (Davydova Belitskaya & Skiba, 1999)

La actualización del estudio de parámetros climáticos de la zona conurbada de Guadalajara (Parada Gallardo, 2012) muestra un acelerado incremento en las temperaturas máxima, medias y mínimas detectando 9 años en donde la temperatura máxima rebasó 32°C (Fig. 9)

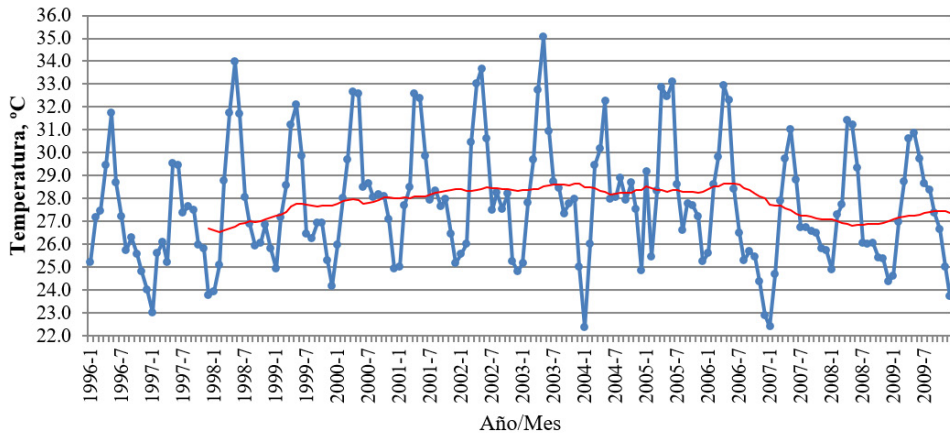


Figura 9. Temperaturas máximas promedio mensuales en la zona conurbada de Guadalajara de 1996-2009. Fuente: Parada Gallardo (2012)

Las temperaturas medias más altas observadas para la ZMG se dan en meses del periodo cálido, particularmente en abril y mayo, que varían de 22.9 a 26.5°C. Respecto a las temperaturas medias más bajas observadas se dan en los meses de invierno diciembre y enero que oscilan entre los 16 a 16.1°C (Fig. 10).

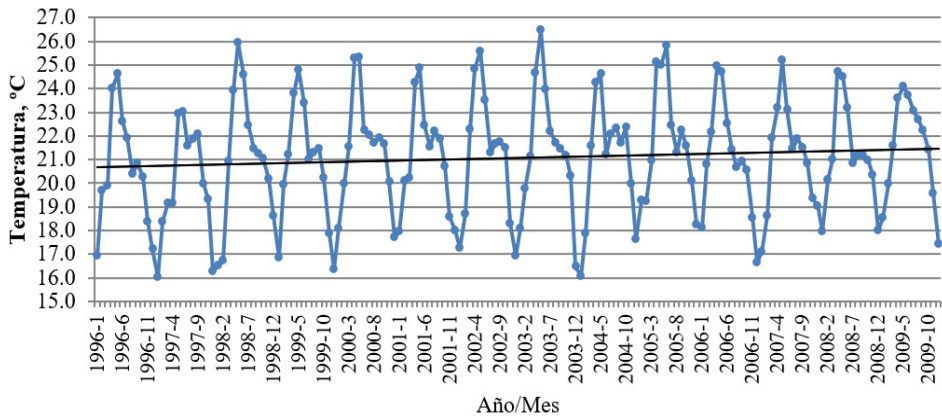


Fig. 10. Temperatura media mensual en la zona conurbada de Guadalajara, Jalisco: 1996-2009. Fuente: Parada Gallardo (2012)

La misma tendencia creciente se observa para temperatura mínima promedio mensual (Fig. 11). También, se detecta un patrón de registrar las temperaturas más cálidas en los meses de invierno particularmente en enero y diciembre, con incremento de $0.97\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ años}$. Este incremento es uno de los indicadores de impactos de cambio climático tanto local (área urbano creciente), como global, es decir el incremento de temperatura mínima y presencia de los inviernos menos fríos.

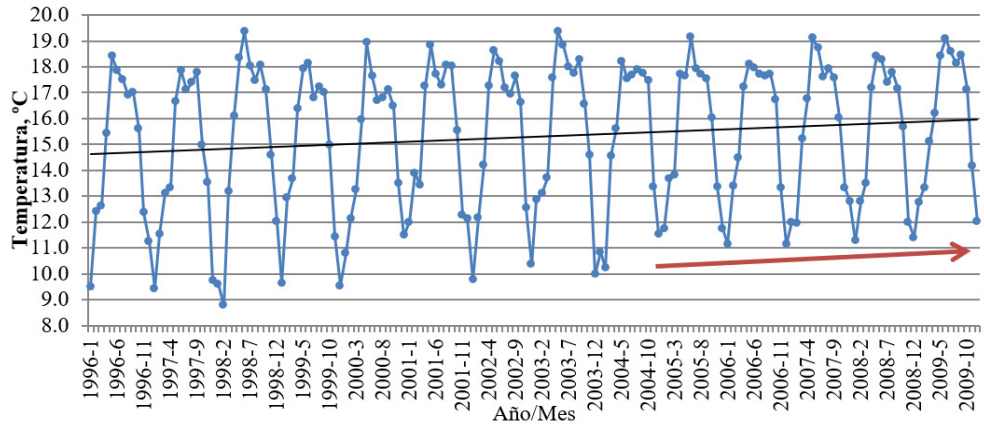


Fig. 11. Temperaturas mínimas promedio mensuales en la zona conurbada de Guadalajara de 1996-2009. Fuente: Parada Gallardo (2012)

Otra investigación sobre el calor extremo en la zona metropolitana de Guadalajara realizado mediante el uso de imágenes satelitales muestra las mismas conclusiones sobre una rápida intensificación de las temperaturas máximas de la ciudad (Fig. 12), así se visualizan períodos de olas de calor más largos y más frecuentes (López García, 2018).

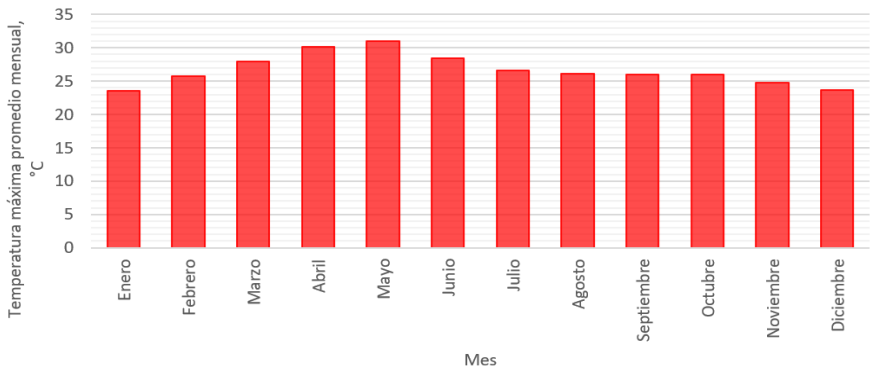


Fig. 12. Variación anual de la temperatura máxima promedio mensual 1990-2020.

Fuente: Elaboración propia.

II.2.3. Análisis de precipitación

De acuerdo a Davydova y Skiba (1999) la precipitación total anual muestra una tendencia creciente, que físicamente se puede explicar con la intensificación de la isla del calor urbana, así como la presencia de una atmósfera contaminada con NO_x y SO₂ siendo moléculas higroscópicas que aceleran los procesos de coagulación e incrementan la probabilidad de lluvia, también su intensidad.

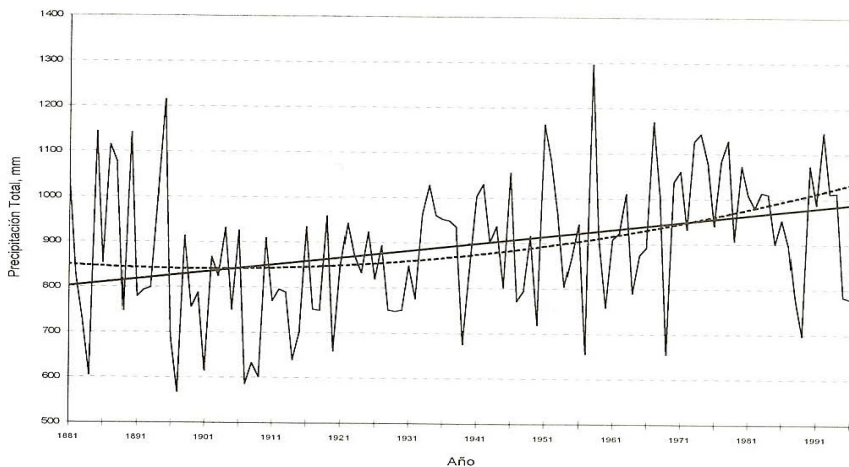


Fig. 13. Oscilación interanual de la precipitación total anual en Guadalajara, Jalisco 1881-1996. Fuente: (Davydova Belitskaya, Skiba, Bulgakov, & Martínez Z., 1999)

La tendencia lineal de la serie de precipitación total anual fue también creciente con un gradiente de 1.75 mm/año (Fig. 13). Sin embargo, el ajuste exponencial del comportamiento histórico de la lluvia total anual estableció un período de distribución uniforme (1881-1931), después del cual se registró un rápido incremento del valor total anual con un gradiente de 2.77 mm/año, de tal manera que la magnitud del parámetro climático de la precipitación total anual marco aumento de 866.9 mm (1881-1964) a 969.0 mm para el período 1961-1996 (Davydova Belitskaya & Skiba, 1999).

Los estudios recientes (Sánchez González, 2011; Castillo Rodríguez, 2017; Herrera, Magaña, & Morett, 2018; Alexander, Calice, Scheufele, & Brossard, 2023) indican que la distribución de las precipitaciones extremas favorece la alta agresividad climática, determinante de los procesos de erosión del suelo y de los peligros geomorfológicos, como desprendimientos y aludes en el área topográficamente compleja, así como inundaciones por encharcamiento o desbordamiento de arroyos y canales en zonas urbanas a causa de suelos totalmente impermeables y pocas zonas de infiltración natural. Asimismo, en los próximos años se prevé el aumento de los procesos de erosión e inundaciones asociados a factores ambientales, por un incremento de la ocurrencia e intensidad de las precipitaciones extremas, y a factores antrópicos, por el crecimiento de la población y viviendas expuestas a áreas inestables. Los peligros asociados al cambio climático, especialmente aquellos derivados de eventos extremos como lluvias intensas (Zhang, y otros, 2024), ya son considerados por los informes del IPCC como moderados (con un alto nivel de confianza) y se vuelven altos si ocurre un aumento adicional de 1°C en la temperatura. La abundancia de lluvias y su regularidad son características del clima en Jalisco, aunque dentro del rango de variabilidad natural de este fenómeno, se observan episodios excepcionales, ya sea por su infrecuencia o por el volumen de agua caída. Las proyecciones regionales de los modelos predictivos sugieren un posible aumento en la frecuencia de fenómenos extremos de precipitación y una mayor variabilidad en los aportes hídricos.

El análisis de los datos climáticos de 1951 a 2020 proporciona una comprensión integral de la dinámica de las precipitaciones en el área urbana de Guadalajara y la región más amplia de Jalisco. Los campos de precipitación anual revelan una variabilidad espacial significativa, con las magnitudes más

altas registradas a lo largo de las zonas costeras de Jalisco, donde los totales anuales superan los 2000 mm (Figura 14).

Por el contrario, la parte norte del estado y la región de Los Altos, al este, presentan condiciones mucho más secas, hasta 400-600 mm al año. La región central, que abarca la conurbación de Guadalajara, muestra totales de precipitación anual que oscilan entre 850 y 1200 mm. Cabe destacar que la parte sur de esta región central experimenta episodios de precipitación más intensos, probablemente debido a las modificaciones inducidas por el cambio climático en los regímenes de precipitación.

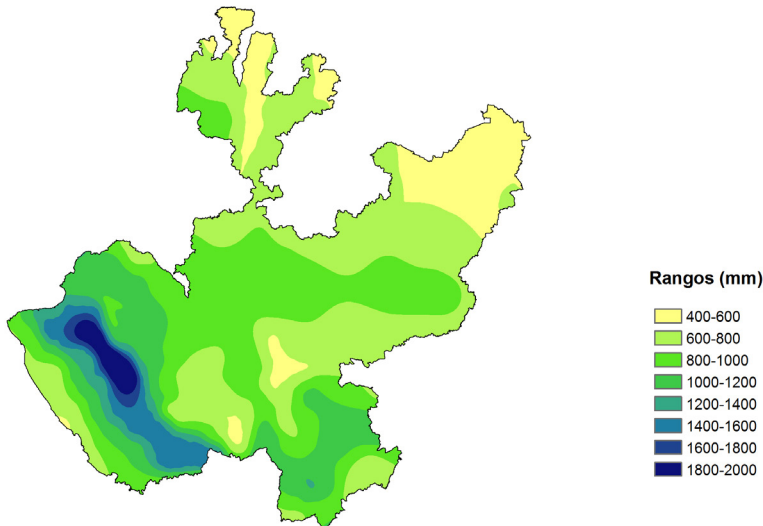


Fig. 14. Precipitación total anual y su comportamiento espacial en el estado de Jalisco, (Davydova Belitskaya, 2020).

El estudio concluye que el cambio climático influye significativamente en las precipitaciones y temperaturas extremas en Guadalajara, subrayando la necesidad de estrategias de adaptación en la planificación urbana. Estos resultados son cruciales para los responsables de políticas y planificadores urbanos, ya que proporcionan información sobre las futuras proyecciones climáticas y posibles estrategias de mitigación. Las investigaciones futuras deberían indagar

en los impactos socioeconómicos de estos cambios climáticos, promoviendo un enfoque integral hacia la resiliencia climática urbana.

II.2.4 Discusión

La compleja dinámica del diagnóstico climático en las zonas urbanas, especialmente en el contexto de Guadalajara (México), requiere un análisis en profundidad de diversos factores ambientales y su interacción. El cambio climático es un fenómeno multifacético que afecta a los patrones meteorológicos regionales, lo que requiere una comprensión matizada de los datos climatológicos locales. Este estudio contribuye al debate general al examinar las variaciones de las precipitaciones y la temperatura a lo largo de un amplio periodo de tiempo, lo que enriquece nuestra comprensión del diagnóstico climático urbano en una región en desarrollo. La aplicación de datos climáticos históricos, que abarcan desde 1951 hasta 2020, permite un análisis sólido de las variaciones intraanuales y las oscilaciones espaciales, lo que proporciona información valiosa sobre el régimen climático de Guadalajara. Las principales conclusiones de este estudio revelan importantes disparidades en las precipitaciones en Jalisco, ya que las regiones costeras registran precipitaciones anuales notablemente más elevadas que las áridas regiones del norte y el este. Esta heterogeneidad espacial pone de relieve la compleja influencia de los factores geográficos y climáticos en la distribución de las precipitaciones.

Además, la región central de Jalisco, que abarca Guadalajara, presenta un patrón de precipitaciones único, con totales anuales que van de moderados a intensos, lo que indica modificaciones en los regímenes de precipitaciones inducidas por el cambio climático. Los análisis de temperatura aclaran aún más las características climáticas de la región, con temperaturas mínimas que destacan las zonas más frías del norte, en contraste con las condiciones más cálidas de las regiones central, sur y costera. Las temperaturas máximas siguen una tendencia similar, lo que pone de relieve la dinámica térmica que se da en la conurbación urbana de Guadalajara.

Los patrones de precipitación observados pueden atribuirse a varios factores, entre ellos la posición geográfica y la influencia del cambio climático. Las regiones costeras, debido a su proximidad al océano, reciben naturalmente niveles de precipitación más altos, un fenómeno bien documentado en la li-

temperatura climatológica. Las condiciones áridas de las regiones septentrionales y orientales concuerdan con los conocimientos establecidos sobre las zonas climáticas regionales, en las que los factores topográficos y atmosféricos contribuyen a la reducción de las precipitaciones. La variabilidad de las precipitaciones en la región central es especialmente notable, ya que refleja el impacto del cambio climático en los regímenes de precipitaciones, un tema que preocupa cada vez más a los científicos climáticos. La intensificación de las precipitaciones en la parte sur de Guadalajara es indicativa de la alteración de las condiciones atmosféricas, probablemente impulsada por el cambio climático antropogénico.

El análisis comparativo con estudios anteriores corrobora estos hallazgos, lo que refuerza su validez dentro del marco climatológico más amplio. Estudios realizados en contextos geográficos similares han informado de patrones de precipitación análogos, especialmente en las regiones costeras. Esta coincidencia con la literatura establecida subraya la fiabilidad de los datos y las metodologías empleados en este estudio. Además, los análisis de temperatura son coherentes con las observaciones globales de la dinámica del calor urbano, en las que las zonas urbanas presentan características térmicas distintivas debido a factores como las islas de calor urbanas y los patrones alterados de uso del suelo. Sin embargo, surgen discrepancias al aproximar estos hallazgos con estudios realizados en diferentes zonas climáticas, donde las variaciones en los patrones de precipitación y temperatura pueden divergir de las observadas en Guadalajara. Estas diferencias ponen de relieve la novedad de este estudio, ya que ofrece una perspectiva localizada sobre el diagnóstico climático en una región que ha estado infrarrepresentada en la investigación climatológica. Las características climáticas únicas de Guadalajara, tal y como revela este estudio, contribuyen a ampliar el conjunto de conocimientos sobre la dinámica climática urbana, ofreciendo nuevas perspectivas sobre la interacción entre los factores geográficos, atmosféricos y antropogénicos.

Aunque este estudio presenta un diagnóstico climático exhaustivo de Guadalajara, hay que reconocer sus limitaciones. La dependencia de datos históricos, aunque amplios, puede no reflejar los cambios climáticos recientes o las anomalías. Además, el alcance del estudio se limita geográficamente a Jalisco, lo que restringe la generalización de los resultados a otras regiones.

A pesar de estas limitaciones, el estudio ofrece una valiosa contribución a la comprensión de la dinámica climática urbana, sentando las bases para futuras investigaciones en este campo.

II.2.5 Conclusiones

En resumen, nuestros resultados indican que los patrones anuales de precipitación y temperatura en el área urbana de Guadalajara están significativamente influenciados por el cambio climático, con la región costera de Jalisco experimentando los niveles más altos de precipitación, mientras que las regiones norte y este permanecen relativamente secas. Este estudio destaca la novedosa idea de que la parte sur de Guadalajara está sujeta a lluvias más intensas debido a la alteración de los regímenes de precipitación, mientras que los campos de temperatura revelan condiciones más cálidas en las regiones central, sur y costera en comparación con las zonas más frías del norte. La importancia de estos hallazgos radica en su contribución a la comprensión de los impactos localizados del cambio climático en las zonas urbanas, especialmente en regiones en desarrollo como Guadalajara. Al proporcionar diagnósticos climáticos detallados, esta investigación avanza en el campo al ofrecer un análisis espacial exhaustivo que puede servir de base para futuros estudios. Estos resultados tienen aplicaciones prácticas en la planificación urbana y la formulación de políticas. La comprensión de la variabilidad espacial de los patrones climáticos puede orientar el desarrollo de infraestructuras, la gestión de los recursos hídricos y las estrategias de preparación para desastres, garantizando que las zonas urbanas estén mejor equipadas para hacer frente a los efectos del cambio climático. Las investigaciones futuras deberían centrarse en explorar las implicaciones socioeconómicas de estos cambios climáticos, integrando los diagnósticos climáticos con datos demográficos y económicos para desarrollar estrategias holísticas de resiliencia urbana. Además, investigar la eficacia de diversas medidas de adaptación para mitigar los efectos del clima podría proporcionar información valiosa a los responsables políticos y los planificadores urbanos.



III. Expansión de la isla de calor urbana en Guadalajara: implicaciones medioambientales y para la salud

III.1. Introducción

El fenómeno de las islas de calor urbanas (ICU) representa una preocupación fundamental en el campo de la climatología urbana, con importantes implicaciones para la salud pública, el consumo de energía y la sostenibilidad medioambiental. A medida que las ciudades se expanden y urbanizan, especialmente en las regiones en desarrollo, la intensificación de las UHI se hace cada vez más pronunciada, lo que agrava los efectos del cambio climático global. Guadalajara, situada en Jalisco (México), es un ejemplo paradigmático de los retos a los que se enfrentan las zonas en rápida urbanización, donde se produce un desarrollo intensivo con una planificación mínima, lo que da lugar a resultados perjudiciales para el medio ambiente y la sociedad. En este contexto, el estudio de las ISU en Guadalajara no solo es pertinente, sino esencial para comprender la interacción entre la urbanización y la dinámica climática, y para formular estrategias que mitiguen los efectos adversos.

Las islas de calor urbanas se caracterizan por temperaturas más altas en las zonas urbanas en comparación con sus alrededores rurales, debido principalmente a la modificación de la superficie terrestre y a la concentración de fuentes de calor antropogénicas. La sustitución de la vegetación natural por superficies impermeables, como el hormigón y el asfalto, reduce la evapotranspiración y aumenta la absorción de calor, mientras que la emisión de calor residual de los edificios, los vehículos y las actividades industriales contribuye aún más al aumento de las temperaturas. Este fenómeno se ve agravado por la falta de espacios verdes y masas de agua, que son fundamentales

para enfriar los entornos urbanos y facilitar la infiltración del agua de lluvia. En Guadalajara, la urbanización rápida y no planificada ha provocado importantes alteraciones en la cobertura del suelo, intensificando el efecto UHI y planteando serios retos para la sostenibilidad urbana. Estudios recientes han destacado el papel de las UHI en la alteración de los patrones climáticos locales, incluidas las tendencias de temperatura y precipitación. La persistencia de altas temperaturas en las zonas urbanas puede provocar un aumento de la demanda de energía para la refrigeración, lo que agrava las emisiones de gases de efecto invernadero y contribuye al cambio climático. Además, la intensificación de los episodios de lluvias convectivas, a menudo asociados a las UHI, puede provocar inundaciones urbanas debido a la reducción de la capacidad de infiltración y drenaje del agua en las zonas densamente urbanizadas.

Estos cambios no solo afectan al entorno físico, sino que también tienen profundas implicaciones para la salud humana, ya que el calor extremo puede provocar enfermedades y mortalidad relacionadas con el calor, especialmente entre las poblaciones vulnerables, como los ancianos y los niños. La investigación sobre las ISU ha avanzado considerablemente, con estudios que emplean la teledetección, la modelización climática y las observaciones sobre el terreno para cuantificar el alcance y el impacto de las ISU en diversos contextos urbanos. Sin embargo, sigue existiendo una importante laguna en la comprensión de la dinámica específica de las ISU en ciudades como Guadalajara, donde interactúan factores socioeconómicos y ambientales únicos. Si bien las investigaciones anteriores han documentado las características generales de las UHI, existe una necesidad apremiante de investigar las variaciones espaciales y temporales de los patrones de temperatura y precipitación, así como sus implicaciones para la planificación urbana y la salud pública. La laguna de investigación identificada en la bibliografía actual se refiere a la falta de estudios exhaustivos que integren datos climáticos de alta resolución con los patrones de desarrollo urbano en Guadalajara. Esta laguna supone un reto a la hora de diseñar estrategias de mitigación eficaces que aborden las causas fundamentales de las UHI y promuevan al mismo tiempo un crecimiento urbano sostenible. Abordar esta laguna es fundamental para informar las decisiones políticas y orientar los esfuerzos de planificación urbana con el fin de mejorar la resiliencia de las ciudades ante los efectos del cambio climático. Para abordar esta laguna, el presente estudio tiene como objetivo esclarecer la relación

entre los patrones de urbanización y la dinámica climática en Guadalajara, centrándose en el efecto UHI y sus consecuencias para las tendencias de temperatura y precipitación.

III.2. Resultados y su discusión

Para analizar la isla del calor en la zona conurbada de Guadalajara se construyeron los campos de temperatura máxima, media y mínima promedios anuales a partir de los datos de 8 estaciones de Red Automática de Monitoreo Ambiental. La visualización de su comportamiento espacial permite situar las “Islas de calor” así como estudiar su intensidad y dinámica.

Para la distribución espacial de temperatura máxima promedio anual ($^{\circ}\text{C}$), calculada para el período 1996-2009, el epicentro de la isla de calor se registró en Tlaquepaque con un máximo de 29°C (Fig. 15). Para la distribución espacial de temperatura media anual ($^{\circ}\text{C}$) representada en la Fig. 16, el centro de la isla de calor se registró en la zona centro con el máximo de 21.8°C . Para la distribución espacial de temperatura mínima promedio anual ($^{\circ}\text{C}$) que se representa en la Fig. 17, el centro de la isla de calor también se registró en centro con una temperatura máxima promedio anual de 16.7°C .

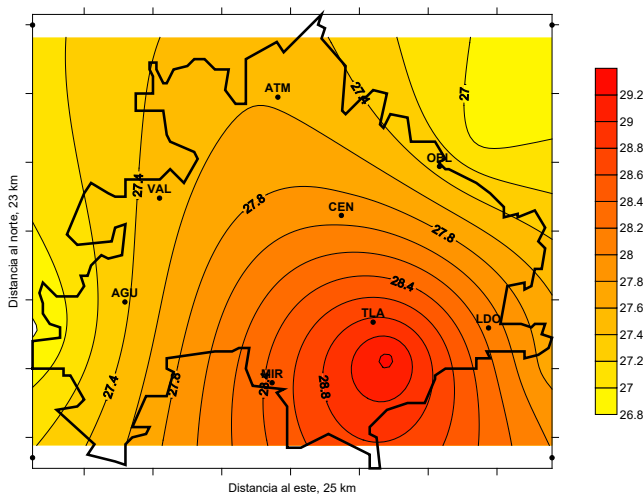


Figura 15. Distribución espacial de temperatura máxima promedio anual ($^{\circ}\text{C}$), calculada para el período 1996-2009. Fuente: Elaboración propia.

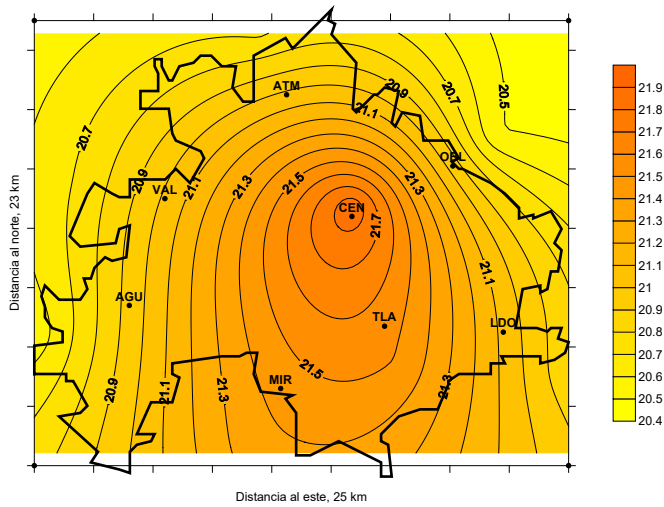


Fig. 16. Distribución espacial de temperatura media anual (°C), calculada para el período 1996-2009. Fuente: Elaboración propia.

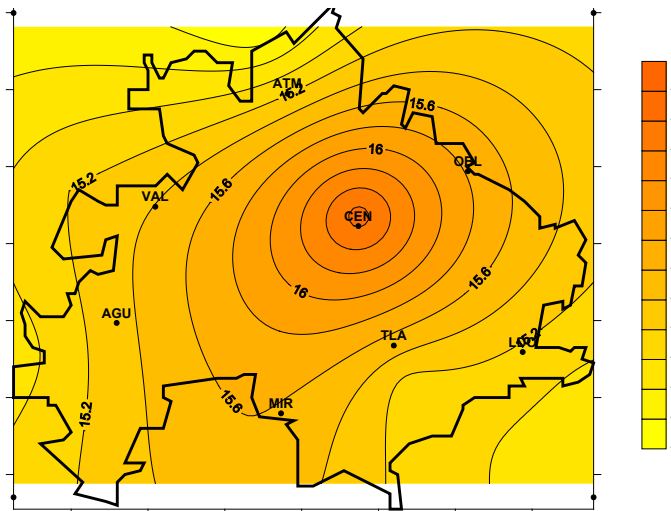


Fig. 17. Distribución espacial de temperatura mínima promedio anual (°C), calculada para el período 1996-2009. Fuente: Elaboración propia.

En el análisis de temperaturas máximas diarias durante los 365 días del período de 1970-2000 respecto a las temperaturas máximas diarias promedio del periodo de 1996-2009 (Fig. 18) se detectó un significativo incremento de las temperaturas

Encontramos que las temperaturas máximas del periodo de 1996 a 2009 son mayores a las registradas de 1970 a 2000, además de que esta diferencia es mayor en los meses de invierno para el período 1996 - 2009 con respecto a la línea base 1970-2000.

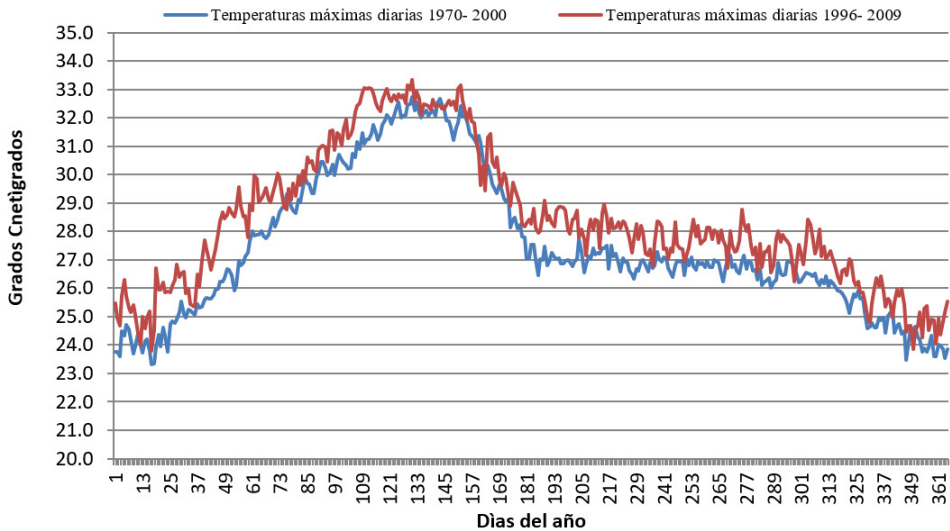


Fig. 18. Comportamiento temperaturas máximas promedios diarios en la zona conurbada de Guadalajara durante los 365 días del año 1996-2009 respecto a las temperaturas máximas promedios diarios de 1970- 2000. Fuente: Modificado de Parada Gallardo, 2012.

El estudio realizó un análisis exhaustivo de los patrones de temperatura en el área urbana de Guadalajara. Se construyeron campos de temperatura para identificar las zonas de riesgo caracterizadas por temperaturas elevadas persistentes, centrándose en el efecto de isla de calor urbana. Inicialmente, el epicentro de la isla de calor se identificó en las regiones de Centro y Tlaquepaque durante el período 196-2010. Sin embargo, los datos más recientes de 2001-2020 (Chan & Davydova Belitskaya, 2020) indican una expansión significativa, que abarca Centro, Tlaquepaque, Tonalá y Miravalle (Figura 19).

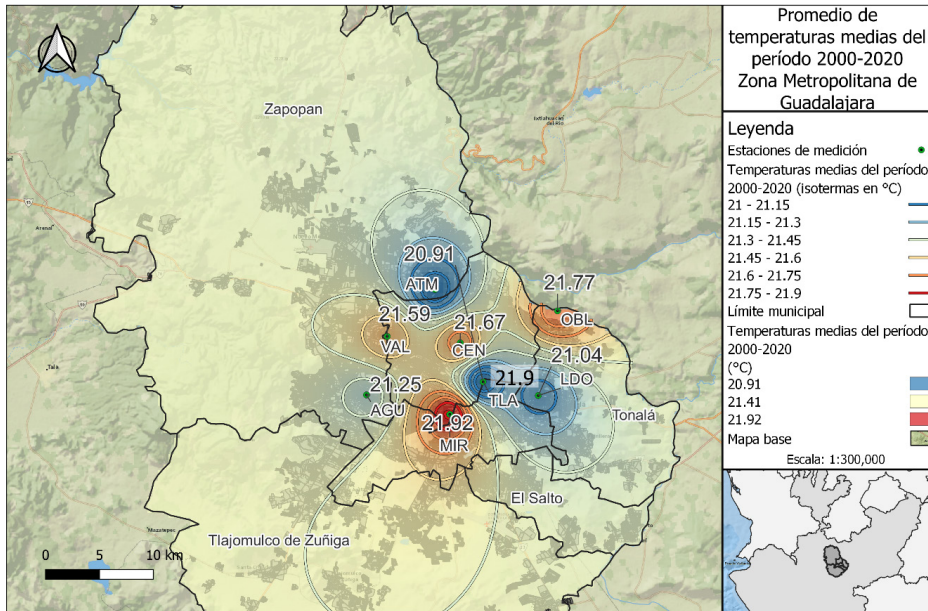


Fig. 19. Distribución espacial de la temperatura media en la Zona Conurbada de Guadalajara, 1996 – 2020. Fuente: (Chan & Davydova Belitskaya, 2020)

Cabe destacar que el municipio de Zapopan, en particular su región norte, ha experimentado aumentos sustanciales de temperatura. Las temperaturas mínimas han aumentado entre 6 y 10 °C, mientras que las máximas lo han hecho entre 3 y 6 °C en las últimas dos décadas. Los patrones de precipitación también han experimentado cambios notables. Los períodos invernales se han vuelto progresivamente más secos, con precipitaciones mínimas como resultado de los frentes fríos y las tormentas invernales. Sin embargo, las altas temperaturas, junto con una humedad relativa superior al 40 % (Fig. 20) (Tab. 3), han dado lugar a índices de bioconfort que van de insatisfactorios a peligrosos, lo que supone graves riesgos para la salud, como golpes de calor, estrés térmico y muerte súbita por deshidratación entre las poblaciones vulnerables, incluidos los ancianos y los niños.

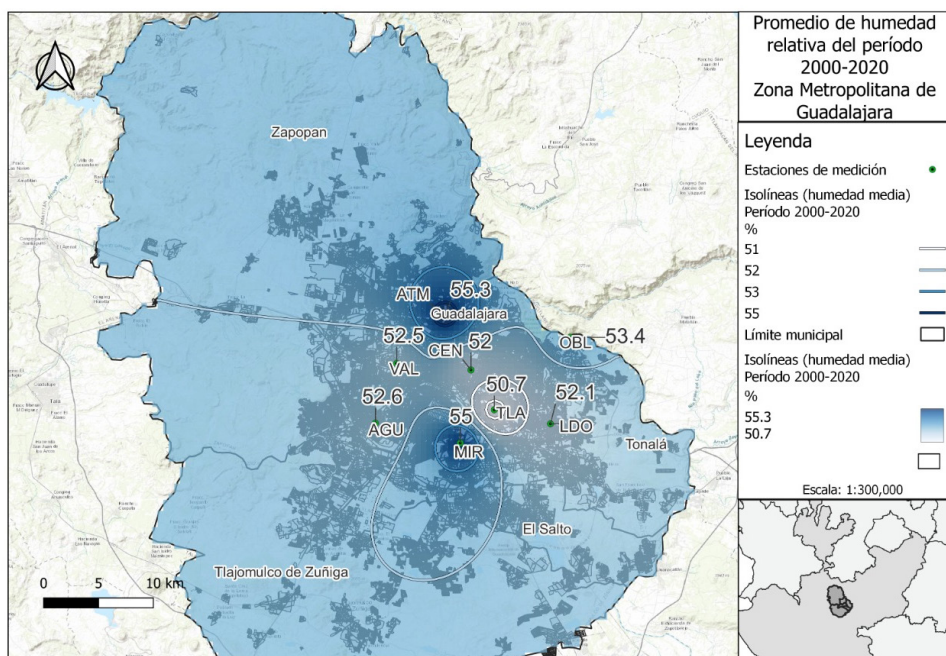


Fig. 20. Distribución espacial de la humedad relativa media anual en la Zona Conurbada de Guadalajara, 1996 – 2020. Fuente: (Chan & Davydova Belitskaya, 2020)

Tabla 3. Oscilación de temperatura media y humedad relativa (°C/5 años) en las estaciones de la RAMA, Guadalajara, Jalisco: 1996-2020.

PERIODO	T °C	HR %
1996-2000	20.6	56.20
2001-2005	21.2	55.35
2006-2010	20.7	51.93
2011-2015	21.4	53.23
2016-2020	22.3	51.00

Fuente de consulta: Estimaciones y diseño propios en base a los datos del RAMA en <https://semadet.jalisco.gob.mx/medio-ambiente/calidad-del-aire>

En resumen, nuestros resultados indican que la urbanización no planificada ha intensificado significativamente el efecto de isla de calor urbana y ha alterado los patrones de precipitación en Guadalajara, lo que pone de relieve la urgente necesidad de una planificación urbana sostenible y de aumentar las infraestructuras verdes para mitigar estos impactos climáticos y su nocivo efecto sobre la salud pública. Los estudios realizados por Parada Gallardo (2012) y (Chan & Davydova Belitskaya, 2020) muestran alarmante estadística de enfermedades cardiovasculares y por estrés térmico en la zona conurbada de Guadalajara.

III.3. Islas de calor, bioconfort y salud pública

El fenómeno de las islas de calor urbanas (UHI) representa una intersección crítica entre la urbanización y el cambio climático, y pone de relieve el profundo impacto de las actividades humanas en las condiciones climáticas locales. Las UHI se caracterizan por temperaturas elevadas en las zonas urbanas en comparación con sus homólogas rurales, impulsadas por factores como el aumento de la absorción de calor en la superficie, la reducción de la evapotranspiración debido a las superficies impermeables y las emisiones de calor antropogénicas. Este estudio se sitúa dentro del discurso más amplio sobre las UHI, haciendo hincapié en la necesidad de una planificación urbana sostenible para mitigar sus efectos adversos. Los resultados del área urbana de Guadalajara proporcionan un convincente estudio de caso sobre las consecuencias de la urbanización intensiva sin una planificación adecuada, lo que subraya la urgencia de integrar zonas verdes y acuáticas para mejorar la resiliencia urbana. Las principales conclusiones de esta investigación revelan una expansión significativa del efecto UHI en Guadalajara durante las últimas cuatro décadas. Inicialmente concentrada en las regiones de Centro y Tlaquepaque, la isla de calor se ha extendido progresivamente hasta abarcar municipios de Tonalá y de Miravalle. Este crecimiento espacial se correlaciona con el rápido desarrollo urbano y el aumento de la población, que han intensificado el efecto de isla de calor al alterar la cobertura del suelo y aumentar el consumo de energía. En particular, la región norte de Zapopan ha experimentado aumentos significativos de temperatura, lo que indica una tendencia más amplia al aumento de las temperaturas mínimas y máximas en toda la zona urbana.

Estos hallazgos ponen de relieve la novedad del estudio, ya que proporcionan un análisis temporal y espacial detallado de la dinámica de la UHI en Guadalajara, lo que aporta valiosos conocimientos a la bibliografía existente.

El énfasis del estudio en la interacción entre la temperatura y la humedad durante la estación lluviosa subraya aún más las implicaciones para la salud de los UHI, ya que los altos índices de bioconfort suponen graves riesgos para las poblaciones vulnerables (Fig. 21).

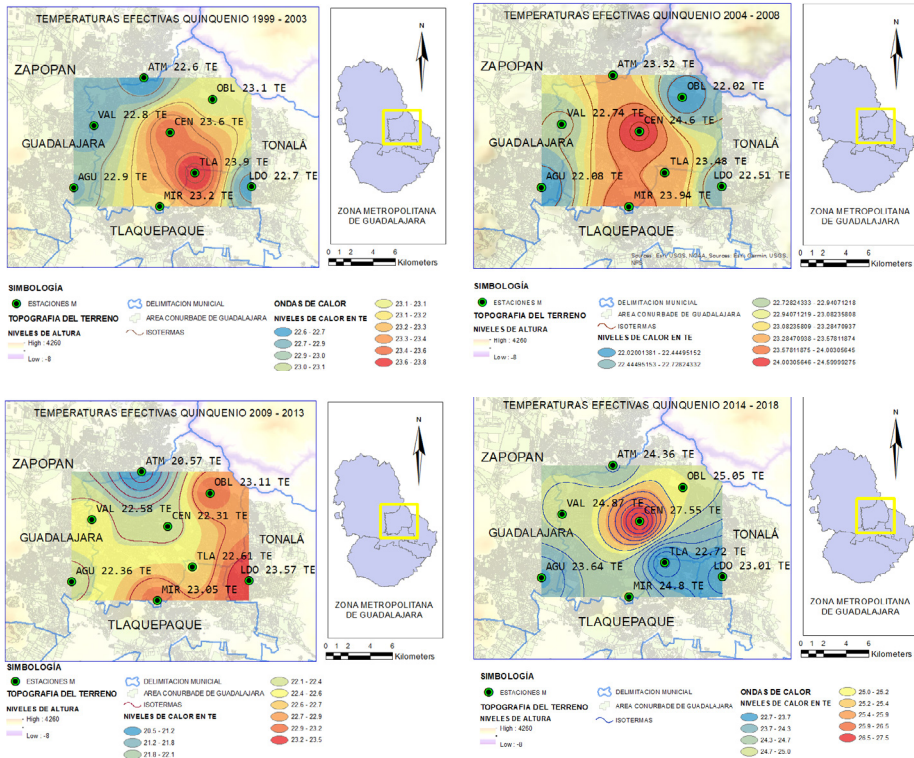


Fig. 21. Distribución espacial de la Temperatura Efectiva. A) quinquenio 1999-2003, B) quinquenio 2004 - 2003, C) quinquenio 2009 - 2013 y D) quinquenio 2014 -2018.

Fuente: Alamilla Chan, 2021.

Aquí la Temperatura Efectiva es un tipo de indicadores de bioconfort de salud humana (Tabla 4).

Tabla 4. Escalas de TE estandarizadas a la escala de ASHRAE. Fuente: Diseño y datos en base a López y Márquez. 2018.

SENSACIÓN TÉRMICA	INTERVALOS DE TE (° C)	
Muy caluroso	>29.3	
Caluroso	26.1	29.3
Cálido ligero	22.9	26.1
Confortable	19.7	22.9
Fresco ligero	16.5	19.7
Fresco	13.3	16.5
Frío		<13.3

Según los resultados de las estimaciones con método de Temperaturas Efectivas (TE) se puede concluir que la ZCG está perdiendo sus condiciones confortables de manera gradual dado, que 25.2° (Tabla 5).

Tabla 5. Análisis mensual de las Temperaturas Efectivas medias del periodo 2015-2020.

TE MEDIAS EN °C						
MES	2015	2016	2017	2018	2019	2020
ENERO	20.1	18.0	17.7	19.6	20.8	21.4
FEBRERO	20.6	20.4	19.0	21.5	23.7	23.5
MARZO	21.2	21.9	21.3	24.0	25.7	26.8
ABRIL	25.8	25.2	22.4	26.1	26.4	27.5
MAYO	26.7	28.3	28.1	25.9	28.7	28.9
JUNIO	26.2	26.8	27.6	26.9	29.5	29.5
JULIO	24.9	25.4	25.4	20.7	26.7	27.4
AGOSTO	25.4	25.7	26.2	19.5	28.6	28.1

SEPTIEMBRE	25.2	25.9	24.9	24.7	28.1	28.1
OCTUBRE	24.1	25.0	23.4	23.3	27.2	27.9
NOVIEMBRE	23.1	21.8	21.6	20.7	24.9	25.7
DICIEMBRE	17.6	21.2	18.8	17.4	22.6	23.1

Fuente de consulta: Estimaciones y diseño propios en base a los datos del RAMA (SEMA-DET, 2019) en <https://semadet.jalisco.gob.mx/medio-ambiente/calidad-del-aire>

Estas pequeñas variaciones en temperatura y humedad relativa (Tabla 6) traen consigo grandes riesgos a la salud de los habitantes vulnerables (Navarro, et al. 2019.) lo cual exacerba enfermedades cardiovasculares y pulmonares e inclusive puede llevar a la muerte (Parada, G. 2012; Estrella, 2017; Gaxiola, R. et al., 2013).

Tabla 6. Análisis mensual de las Temperaturas Efectivas máximas durante el periodo 2015-2020.

TE MAXIMAS EN °C						
MES	2015	2016	2017	2018	2019	2020
ENERO	29.5	29.6	27.3	30.4	30.6	30.1
FEBRERO	33.1	32.1	28.3	32.8	34.6	33.9
MARZO	31.0	32.2	30.2	35.9	35.2	37.2
ABRIL	33.7	34.4	30.6	36.8	36.5	38.9
MAYO	35.0	36.8	37.9	35.7	40.5	36.8
JUNIO	34.4	35.4	36.9	37.5	39.1	39.5
JULIO	32.6	33.6	34.3	27.8	35.2	35.1
AGOSTO	32.7	33.8	34.3	25.3	37.6	36.1
SEPTIEMBRE	32.9	33.5	34.2	32.6	35.6	35.8
OCTUBRE	33.1	33.4	33.1	31.6	35.4	35.7
NOVIEMBRE	30.7	32.3	33.5	31.2	34.0	35.2
DICIEMBRE	25.1	29.9	29.9	26.8	33.4	31.7

Fuente de consulta: Estimaciones y diseño propios en base a los datos del RAMA (SEMA-DET, 2019) en <https://semadet.jalisco.gob.mx/medio-ambiente/calidad-del-aire>

De acuerdo a los resultados del análisis de datos recolectados mediante estaciones portátiles (Alamilla Chan, 2021) a escala espacial las Temperaturas Efectivas Medias del otoño muestran claramente la isla de calor en el área conurbada del municipio de Zapopan y Guadalajara en las que predomina la sensación “calurosa” con temperaturas de entre 25 y 26.2 °C. Con una diferencia de 6.2 °C en los municipios de Tlajomulco y Tonalá predomina un ambiente “confortable” al igual que en el bosque de La Primavera en el municipio de Zapopan. La parte norte del municipio de El Salto se mantiene con temperaturas confortables mientras que la zona industrial ya se empieza a notar el aumento de la sensación de calor con un promedio de 22.1° C de TE.

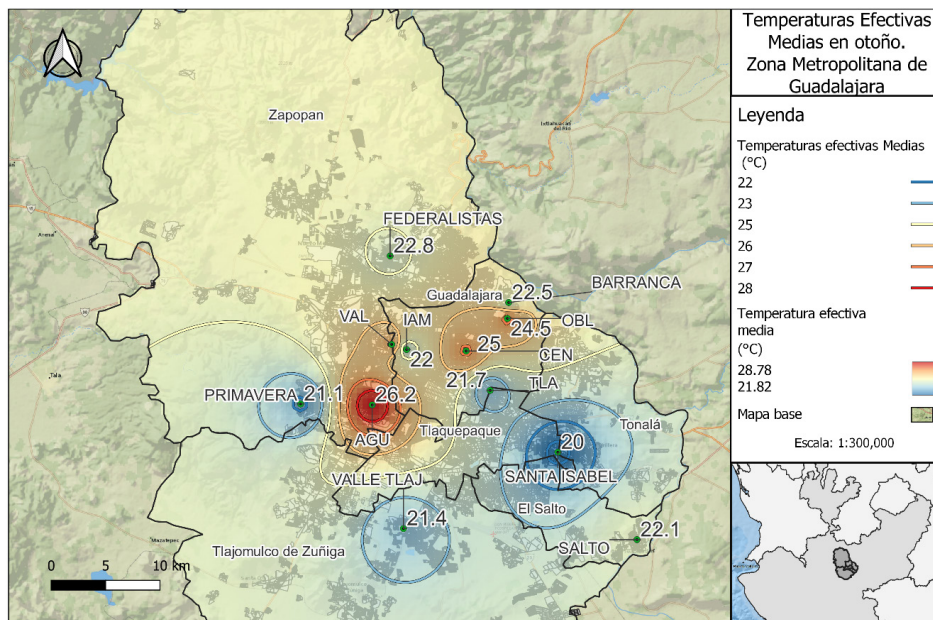


Fig. 22. Isla de calor de la ZMG con promedios de Temperaturas Efectivas durante el otoño 2020. Diseño (Alamilla Chan, 2021) con datos históricos del RAMA-SEMADET (SEMADET, 2019).

Mientras, (Fig. 23) las Temperaturas Efectivas Máximas son una fuente de riesgo de padecer un accidente cerebrovascular durante el otoño en toda la Zona Conurbada de Guadalajara, dado que en todos los puntos de observación se registran sensaciones “muy calurosas” con un promedio de 35.9 ° C. Estas temperaturas máximas se alcanzan en la tarde entre las 12 y 5pm.

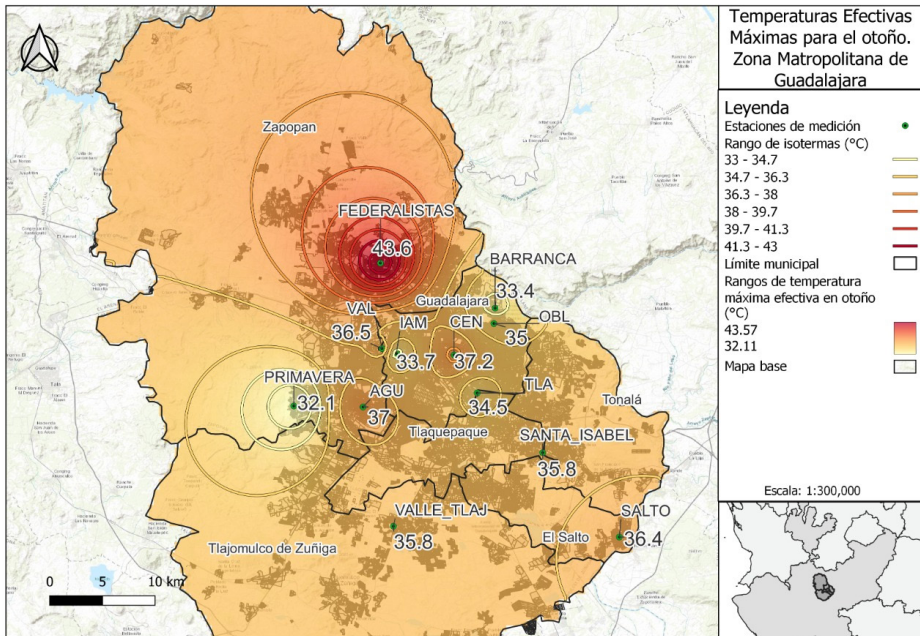


Fig. 23. Isla de calor de la ZMG con Temperaturas Efectivas Máximas durante el otoño 2020. Diseño (Alamilla Chan, 2021) con datos históricos del RAMA-SEMADET (SEMADET, 2019).

En toda la ZMG las mañanas y madrugadas se clasifican como “confortables”, las noches como “ligeramente cálidos” y las tardes “muy calurosas”. El riesgo de estrés térmico y/o accidente cerebrovascular se podrían dar entre las 12pm a 5pm con un promedio de 33.5 °C de temperatura máxima. La Primavera es la única excepción donde las tardes se mantiene una sensación de “cálido ligero” con un promedio de 25.5 ° C de TE.

El análisis de indicadores de confort térmico usando el método de Temperatura Aparentes muestran las mismas tendencias de desconfort térmico en la zona conurbada de Guadalajara (Tabla 7).

Tabla 7. Análisis mensual de Temperaturas Aparentes medias. Estimadas a partir de datos de la RAMA-SEMADET 2015 - 2020. S/D: Sin datos.

TA MAXIMAS EN °C						
MES	2015	2016	2017	2018	2019	2020
ENERO	26.0	27.0	26.8	S/D	27.0	27.0
FEBRERO	27.9	S/D	S/D	S/D	27.1	27.8
MARZO	27.4	S/D	28.3	27.4	27.5	27.7
ABRIL	28.3	28.6	27.7	27.6	S/D	27.4
MAYO	29.1	28.7	29.7	31.0	29.5	28.5
JUNIO	31.0	29.4	31.6	32.2	32.0	31.9
JULIO	29.0	30.0	30.7	31.0	30.8	31.5
AGOSTO	29.0	29.7	31.3	29.7	32.1	31.8
SEPTIEMBRE	29.7	30.0	31.4	29.8	32.0	30.8
OCTUBRE	28.9	29.4	30.9	31.3	30.6	30.1
NOVIEMBRE	27.9	28.0	30.5	30.2	30.0	27.7
DICIEMBRE	S/D	27.5	27.5	30.9	28.5	27.3

En el análisis espacial de las Temperaturas Aparentes en la Figura 24 se detecta la misma isla de calor en el que las mayores sensaciones de estrés térmico se registran en el centro de la ZCG en la estación Centro y El Salto con un promedio de máximas de 32.9 y 32.3°C respectivamente se clasifican como “Extrema precaución” mientras que el resto de la ZMG se clasifican como áreas de precaución.

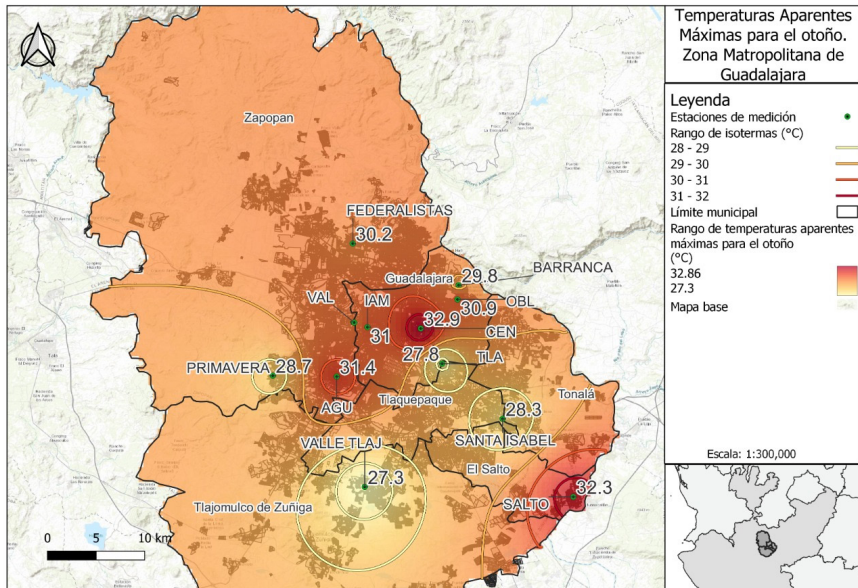


Fig. 24. Temperaturas Aparentes Máximas en la ZMG para el otoño del 2020. Diseño (Alamilla Chan, 2021) con datos históricos del RAMA-SEMADET (SEMADET, 2019).

El análisis estadístico de la isla de calor, muestra que solo los puntos de Santa Isabel, La Barranca, La Primavera y El Salto presentan diferencia significativa con $p=0.0016$ y $\alpha=0.05\%$ por lo que se puede decir que la sensación de “caluroso”, cubre la totalidad de la ZMG a excepción de microclimas caracterizados por condiciones rurales, naturalmente arboladas o poco desarrolladas (Fig. 22-24).

Los valores de extremos de temperatura son asociados a la sensación de disconfort térmico que percibe la sociedad, por lo tanto, para analizar sus efectos sobre las atenciones por Enfermedades Cerebrovasculares se calcularon las tasas específicas por municipio y por sexo, se aplica estadística descriptiva y mediante análisis de correlación se estiman las tendencias correspondientes. En las siguientes tablas y figuras se muestran los parámetros analizados.

En el periodo 2015 al 2020 se registró un total de 15,512 atenciones de los cuales el 52.9% fueron en hombres mientras que solo el 47.09% fueron en

mujeres. El aumento promedio de padecimientos durante todo el periodo fue de 11.08%, mientras que el 2019 el aumento fue de 2406 a 3308 casos representando un crecimiento acelerado del 42.15% respecto al año 2018. El municipio de Guadalajara presenta la mayor tasa de padecimientos, seguido de Zapopan, Tlaquepaque y Tonalá con 13.5, 4.6, 3.5 y 2.8 por cada 10,000 habitantes respectivamente para el año 2020 (Fig. 25).

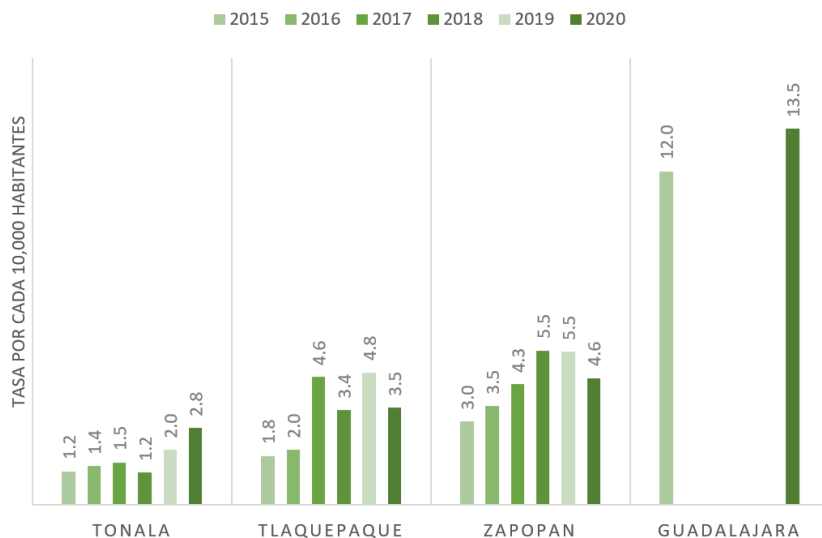


Fig. 25. Tasas de morbilidad por Enfermedades Cerebro Vasculares por municipio.

Fuente: (Alamilla Chan, 2021) con datos de SSJ.

El análisis correlacional de Enfermedades Cerebro Vasculares (ECV) con el tiempo del periodo de estudio, lo cual es alarmante, se observa una tendencia positiva de con un coeficiente de determinación ajustado del 58.8%, esto significa que existe un 58.8% de posibilidad de que los padecimientos sigan incrementando conforme con el paso del tiempo ante las temperaturas crecientes de la ciudad (Fig. 26). Lo que significa que hay factores ambientales que están provocando un aumento de los padecimientos de forma significativa.

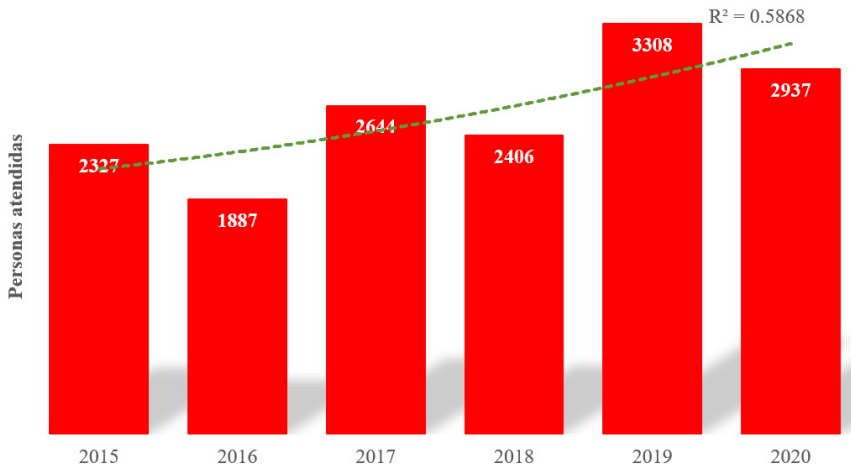


Fig. 26. Atenciones hospitalarias por Enfermedades Cerebro Vasculares (ECV) durante el periodo de estudio. Diseño (Alamilla Chan, 2021) con datos de la SSJ.

Los resultados observados pueden explicarse por varios factores teóricos y contextuales. La intensificación del efecto UHI se debe principalmente a los cambios en la cobertura del suelo asociados a la expansión urbana. La sustitución de la vegetación natural por superficies impermeables reduce el efecto refrigerante de la evapotranspiración, lo que provoca un aumento de la absorción y la retención de calor. Además, la concentración de fuentes de calor antropogénicas, como edificios, vehículos y actividades industriales, contribuye aún más al aumento de las temperaturas. Estos factores se ven agravados por la falta de zonas verdes y acuáticas, que son esenciales para enfriar los entornos urbanos y facilitar la infiltración del agua de lluvia.

El cambio en los patrones de precipitación puede atribuirse a los cambios en la circulación atmosférica y la dinámica climática local, influenciados tanto por el cambio climático regional como global. Los resultados de este estudio coinciden con investigaciones anteriores sobre las UHI, que han documentado tendencias similares en otras regiones en rápida urbanización. Estudios realizados en ciudades como Ciudad de México y São Paulo han informado de aumentos comparables de la temperatura y alteraciones en los patrones de

precipitación, lo que refuerza la validez de la investigación actual. La expansión observada del efecto UHI y sus impactos climáticos asociados son coherentes con las teorías establecidas sobre la relación entre la urbanización y el cambio climático, lo que pone de relieve la necesidad de una planificación urbana sostenible para mitigar estos efectos. Sin embargo, los resultados del estudio también presentan discrepancias cuando se comparan con investigaciones realizadas en ciudades con una planificación urbana más estratégica y una infraestructura verde. Por ejemplo, estudios en ciudades como Singapur y Copenhague han demostrado la eficacia de los espacios verdes y las zonas acuáticas para mitigar el efecto UHI y mejorar la resiliencia urbana. Estas ciudades han implementado estrategias integrales de planificación urbana que integran la infraestructura verde, lo que ha dado lugar a una reducción del aumento de la temperatura y a una mejora de la gestión del agua. El contraste entre estas ciudades y Guadalajara subraya la novedad de la investigación actual, ya que pone de relieve las consecuencias de la urbanización no planificada y la necesidad crítica de intervenciones estratégicas. Las limitaciones de este estudio se refieren principalmente al alcance de la recopilación de datos y al enfoque en regiones urbanas específicas. Si bien el estudio proporciona un análisis integral de las tendencias de temperatura y precipitación, la dependencia de los registros meteorológicos históricos puede limitar la capacidad de captar los desarrollos recientes en la urbanización y la dinámica climática.

Además, es posible que el enfoque en determinadas regiones urbanas no represente plenamente las tendencias generales de toda el área metropolitana de Guadalajara. A pesar de estas limitaciones, el estudio ofrece información valiosa sobre los efectos climáticos de la urbanización y proporciona una base sólida para futuras investigaciones y el desarrollo de políticas. En conclusión, este estudio mejora la comprensión de las islas de calor urbanas y sus implicaciones para la planificación urbana y la salud pública, y ofrece información fundamental sobre los retos a los que se enfrentan las regiones en rápida urbanización. Al destacar las consecuencias de la urbanización no planificada y la necesidad de zonas verdes y acuáticas, la investigación contribuye al debate más amplio sobre el desarrollo urbano sostenible y la mitigación del cambio climático. Los resultados subrayan la urgencia de integrar una planificación urbana estratégica para mejorar la resiliencia de las ciudades ante los fenómenos climáticos extremos, lo que constituye una valiosa referencia para los res-

ponsables políticos y los planificadores urbanos que desean salvaguardar la sostenibilidad medioambiental y la salud pública ante la rápida urbanización.

III.4. Conclusiones

En resumen, nuestros resultados demuestran que el efecto de isla de calor urbano en el área metropolitana de Guadalajara se ha intensificado en las últimas cuatro décadas, expandiéndose más allá de sus epicentros iniciales en Centro y Tlaquepaque para abarcar regiones adicionales como Tonalá, Miravalles y, en particular, la parte norte de Zapopan. Esta expansión se caracteriza por aumentos significativos tanto en las temperaturas mínimas como en las máximas, con un aumento particularmente pronunciado en las temperaturas mínimas. De acuerdo al análisis de la base de datos histórico de la Red Automatizada de Monitoreo Ambiental del SEMADET en el periodo 1996 – 2020 a pesar de la densidad de los datos se puede concluir que la isla de calor en la ZMG está siendo evidente, la temperatura media estimada es de 21.4° C y los meses más cálidos van desde abril hasta agosto donde las temperaturas máximas oscilan entre 30 y 34 °C ubicándose principalmente en las zonas Industrial de Tlaquepaque, Centro de Guadalajara y Zapopan, así como en algunas colonias al oriente del municipio.

De acuerdo al análisis de datos de las estaciones portátiles o investigación en campo se puede concluir que la isla de calor en la ZMG para el otoño con el método de Temperaturas Efectivas y Temperaturas Aparentes ya se encuentra expandido cubriendo los municipios de Guadalajara, Zapopan, Tlaquepaque, Tlajomulco, El Salto y Tonalá por igual, dado que las TE máximas estimadas para el periodo tienen un promedio de 39.8 °C lo cual se clasifica dentro del rango de “muy caluroso” entre los horarios de las 12 y 5 de la tarde. Los microclimas se crean por elementos estabilizadores naturales como lo son el bosque, las montañas o la barranca.

Bajo el método de Temperaturas Aparentes la isla de calor se limita a las áreas densamente construidas ubicadas en los municipios de Guadalajara, Zapopan y Tlaquepaque con un promedio de máximas de 35.9°C de TA, el cual se clasifica dentro del rango de “Extrema precaución” entre los horarios de 12 hasta las 5 de la tarde durante el otoño.

Los niveles de “confort” en la ZCG se limitan entre los horarios de la noche, mañana y madrugadas principalmente, en ambos métodos durante el otoño. Durante el invierno la sensación de “cálido ligero” se presenta solo en las tardes entre los horarios de 12 a 5pm en toda la ZCG. En el Municipio de El Salto, Tonalá, la zona influenciada por el cerro La Primavera y la barranca de Huentitán se tienen mañanas de frías a frescas según el método de TE.

Según la regresión lineal con el modelo doble inverso entre el número de atenciones y la Temperatura Aparente máxima no relaciona directamente la sensación de calor con los accidentes cerebrovasculares, por lo tanto se confirma que dicho padecimiento está directamente influenciado por factores genéticos, habituales y de comportamiento como lo son la edad, el sexo, la presión arterial, la diabetes mellitus, el tabaquismo, el alcoholismo, el sedentarismo, entre otros; sin embargo el calor puede agravar las enfermedades previas y desembocar en un accidente cerebrovascular (Alamilla Chan, 2021; Chan & Davydova Belitskaya, 2020).

La falta de espacios verdes y la gestión inadecuada del agua agravan estos cambios climáticos, lo que plantea serios retos para la sostenibilidad urbana y la salud pública, especialmente en términos de incomodidad térmica y riesgos para la salud relacionados con el calor. La importancia de este estudio radica en su contribución a la comprensión de la compleja interacción entre la rápida urbanización y la dinámica climática en las zonas urbanas en desarrollo. Al proporcionar pruebas empíricas del efecto isla de calor en expansión y los cambios climáticos asociados, esta investigación subraya la urgente necesidad de intervenciones estratégicas de planificación urbana. Los resultados ponen de relieve la importancia de integrar infraestructuras verdes y prácticas de gestión sostenible del agua para mitigar los efectos adversos de la urbanización en los climas locales. Este estudio supone un avance en este campo al ofrecer un análisis detallado de la evolución espacial y temporal de las islas de calor urbanas en una ciudad en rápido desarrollo, proporcionando un modelo para análisis similares en otros contextos urbanos. Desde un punto de vista práctico, estos resultados pueden servir de base para la planificación urbana y las decisiones políticas destinadas a mejorar la resiliencia de las ciudades al cambio climático. El estudio aboga por la implementación de iniciativas de ecologización urbana, como la creación de parques y corredores verdes, y la adopción de sistemas de drenaje sostenibles para mejorar la infiltración del

agua y reducir la escorrentía superficial. Estas estrategias no solo mitigan el efecto de isla de calor urbana, sino que también mejoran la habitabilidad urbana y los resultados de salud pública. Además, los conocimientos obtenidos de esta investigación pueden utilizarse para orientar el desarrollo de políticas de adaptación al clima a nivel municipal y regional, garantizando que el crecimiento urbano se ajuste a los objetivos de sostenibilidad medioambiental. Las investigaciones futuras deberían centrarse en explorar la eficacia de estrategias de mitigación específicas para reducir el efecto de isla de calor urbana y mejorar la resiliencia climática urbana. Los estudios longitudinales que supervisan el impacto de las infraestructuras verdes y las intervenciones de gestión del agua a lo largo del tiempo proporcionarían información valiosa sobre sus beneficios a largo plazo y servirían de base para prácticas de planificación urbana adaptativas. Además, ampliar el alcance de la investigación para incluir factores socioeconómicos y demográficos mejoraría nuestra comprensión de los diferentes impactos del cambio climático en diversas poblaciones urbanas, lo que orientaría las intervenciones específicas para proteger a las comunidades vulnerables.

IV.

IV. Vulnerabilidad de la población ante la infestación generalizada del *Aedes aegypti* en Guadalajara y Zapopan: Implicaciones para las estrategias de prevención del dengue

Las Enfermedades Transmitidas por Vectores (ETV) representan un importante problema de salud pública en México. Los mosquitos vectores del virus del dengue son extremadamente sensibles al cambio climático (Hay, et al., 2000). Se estima que cerca de 60% del territorio nacional presenta condiciones que favorecen la transmisión de las ETV, en donde residen más de 50 millones de personas y se localiza la mayor parte de los centros agrícolas, ganaderos, industriales, pesqueros, petroleros y turísticos, de importancia para el país.

Dentro de las ETVs, la más importante en México es el dengue, este se encuentra asociado al ambiente urbano doméstico, a los hábitos de la población y a la carencia de servicios básicos como el suministro de agua, así como la falta de recolección de basura y desechos de la vivienda (SSA, 2008).

El dengue afecta actualmente a 112 países en los que se presentan más de 100 millones de casos de dengue clásico y medio millón de casos de fiebre hemorrágica, con varios miles de defunciones anuales (Gubler, 1998; Kuno & Gubler, 1997; Malavice & Seneviratne, 2004).

En el continente americano el dengue se considera la enfermedad re-emergente más importante y sus formas hemorrágicas son cada vez de mayor relevancia, especialmente debida al aumento progresivo en el número de defunciones (Pinheiro & Corber, 1997). Las altas tasas de morbilidad y mortalidad, son capaces de bloquear las actividades económicas de ciudades y países y colapsar los servicios de salud de cualquier región cuando se presentan epide-

mias de fiebre hemorrágica por esta enfermedad. (Pinheiro & Corber , 1997; Ibáñez-Bernal & Gómez-Dantés , 1995; SSA, 2008)

El mosquito transmisor del dengue, *Aedes aegypti*, es un ejemplo de adaptación de una especie al ámbito humano, con criaderos, hábitats, fuente de alimentación y desplazamiento activos y pasivos ligados al entorno domiciliario (Ibáñez-Bernal & Gómez-Dantés , 1995) (SSA, 2008). El Dengue es una prioridad de salud pública nacional, debido a los efectos sociales y económicos inmediatos que puede ocasionar, por los daños a la salud en grandes grupos de población expuesta y, entre otras razones, por el exceso en la demanda de consulta y los costos de atención que conlleva la prestación de los servicios para las instituciones, las familias y la comunidad (SSA, 2008).

La Zona Metropolitana de Guadalajara (ZMG), pese a ser una de las concentraciones humanas más importantes del Occidente de México, carece de bases de información que permita evaluar los cambios y tendencias que presentan los factores relacionados con la salud del ambiente y los efectos que estos tienen en la salud de la población. Actualmente la información disponible acerca del ambiente y la salud, se encuentra disgregada, o bien es discontinua, escasa y no está ordenada a una misma escala a través del tiempo para que pueda ser comparada y de cuenta de la verdadera dimensión de los problemas de salud ambiental en la ZMG.

Los datos relacionados con la información del ambiente y la salud son de acceso complicado y no son del todo comprensibles para los grupos que se encuentran involucrados en los estudios de salud-ambiente. Además, la información útil no está suficientemente sistematizada para la toma de decisiones. Por lo que es fundamental disponer de información fidedigna y sistemática para hacer una mejor toma de decisiones y que a su vez las instituciones puedan mejorar su desempeño.

A partir del análisis de la tendencia que ha mostrado el clima de la ZMG desde 1961 hasta el año 2010, dicha tendencia, facilitara la comprensión sobre el efecto que el clima tiene sobre la fenología del mosquito vector del dengue *Aedes aegypti* y su establecimiento en dicho territorio.

IV.1. Fenología del vector del dengue

Son insectos de metamorfosis completa (holometábola). Durante su desarrollo ontogénico pasan por los estados de huevo, larva, pupa y adulto. Sus hábitos son de tipo antropófilos y domésticos, con radicación de criaderos en la vivienda o su peridomicilio (jardines, construcciones anexas a la casa, patios, etc.) Depósitos de agua, ubicados en objetos o construcciones, como neumáticos, baterías viejas, recipientes de todo tipo, botellas, floreros y piletas, entre otros, le sirven a *A. aegypti* para establecer sus criaderos en agua limpia, con bajo carga de materia orgánica y de sales disueltas, mediante la puesta de huevos en la superficie del recipiente a la altura de la interface agua-aire (Haro Castillo, 2013; Salvatella, 2005).

IV.1.1 Huevo

Mide aproximadamente 1 milímetro de longitud, en forma de cigarro, son más limpios que los huevos de la mayoría de las especies que se crían en recipientes. En el momento de postura son blancos, pero muy rápidamente adquieren un color negro brillante. Son fecundados durante la postura y el desarrollo embrionario se completa en 48 horas si el ambiente es húmedo y cálido, pero puede prolongarse hasta cinco días con temperaturas más baja. Eclosionan en un lapso de 2 a 3 días. Con posterioridad a ese periodo, los huevos son capaces de resistir desecación y temperaturas extremas con sobrevividas de 7 meses a un año. Una vez completado el desarrollo embrionario, un porcentaje reducido de huevos pueden resistir largos periodos de desecación, y pueden prolongarse por más de un año en algunas ocasiones.

La capacidad de resistencia a la desecación es uno de los principales obstáculos para el control del mosquito y ésta condición, además, permite transportarlos a grandes distancias en recipientes secos (Salvatella, 2005).

IV.1.2 Larva

Las larvas que emergen inician un ciclo de 4 estadios larvales, son exclusivamente acuáticas y como la mayoría de los insectos holometábolos la fase larval es el período de mayor alimentación y crecimiento. Pasan la mayor parte del tiempo alimentándose de material orgánico sumergido o acumulado

en las paredes y el fondo del recipiente, para lo cual utilizan las cerdas bucales en forma de abanico. Se asemejan a otras larvas de mosquitos por la cabeza y el tórax ovoide y el abdomen de 9 segmentos.

La duración del desarrollo larval depende de la temperatura, la disponibilidad de alimentos y la densidad de larvas en el recipiente. En condiciones óptimas, con temperaturas de 25 a 29°C el período desde la eclosión hasta la pupación puede ser de 5 a 7 días, pero comúnmente dura de 7 a 14 días. Los tres primeros estadios se desarrollan rápidamente, mientras que el cuarto demora más tiempo con mayor aumento de tamaño y peso.

En condiciones rigurosas (baja temperatura, escasez del alimento) el cuarto estadio larval puede prolongarse por varias semanas, hasta 7 meses, previo a su transformación en pupa. Son incapaces de resistir temperaturas inferiores a 10°C, superiores a 45°C, impidiéndose a menos de 13°C su pasaje a estadio pupal (Haro Castillo, 2013; Hopp & Foley, 2001).

Las larvas de *Aedes aegypti* pueden diferenciarse a simple vista de las larvas de otras especies por su sifón más corto que el de la mayoría de los otros culícidos.

IV.1.3 Pupa

Las pupas no se alimentan, presentan un estado de reposo donde se producen importantes modificaciones anatómico-fisiológicas hasta la aparición de los adultos. Reaccionan inmediatamente a estímulos externos tales como vibración y se desplazan activamente por todo el recipiente. Se mantienen en la superficie del agua debido a su flotabilidad y ésta propiedad facilita la emergencia del insecto adulto.

El período pupal dura de 1 a 3 días en condiciones favorables, con temperaturas entre 28 y 32°C. Las variaciones extremas de temperatura pueden dilatar este período. La pupa tiene en la base del tórax un par de tubos respiratorios o trompetas que atraviesan la superficie del agua y permiten la respiración. En la base del abdomen poseen un par de remos, paletas o aletas natatorias que sirven para el nadar.

IV.1.4. Adulto.

Al emerger de la pupa, el insecto adulto permanece en reposo permitiendo el endurecimiento del exoesqueleto y las alas. Dentro de las 24 horas siguientes a la emergencia pueden aparearse iniciándose la etapa reproductora del insecto. Los mosquitos hembras son los únicos que se alimentan de sangre, ya que es una fuente necesaria de proteína para el desarrollo de los huevos. Generalmente, después de cada alimentación sanguínea se desarrolla un lote de huevos, pero si el mosquito es perturbado antes de estar completamente lleno de sangre puede alimentarse con sangre más de una vez entre cada postura. Si una hembra completa su alimentación (2 o 3 mg de sangre) desarrollará y pondrá aproximadamente 200 huevos, dispersos en distintos lugares. La hembra tiende a depositar sus huevos en varios lugares y no en un solo lugar. Hay un umbral de distensión del estómago que estimula el desarrollo de los ovarios, por eso el período entre alimentación sanguínea y postura es de 3 días en condiciones óptimas de temperatura; la hembra puede alimentarse de sangre nuevamente el mismo día que pone el huevo.

La oviposición generalmente, se produce hacia el final de la tarde, la hembra grávida es atraída hacia recipientes oscuros o sombreados con paredes duras, sobre las que deposita sus huevos y prefiere aguas relativamente limpias con poco contenido de materia orgánica. Los huevos son pegados a las paredes del recipiente en la zona húmeda a pocos mm de la superficie del agua. La distribución de los huevos en varios recipientes asegura la viabilidad de la especie. La posición de los huevos a pocos mm de la superficie del agua permite que éstos maduren, y en la próxima lluvia, al subir el nivel de agua del recipiente, los huevos eclosionan en el momento de contacto con el líquido.

El macho se distingue de la hembra por sus antenas plumosas y sus palpos más largos. Sus partes bucales no están adaptadas para chupar sangre, procuran su alimento de carbohidratos como el néctar de las plantas.

Es crucial destacar que el ciclo de vida completo del *A. aegypti*, desde el huevo hasta convertirse en adulto, se lleva a cabo en un período de 10 días bajo condiciones óptimas de temperatura y alimentación.

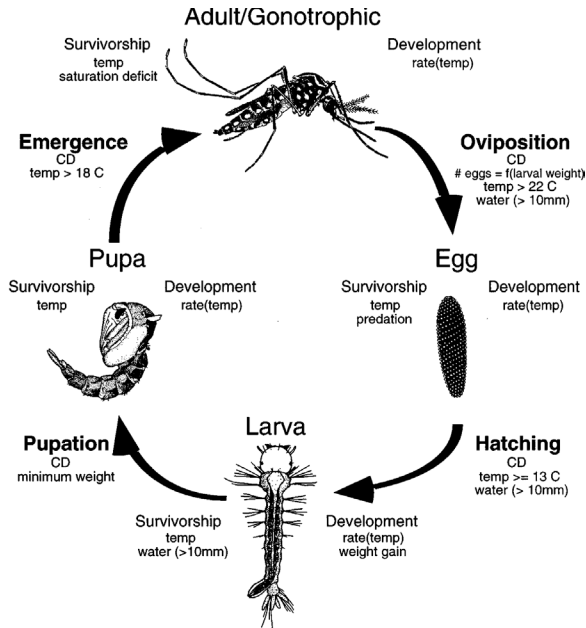


Fig. 27. Ciclo de vida del mosquito *Aedes Aegypti*. Fuente: (Hopp & Foley, 2001).

IV.2. Serotipos del virus del dengue

Los virus del dengue han sido agrupados en cuatro serotipos: DENV-1, DENV-2, DENV-3 y DENV-4. Cada serotipo crea inmunidad específica a largo plazo contra el mismo serotipo (homólogo), así como una inmunidad cruzada de corto plazo contra los otros tres serotipos, la cual puede durar varios meses. Los cuatro serotipos son capaces de producir infección asintomática, enfermedad febril y cuadros severos que pueden conducir hasta la muerte. Los serotipos DENV-1 y DENV-2 fueron aislados inicialmente en 1944, mientras que el DENV-3 y el DENV-4 se aislaron en 1957, todos en humanos (Haro Castillo, 2013):

- DENV-1: Caribe, Centro América, México, sur de EUA, Colombia, Nigeria, Senegal, India, Bangladesh, Filipinas y Australia.
- DENV-2: Caribe, México, Venezuela, Colombia, Senegal, Kenia, Nigeria, India, Bangladesh y Filipinas.

- DENV-3: India, Bangladesh, Filipinas, Pakistán, Sri Lanka, México. Centro América y Australia.
- DENV-4: SE de Asia, Sri Lanka, India, China, Centro América, Surinam, México, Colombia.

Sin embargo, debido a las facilidades que existen hoy en día para viajar, así como el movimiento migratorio alrededor del mundo, la distribución geográfica de este virus se ve modificada continuamente. En nuestro país, el serotipo que predomina es el DENV-2, aunque los cuatro serotipos han estado presentes en algún momento. (CENAVESE, 2012)

IV.2.1. Serotipos circulantes en México

De acuerdo a la fenología del mosquito, para que las poblaciones de *Aedes aegypti* se establezcan en un lugar es necesario (Salvatella, 2005):

- La presencia de cuerpos de agua lenticos relativamente pequeños y no contaminados con permanencia tal que permita completar su ciclo de vida.
- Una fuente alimentaria sanguínea para las hembras grávidas.
- Poblaciones de otros organismos en densidades que no impacten negativamente a la población de este mosquito.
- Una temperatura media mayor a los 16.9 °C.

México es un país ubicado en las regiones tropicales y subtropicales, lo que significa que su clima posee características ideales para la aparición y desarrollo de enfermedades transmitidas por vectores, especialmente el mosquito *Aedes aegypti*. De hecho, las áreas costeras de México se han transformado en regiones donde el dengue es endémico (Tabla 8).

Tabla 8. Serotipos circulantes en México, 1995-2002. Fuente: Haro Castillo, 2013.

[illegible]

No obstante, el área metropolitana de Guadalajara se encuentra en un altiplano del antiguo volcán conocido como Valle de Atemajac, con una altitud superior a los 1500 metros sobre el nivel del mar. Estas condiciones topográficas generan variaciones de temperatura que no son del todo favorables para la presencia de este mosquito. A pesar de las condiciones desfavorables de la región, durante los meses de abril y mayo de 2025, Jalisco, especialmente los municipios de Guadalajara y Zapopan, registraron las tasas más elevadas de morbilidad y mortalidad debido al dengue y su variante hemorrágica. Este año por primera vez se han registrado los 4 serotipos del dengue en Jalisco. En realidad, desde el año 2008, Jalisco se sitúa en los primeros puestos de la lista de estados con elevadas tasas de morbilidad y mortalidad provocadas por el dengue. Esta situación está influenciada por una acelerada intensificación de la isla de calor urbano, que se ha extendido debido a una urbanización caótica y excesiva. En otras palabras, las tasas de construcción superan las de demanda y compra de nuevos departamentos y viviendas. El incremento de la temperatura debido a cambios en el clima local se agrava con el aumento de temperatura causado por el calentamiento global, lo que intensifica el problema del calor a nivel local y regional. El calentamiento global de la Tierra no solo provoca un incremento en la temperatura, sino que también causa que los fenómenos climáticos extremos ocurran con más frecuencia. Entre estos fenómenos destacan las lluvias, tormentas e inundaciones cada vez más intensas y frecuentes en algunas áreas. (Patz J.A., 2002). El agua de lluvia se recoge en una amplia gama de contenedores expuestos, especialmente en aquellos que son desechos no correctamente eliminados, como huecos en el pavimento o en el suelo, floreros en cementerios e incluso en huecos de árboles, axilas de hojas, cáscaras de fruta, entre otros. Esto hace que las zonas más relevantes sean aquellas con mayor cantidad de precipitaciones.

De 1994 a la fecha se ha realizado el seguimiento de los movimientos virales del dengue por serotipos. La presencia de los diversos serotipos de Dengue en el país incrementa el riesgo a padecer esta enfermedad (CENAVESE, 2012). Para abordar esta hipótesis, se realizó un estudio de campo exhaustivo, coincidiendo con el pico de incidencia del dengue en Jalisco (Haro Castillo, 2013). Con estos fines se recogieron muestras de agua de múltiples hogares en Guadalajara y Zapopan, lo que reveló la presencia de *Aedes aegypti* en un 100% de hogares revisados. Este hallazgo pone de relieve la naturaleza

omnipresente de la reproducción de los mosquitos y subraya la urgente necesidad de adoptar medidas eficaces de control de los vectores. Nuestro estudio también identificó una falta de cultura preventiva entre la población, como lo demuestra el uso generalizado de recipientes de agua abiertos y la ausencia de prácticas rutinarias de fumigación. Los resultados clave de nuestro estudio indican la necesidad crítica de implementar pruebas serológicas rápidas y rentables para identificar y aislar a las personas infectadas, evitando así una mayor transmisión. Estos hallazgos subrayan la importancia de integrar la gestión ambiental con las estrategias de salud pública para combatir el dengue en entornos urbanos.

En conclusión, esta investigación proporciona información valiosa sobre la compleja interacción de los factores ambientales y socioeconómicos que impulsan la transmisión del dengue en las zonas urbanas de gran altitud. Al abordar la laguna de investigación identificada, este estudio contribuye al desarrollo de intervenciones específicas y mejora nuestra comprensión de las implicaciones más amplias de la urbanización y el cambio climático en las enfermedades transmitidas por vectores.

IV.2. Metodología y datos

El estudio se llevó a cabo en el área metropolitana de Guadalajara, Jalisco (México). La ubicación geográfica de Guadalajara, a una altitud de 1580 metros sobre el nivel del mar, presenta retos climáticos únicos que se desvían de las condiciones óptimas que suelen requerirse para la proliferación del *Aedes aegypti*, el principal vector de los virus del dengue, el zika y el chikunguña. A pesar de ello, la rápida urbanización de la ciudad y la consiguiente expansión de las islas de calor urbanas, agravadas por el aumento de las temperaturas inducido por el cambio climático, han creado inadvertidamente condiciones favorables para el desarrollo de los mosquitos.

Los participantes en este estudio fueron hogares residenciales de diferentes barrios de Guadalajara y Zapopan. Los criterios de selección se enfocaron en representar una diversidad de entornos socioeconómicos, poniendo especial

énfasis en áreas con acceso variable al agua potable y distintos niveles de desarrollo urbano. Los hogares fueron seleccionados al azar para asegurar una cobertura completa del área metropolitana. Las características inherentes de los sujetos del estudio incluían su ubicación geográfica y situación socioeconómica, mientras que las características modificadas se referían a su acceso a instalaciones de almacenamiento de agua y a las medidas preventivas contra la reproducción de mosquitos.

La recopilación de datos consistió en un muestreo sistemático de las fuentes de agua en los hogares seleccionados, cubriendo contenedores abiertos, tanques y otras unidades de almacenamiento de agua doméstica. Estas muestras fueron analizadas para detectar la presencia de huevos y larvas de *Aedes aegypti*. Entre los factores ambientales considerados durante la recolección de datos estaban la temperatura ambiente, los niveles de humedad, y la presencia de suelos impermeables que provocan charcos durante las lluvias intensas. El diseño del estudio incorporó tanto grupos de control como grupos experimentales, estos últimos consistentes en hogares que aplicaban medidas preventivas, como cubrir los recipientes o usar cloro, mientras que los grupos de control no implementaban tales intervenciones.

La metodología empleada incluyó varios pasos cruciales para asegurar la precisión en la recolección y análisis de datos. Se llevaron a cabo visitas iniciales al lugar para evaluar las condiciones ambientales e identificar posibles criaderos de mosquitos. Las muestras de agua fueron recogidas utilizando recipientes estériles, garantizando así la ausencia de contaminación cruzada. Las muestras se transportaron al laboratorio para ser examinadas microscópicamente, donde los huevos y larvas fueron identificados y contados usando un microscopio estereoscópico calibrado con un rango de aumento de 10x a 40x. Para la identificación del *Aedes aegypti*, se compararon las características morfológicas con claves entomológicas estándar. Además, se registraron datos ambientales como temperatura y humedad, usando higrómetros y termómetros digitales colocados estratégicamente dentro del área de estudio. Un software de registro de datos se utilizó para mantener la precisión en la monitorización ambiental. Las medidas preventivas se evaluaron mediante encuestas a los residentes de los hogares, recopilando información sobre prácticas de almacenamiento de agua y conocimiento sobre la prevención de

la reproducción de mosquitos. Para ello, se usaron cuestionarios estructurados y entrevistas facilitadas por personal de campo capacitado.

Antes del análisis, los datos recopilados pasaron por un riguroso procesamiento para asegurar su fiabilidad. Los datos de las muestras de agua fueron limpiados para eliminar cualquier información irrelevante no relacionada con la presencia de mosquitos. Los datos ambientales se estandarizaron para considerar las variaciones en los tiempos y lugares de medición, asegurando la coherencia en todo el conjunto de datos.

El análisis de datos incluyó tanto enfoques cualitativos como cuantitativos. Se utilizaron estadísticas descriptivas para resumir la prevalencia del *Aedes aegypti* en diferentes hogares, mientras que se aplicaron estadísticas inferenciales, como pruebas de chi-cuadrado, para evaluar la correlación entre las medidas preventivas y la presencia de mosquitos. Se emplearon programas informáticos como SPSS y R para el análisis estadístico, proporcionando una comprensión sólida de los patrones de infestación de mosquitos y la eficacia de diversas estrategias preventivas. Esta metodología integral, caracterizada por una meticulosa recopilación de datos y un análisis riguroso, ofrece un marco replicable para futuros estudios destinados a enfrentar los desafíos que presentan las enfermedades transmitidas por vectores en entornos urbanos afectados por el cambio climático y las disparidades socioeconómicas.

IV.3. Resultados y su discusión

El presente estudio revela que la climatología de la zona conurbada de Guadalajara ha experimentado cambios, evidenciados por variaciones en las temperaturas y en el patrón de lluvias. En cuanto a las temperaturas, los hallazgos indican una tendencia al aumento en las temperaturas mínimas. Por otro lado, en lo referente a la precipitación, se ha observado una disminución en la duración de la temporada de lluvias, aunque su intensidad ha aumentado.

El aumento en los casos de dengue en el área de estudio se relaciona con el incremento de las temperaturas mínimas, dado que durante los periodos en que se han manifestado brotes de dengue, las condiciones de temperatura han sido propicias para el desarrollo de las cuatro fases del vector (Haro Castillo, 2013).

En lo que respecta a la precipitación, se ha identificado que ésta actúa como una covariable de la temperatura. No obstante, no se ha encontrado una relación directa que sugiera que un aumento en la precipitación conduzca a un mayor número de casos de dengue.

El examen exhaustivo de muestras de agua de múltiples hogares en Guadalajara y Zapopan arrojó hallazgos significativos sobre la prevalencia de los mosquitos *Aedes aegypti*, conocidos portadores de los virus del dengue, el zika y el chikunguña. En particular, la investigación reveló la presencia de huevos y larvas de *Aedes aegypti* en el 100 % de las residencias muestreadas, lo que subraya la naturaleza omnipresente de estos vectores en el área metropolitana. Esta infestación generalizada pone de relieve la urgente necesidad de medidas específicas de control de vectores y subraya las condiciones ambientales propicias para la proliferación de mosquitos en entornos urbanos. Los datos recopilados ponen de manifiesto la falta de medidas preventivas entre la población general, lo que agrava el riesgo de enfermedades transmitidas por vectores. A pesar de la disponibilidad de pruebas serológicas económicas y rápidas diseñadas para detectar a las personas infectadas, su aplicación sigue siendo insuficiente. Esta deficiencia en las medidas sanitarias proactivas se ve agravada por la ausencia de protocolos sistemáticos de aislamiento de las personas infectadas, que de otro modo mitigarían la propagación del dengue en las comunidades.

En resumen, los resultados demuestran que el área conurbada de Guadalajara está experimentando un desafío crítico de salud pública debido a la presencia ubicua de mosquitos *Aedes aegypti* y a la insuficiente aplicación de medidas preventivas. Estos hallazgos sugieren que es imperativo adoptar estrategias integrales, que incluyan una mejor educación de la comunidad y programas sólidos de control de vectores, para frenar la propagación del dengue y otras enfermedades transmitidas por vectores en esta región.

Además, la falta de conciencia cultural sobre el control de vectores y la implementación insuficiente de intervenciones comunitarias contribuyen a la presencia generalizada de vectores del dengue. Estos factores, junto con el aumento de las temperaturas como resultado de las islas de calor urbanas, crean un efecto sinérgico que potencia la proliferación de vectores y la transmisión de enfermedades. El análisis comparativo con estudios anteriores res-

palda la validez de estos hallazgos, en consonancia con investigaciones que destacan el papel de las islas de calor urbanas en la expansión de los hábitats de los mosquitos más allá de los límites geográficos tradicionales. Estudios realizados en entornos urbanos similares han demostrado que el aumento de las temperaturas puede compensar las limitaciones relacionadas con la altitud en el desarrollo de los mosquitos, facilitando el establecimiento de poblaciones de *Aedes aegypti*. Además, la presencia de fuentes de agua estancada en las zonas urbanas, tal y como se ha identificado en este estudio, es un factor bien documentado que contribuye a la reproducción de los mosquitos y a la transmisión de enfermedades. Estos paralelismos refuerzan la necesidad de intervenciones específicas que aborden tanto los determinantes ambientales como los socioeconómicos de la proliferación de las enfermedades transmitidas por vectores.

Por el contrario, algunos estudios han sugerido que las altitudes más elevadas y las temperaturas más frías deberían limitar de forma inherente las poblaciones de *Aedes aegypti*, lo que pone en duda los resultados de este estudio. Sin embargo, las discrepancias pueden atribuirse a las condiciones ambientales localizadas y a las actividades humanas que crean micro hábitats favorables al desarrollo de los mosquitos. La novedad de este estudio radica en la identificación de estos micro entornos en un ambiente urbano de gran altitud, lo que amplía la comprensión de la ecología de los vectores en el contexto del cambio climático y la urbanización. Esta investigación contribuye al creciente conjunto de pruebas que enfatizan la necesidad de estrategias de salud pública adaptativas que tengan en cuenta los factores ambientales y socioeconómicos locales en los esfuerzos de control de enfermedades. A pesar de la solidez de los hallazgos, hay que reconocer ciertas limitaciones. El alcance del estudio se limita geográficamente al área conurbada de Guadalajara y Zapopan, lo que podría limitar la generalización de los resultados a otras regiones con condiciones ambientales y socioeconómicas diferentes. Además, el hecho de basarse en encuestas domiciliarias para la recopilación de datos puede introducir sesgos relacionados con los métodos de auto informe y muestreo. Las investigaciones futuras deberían tener como objetivo ampliar el alcance geográfico y emplear técnicas de recopilación de datos más exhaustivas para mejorar la validez y la aplicabilidad de los resultados.

IV.4. Conclusiones

En resumen, nuestros resultados demuestran que el área conurbada de Guadalajara, a pesar de su altitud y condiciones climáticas, que normalmente se consideran inadecuadas para la proliferación del *Aedes aegypti*, se ha convertido en un entorno propicio para el desarrollo del mosquito y la consiguiente propagación de enfermedades transmitidas por vectores como el dengue. Esto se atribuye a factores como la urbanización intensiva, el efecto de isla de calor urbana y las prácticas humanas relacionadas con el almacenamiento de agua en recipientes domésticos, especialmente en zonas empobrecidas que carecen de servicios de agua adecuados. La presencia generalizada de larvas y huevos de *Aedes aegypti* en todos los hogares investigados subraya la necesidad crítica de mejorar las medidas preventivas y la educación de la comunidad para mitigar la propagación del dengue y otras enfermedades relacionadas. La importancia de estos hallazgos radica en su contribución a la comprensión de la dinámica de la proliferación de enfermedades transmitidas por vectores en entornos urbanos alterados por el cambio climático y factores socioeconómicos.

Al esclarecer la interacción entre las condiciones ambientales y los comportamientos humanos, este estudio avanza en el conocimiento sobre cómo se pueden adaptar las estrategias de planificación urbana y adaptación al clima para reducir el riesgo de transmisión de enfermedades. Además, la investigación destaca la importancia de integrar pruebas serológicas rápidas y protocolos de aislamiento en las iniciativas de salud pública para frenar la propagación de infecciones. En la práctica, estos hallazgos pueden servir de base para estrategias de salud pública y políticas de planificación urbana destinadas a controlar las poblaciones de mosquitos y reducir la incidencia de enfermedades. Los responsables políticos podrían considerar la posibilidad de poner en marcha programas educativos específicos para la comunidad con el fin de promover prácticas preventivas, como cubrir los recipientes de agua y utilizar repelentes de mosquitos. Además, los urbanistas podrían estudiar modificaciones en las infraestructuras para reducir la acumulación de agua y mejorar los sistemas de drenaje, minimizando así los lugares de reproducción de los mosquitos. Las investigaciones futuras deberían centrarse en estudios longitudinales para supervisar la eficacia de las estrategias aplicadas y explorar la

adaptación genética del *Aedes aegypti* a los entornos urbanos. Las investigaciones sobre las barreras socioeconómicas que impiden la prevención y el control eficaces de las enfermedades en las comunidades vulnerables podrían aportar información útil para intervenciones sanitarias más equitativas.

Además, los estudios interdisciplinarios que combinan climatología, planificación urbana y epidemiología podrían arrojar más luz sobre las complejas interacciones que impulsan la propagación de enfermedades transmitidas por vectores en regiones en rápida urbanización.

Bibliografía

- Abatzoglou, J., Williams, A., & Barbero, R. (2019). Global Emergence of Anthropogenic Climate Change in Fire Weather Indices. *Geophysical Research Letters*, 46(1), 326-336. doi:10.1029/2018gl080959
- Abram, N. J., Henley, B., Gupta, A., Lippmann, T., Clarke, H., Dowdy, A., . . . Boer, M. (2021). Connections of climate change and variability to large and extreme forest fires in southeast Australia. *Communications Earth & Environment*, 2(1), 8. doi:10.1038/s43247-020-00065-8
- Alamilla Chan, D. (2021). Confort Térmico en la zona metropolitana de Guadalajara y su relación con la morbilidad por las enfermedades cardiovasculares 2015-2020. *Tesis Profesional para obtener el grado de Maestro en Ciencias de la Salud Ambiental, Universidad de Guadalajara*. Guadalajara, Jalisco, México: Universidad de Guadalajara.
- Alexander, S., Calice, M. N., Scheufele, D., & Brossard, D. (2023). El impacto de las precipitaciones extremas y su variabilidad en las creencias sobre el cambio climático en el público estadounidense. *Weather, Climate and Society*, 15(4), 863-879. doi:10.1175/WCAS-D-23-0014.1
- Berge, T., Daugbjerg, N., Andersen, B., & Hansen, P. (2010). Effect of lowered pH on marine phytoplankton growth rates. *Marine Ecology Progress Series*(416), 79-91. doi:10.3354/meps08780
- Bocco, G., Orozco Ramírez, Q., Alvarez Larrain, A., Solís, B., & Dobler Morales, C. (2021). El estudio del impacto de la sequía en pequeñas comunidades rurales de México: Una revisión de la bibliografía. *Revista Bibliográfica de Geografía y Ciencias Sociales*, XXVI(1314), 1-20. Obtenido de <https://revistes.ub.edu/index.php/b3w/article/view/31766>
- Canadell, J., Monteiro, P., Costa, M., Cotrim da Cunha, L., Cox, P., Eliseev, A., . . . Zickfeld, K. (2021). Global Carbon and other Biogeochemical Cycles and Feedbacks. In *Climate Change 2021*. En V. Masson-Delmotte, P. Zhai, A. Pirani, S. Connors, C. Péan, S. Berger, . . .

- B. Zhou (Edits.), *The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (págs. 673–816). Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press. doi:10.1017/9781009157896.007
- Castillo Rodríguez, F. (2017). Los fenómenos pluviométricos extremos en el escenario de cambio climático antropogénico en Galicia. Gestión de la incertidumbre. *SÉMATA*, 29, 91-116.
- CCACC-UNAM. (26 de 10 de 2025). *Escenarios de cambio climático regionalizados CORDEX, AR6, IPCC*. Obtenido de Atlas Climático Digital de México: <https://atlasclimatico.unam.mx/ar6/visualizador>
- CENAVESE. (02 de 2012). *DENGUE*. Recuperado el 02 de 2012, de SERO-TIPOS: <http://www.cenave.gob.mx/dengue/default.asp?id=13>
- Chan, D., & Davydova Belitskaya, V. (2020). Isla de calor y confort térmico en la Zona Metropolitana de Guadalajara. En *La Gestión Climática en Jalisco* (págs. 157-175). Guadalajara, Jalisco: Universidad de Guadalajara.
- Davydova Belitskaya, V., Skiba, Y. N., Bulgakov, S. N., & Martínez Z., A. (1999). Modelación Matemática de los Niveles de Contaminación en la Ciudad de Guadalajara, Jalisco, México. Parte I. Microclima y Monitoreo de la Contaminación. *Revista Internacional De Contaminación Ambiental*, 15(2), 103-111. Obtenido de <https://www.revistas-cca.unam.mx/rica/index.php/rica/article/view/32792>
- Davydova Belitskaya, V. (2020). Clima, Cambio Climático y sus Perspectivas en Jalisco. En V. Davydova Belitskaya (Ed.), *La Gestión Climática en Jalisco* (Primera ed., págs. 33-52). Guadalajara, Jalisco, México: Universidad de Guadalajara.
- Davydova Belitskaya, V. (2024). *Futuro Incierto del Clima en Jalisco* (Primera ed.). Guadalajara, Jalisco, México: Universidad de Guadalajara.
- Davydova Belitskaya, V., & Skiba, Y. N. (1999). Climate of Guadalajara City, Mexico, Its Variation and Change within Latest 120 Years. *World Resource Review*, 11(2), 258-270.

- Davydova Belitskaya, V., Sánchez Torres, P., Orozco Medina, M. G., Figueroa Montaña, A., & García Velasco, J. (2019). Confort térmico al interior del transporte público de la zona metropolitana de Guadalajara, Jalisco, México. *Rev. salud ambient.*, 19(2), 125-135. Obtenido de <https://ojs.diffundit.com/index.php/rsa/article/view/949/949>
- Delgado, S., Medina, E., & Herrera, N. (18 de 03 de 2025). *Deshielo glaciar, último llamado a la acción*. Obtenido de UNAM Global TV: <https://youtu.be/goLOzNs6HG8>
- Dutton, J. (01 de 09 de 2021). *¿Qué es la Oscilación Decadal del Pacífico (PDO)?* Obtenido de World Climate Service: <https://www.worldclimateservice.com/2021/09/01/pacific-decadal-oscillation/>
- FIC (Fundación para la Investigación del Clima). (5 de 5 de 2021). *CMIP6: Actualización de las proyecciones globales y aplicaciones en servicios climáticos*. Obtenido de youtube.com: https://youtu.be/Js_sR7LBra4
- Garibay-Chávez, M. G., & Curiel-Ballesteros, A. (2021). Demandas al sector salud ante las manifestaciones del cambio climático en Jalisco. *Revista Bío Ciencias*, 8, e884. doi:10.15741/revbio.08.e884
- Government of Canada. (3 de Octubre de 2023). *CMIP6 and Shared Socio-economic Pathways overview*. Obtenido de Government of Canada: <https://climate-scenarios.canada.ca/?page=cmip6-overview-notes>
- Government of Canada. (03 de 10 de 2023). *Descripción general del CMIP6 y las vías socioeconómicas compartidas*. Obtenido de Government of Canada: <https://climate-scenarios.canada.ca/?page=cmip6-overview-notes>
- Gubler, D. (1998). Human Arbovirus Infections Worldwide. *Emerg Infect Dis*(4), 442-450.
- Haro Castillo, B. E. (2013). MORBILIDAD Y MORTALIDAD POR DENGUE, ASOCIADA A EVENTOS DE LLUVIAS INTENSAS E INUNDACIONES EN LA ZONA METROPOLITANA DE GUADALAJARA. Guadalajara, Jalisco, México: Universidad de Guadalajara.

- Hartmann, D. L. (2016). Chapter 1 - Introduction to the Climate System. En D. L. Hartmann, *Global Physical Climatology* (Second ed., págs. 1-23). Elsevier Science. doi:10.1016/C2009-0-00030-0
- Hay, S. I., Myers, M. F., Burke, D. S., Vaughn, D. W., Anandai, N., Shanks, D. C., . . . Rogers, D. J. (2000). Etiology of interepidemic periods of mosquito-borne disease. *PNAS*, 97(16).
- Herrera, E., Magaña, V., & Morett, S. (2018). Relación entre eventos extremos de precipitación con inundaciones. Estudio de caso: Tulancingo, Hidalgo. *Nova scientia*, 10(21), 191-206. doi:10.21640/ns.v10i21.1527
- Hopp, M. J., & Foley, J. A. (2001). GLOBAL-SCALE RELATIONSHIPS BETWEEN CLIMATE AND THE DENGUE FEVER VECTOR, Aedes Aegypti. *Climatic Change*(48), 441-463.
- Ibáñez-Bernal, S., & Gómez-Dantés, H. (1995). *Salud Pub Méx*(37), S53-S63.
- IPCC (Intergovernmental Panel Of Climate Change). (2023). *AR6 Synthesis Report: Climate Change 2023*. Obtenido de IPCC.ch: <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-cycle/>
- IPCC. (2023). *Cambio Climático 2023: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de Trabajo I, II y III al sexto Informe de Evaluación del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático*. (H. H. Lee, & J. Romero, Edits.) Ginebra, Suiza: IPCC. doi:10.59327/IPCC/AR6-9789291691647
- Kuno, G., & Gubler, D. (1997). Dengue and dengue hemorrhagic fever. *Wallingford: CAB International*, 1-22 pp.
- L'Heureux, M. (5 de 5 de 2014). *¿Qué es El Niño-Oscilación del Sur (ENOS) en pocas palabras?* (NOAA, Ed.) Obtenido de Clima .gov: <https://www.climate.gov/news-features/blogs/enso/what-el-nino-southern-oscillation-enso-nutshell>
- Lira, A. (2018). *¿Qué son los componentes climáticos? Unidades de Apoyo para el Aprendizaje*. Recuperado el 30 de 11 de 2025, de CUAED/ Facultad de Arquitectura-UNAM: https://uapa.cuaed.unam.mx/sites/default/files/minisite/static/6521e5ca-c8bd-4fd7-81d8-b9fb7c-de8403/Componentes_Climaticos/index.html

- López García, A. R. (2018). Modelación espacial del riesgo por calor extremo en el Área Metropolitana de Guadalajara, México. *Revista Iberoamericana de Ciencias* , 5(5), 52-63. Obtenido de <https://www.reibci.org/publicados/2018/oct/3100104.pdf>
- Malavige, G., Fernando , S., Fernando , D., & Seneviratne , S. (2004). Dengue viral infections. *Postgrad Med J*(80), 588-601.
- Martínez-Abarca, R. (12 de Mayo de 2020). *Calentamiento global: su existencia en el pasado de la Tierra*. Obtenido de Planteando.org: <https://planeteando.org/2020/05/12/calentamiento-global-su-existencia-en-el-pasado-de-la-tierra/>
- Méndez González, J., Ramírez Leyva, A., Cornejo Oviedo, E., Zárate Lupericio, A., & Cavazos Pérez, T. (2010). Teleconexiones de la Oscilación Decadal del Pacífico (PDO). *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*(73), 57-70.
- Ortega Gaucin, D., De la Cruz Bartolón, J., & Castellano Bahena, H. V. (2018). Peligro, vulnerabilidad y riesgo por sequía en el contexto del cambio climático en México. En *Agua y Cambio Climático* (págs. 79-103). Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.12013/2192>
- Ortega-Marín, B. A., & González-Rosa, A. (2024). La sequía en el suelo mexicano y la amenaza a la seguridad alimentaria: opciones viables para afrontarlas. *Innovare Revista De Ciencia Y tecnología*, 13(2), 1-3. doi:10.69845/innovare.v13i2.368
- Patz J.A., K. R. (2002). Hotspots in climate change and human health. *BMJ*(325), 1094-1098.
- Pavia, E. G., Graef, f., & Reyes, J. (2006). PDO-ENSO effects in climate of Mexico. *J. Climate*(19), 6433-6438.
- Peralta, H. A. (2009). Comparative analysis of indices of extreme rainfall events: variations and trends from southern Mexico. *Atmósfera*, 22(2), 219-228.
- Pinheiro , F., & Corber , S. (1997). Global situation of dengue and dengue haemorrhagic fever, and its emergence in the Americas. *World Health StatQ*(50), 161-169.

- Redacción National Geographic. (26 de Octubre de 2023). *Qué es la escala de vientos de huracanes de Saffir-Simpson y cuáles son sus 5 niveles*. Obtenido de National Geographical: <https://www.nationalgeographic.com/medio-ambiente/2023/10/que-es-la-escala-de-vientos-de-huracanes-de-saffir-simpson-y-cuales-son-sus-5-niveles>
- Rojas-Higuera, P. J., & Pabón-Caicedo, J. D. (2015). Sobre el calentamiento y la acidificación del océano mundial y su posible expresión en el medio marino costero colombiano. *Rev. Acad. Colomb. Cienc. Ex. Fis. Nat.*, 39(151), 201-217. doi:10.18257/raccefyn.135
- Ruiz-García, P., Monterroso-Rivas, A., G., S.-T., Vargas-Castilleja, R., Báez-Vásquez, J., & Conde-Álvarez, A. (2022). *Breve Guía para la Selección, Descarga y Aplicación de Escenarios de Cambio Climático para México. De acuerdo con los últimos escenarios del IPCC*. UACH-UNAM-BUAP-UAT-ISF-México, A.C. Obtenido de <http://cirenam.chapingo.mx/cambio-climatico/folletos/>
- Salinas Prieto, J. A., Maya Magaña, M. E., Hernández Martínez, C., & Montero Martínez, M. J. (10 de Diciembre de 2020). *Evaluación de modelos atmosféricos globales del experimento CMIP6 para México : línea de investigación 6. Cuantificación de impactos de eventos extremos y cambio climático : TH-2014.1*. Obtenido de repositorio.imta.mx: <http://repositorio.imta.mx/bitstream/handle/20.500.12013/2415/TH-2014.1.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Salvatella, A. (2005). *Aedes aegypti, el vector del dengue y la fiebre amarilla*. Recuperado el Mayo de 2012, de *Aedes aegypti* (Linnaeus, 1762) (Diptera, Culicidae): <http://www.higiene.edu.uy/dengue.htm>
- Sánchez González, D. (2011). PRECIPITACIONES EXTREMAS Y SUS IMPLICACIONES EN PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA EN LA PLANIFICACIÓN URBANA DE TAMPICO, MÉXICO. *Cuadernos Geográficos*, 48(1), 135-159.
- Sánchez-Santillán, N., Signoret-Poillon, M., & Garduño-López, R. (2006). La Oscilación del Atlántico Norte: un fenómeno que incide en la variab-

- ilidad climática de México. *INGENIERÍA Investigación y Tecnología VII. 2. xx-xx, 2006, VII(2)*, 85-95. Obtenido de <https://www.scielo.org.mx/pdf/iit/v7n2/v7n2a02.pdf>
- SEMADET. (2019). Dirección de gestión transversal ante el cambio climático. Secretaría de medio ambiente y desarrollo territorial del estado de Jalisco. Recuperado el 23 de 12 de 2019, de https://semadet.jalisco.gob.mx/sites/semadet.jalisco.gob.mx/files/cambio_climatico_0.pdf
- SIEMENS. (2024). *Cambio Climático: Modelos Climáticos*. Obtenido de CREA: Recursos Educativos Abiertos para la enseñanza STEM: <https://crea-portaldemedios.siemens-stiftung.org/cambio-climatico-modelos-climaticos-103960>
- SSA. (2008). *PROGRAMA DE ACCION ESPECIFICO 2007-2012 DENGUE*. MEXICO, DF.: SECRETARIA DE SALUD SSA.
- UNESCO (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization). (2024). *Sexto Informe de Evaluación. Resumen para docentes basado en el Sexto Informe de Evaluación del IPCC*. Paris: UNESCO-Office for Climate Education. Obtenido de https://crea-portaldemedios.siemens-stiftung.org/informe-ar6-del-ipcc-resumen-para-docentes-03958?gad_source=1&gad_campaignid=22440392384&gbraid=0AAAAADq14nDC0WQ-VoSDY1td4doUheLN2o&gclid=Cj0KCQiAuvTJBhCwARIsAL6Demh1J8mqspXOS2nfbVyanwUZnItiEiOh42wUo6bSRMIe
- Velasco, I., Ochoa, L., & Gutierrez, C. (2005). Sequía, un problema de perspectiva y gestión. *REGIÓN Y SOCIEDAD, XVII(34)*, 35-71. Obtenido de <https://www.scielo.org.mx/pdf/regsoc/v17n34/v17n34a2.pdf>
- Wang, D., Mohamad Hejazi, M., Cai, X., & Valocchi, A. J. (2011). Climate change impact on meteorological, agricultural, and hydrological drought in central Illinois 47, W09527, doi:10.1029/2010WR009845. *Water Resour. Res.*, 47, W09527. doi:10.1029/2010WR009845
- WCRP (World Climate Research Programm). (17 de Octubre de 2022). *Una breve introducción a los modelos climáticos - CMIP y CMIP6*. Ob-

tenido de World Climate research Programm: <https://www.wcrp-climate.org/wgcm-cmip/cmip-video>

WGI-IPCC (Work Group I-Intergubernamental Panel of Climate Change). (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. The Working Group I contribution to the Sixth Assessment Report addresses the most up-to-date physical understanding of the climate system and climate change, bringing together the latest advances in climat.* Obtenido de ipcc.ch: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>

Zhang, H. F., Mu, X., Meng, F., Zheng, E., Dong, F., & Li, T. (2024). Aumento futuro de las precipitaciones extremas: análisis de datos históricos y factores influyentes. *Sustainability*, 16(22), 9887. doi:10.3390/su16229887

Se terminó de imprimir en febrero 2026 en los
Talleres Gráficos de Prometeo Editores, S.A. de C.V.
Libertad 1457, Col. Americana, C.P. 44160, Guadalajara, Jalisco

La edición consta de 100 ejemplares

Impreso en México / *Printed in Mexico*

Está de más especificar que el cambio climático es uno de los retos más importantes que tenemos en este momento, incluso en la coyuntura mundial actual. Este libro recaba información sobre cambio climático y la vulnerabilidad que tenemos las personas que habitamos el territorio administrativo denominado como Área Metropolitana de Guadalajara. Éste libro conforma una serie de documentos publicados por Valentina Davydova, quien se ha dedicado a estudiar, educar, discutir y difundir la ciencia climática en México y en Jalisco, uno de los estados con mayores vulnerabilidades en el país.

Valentina Davydova, no solo ha generado a lo largo de su carrera profesional información precisa para la toma de decisiones, sino que también se ha dedicado a formar a las juventudes desde la academia, de manera crítica y consciente, destacando la generación y difusión de información académica local que no se gesta por parte del gobierno u otro organismo.

Contar con ésta información resulta de utilidad, primero para comprender la dimensión del problema que enfrentamos desde nuestra ciudad, y después brinda esperanza para buscar alternativas al desarrollo que nos permitan, por un lado recuperar la estabilidad planetaria y por el otro, el bienestar de las personas y los ecosistemas en los que habitamos.

ISBN: 978-607-69257-6-8

