

El clima cambiante y los consumos domésticos de agua en ciudades de México

The changing climate and domestic water consumption in Mexican cities

Víctor Magaña,* Carlos Joel Ábrego Góngora** y Baldemar Méndez Antonio***

Recibido: 31/01/2024. Aceptado: 3/04/2024. Publicado: 17/06/2024.

Resumen. La provisión de suficiente agua potable para consumo doméstico en urbes mexicanas como Guadalajara, Monterrey o la Ciudad de México es un gran reto. Con una población que ha crecido significativamente desde la segunda mitad del siglo XX, las demandas de agua aumentan más rápido que la oferta. Los consumos urbanos de este recurso están determinados por factores socioeconómicos como la población, el nivel de ingresos, o la infraestructura hidráulica, pero también por condiciones climáticas. El acceso al agua en ciudades de México es desigual, pues tiende a consumir más quien más recursos económicos tiene. El clima también es importante en el consumo de agua, pues el factor temperatura máxima es un modulador de la demanda y su efecto es detectable en los periodos más cálidos del año, previo al inicio de la temporada de lluvias de verano. Lo anterior hace pensar que la formación de islas de calor urbanas (ICU) pudiera incrementar la demanda y los consumos de agua. Sin embargo, en grandes ciudades de México, estos consumos per cápita tienden a disminuir en décadas recientes porque la provisión de este recurso no aumenta al ritmo con que crece el número de usuarios. Así, el principal modulador climático de los consumos de agua es la sequía meteorológica, pues su ocurrencia da como resultado una baja disponibilidad de agua y, con frecuencia, sequía socioeconómica. Por lo tanto, una mejor gestión hí-

drica urbana debe incluir estrategias de uso de información climática, en donde se priorice la provisión a las ciudades.

Palabras clave: consumo doméstico de agua, temperatura máxima, isla de calor urbana, abastecimiento de agua urbana, agua superficial.

Abstract. The provision of sufficient drinking water for domestic consumption in Mexican cities such as Guadalajara, Monterrey or Mexico City is a great challenge. With an urban population that has grown significantly since the second half of the 20th century, water demands are increasing faster than supply. Urban water consumption is determined by socioeconomic factors such as population, income level, or hydraulic infrastructure, but also by climatic conditions. Access to water resources in Mexican cities is unequal, since those who have more economic resources tend to consume more. Climate is also important in water consumption, since the maximum temperature factor is a demand modulator and its effect is detectable in the warmest periods of the year, prior to the start of the summer rainy season. The above suggests that the formation of Urban Heat Islands (UHIs) could increase the demand and consumption of water. However, in large cities in Mexico, per capita

* Instituto de Geografía, UNAM. Circuito Investigación Científica s/n, Ciudad Universitaria, 04510, Coyoacán, Ciudad de México, México. ORCID: 0000-0001-7497-210X. Email: victormr@unam.mx

** Departamento de Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería Civil, UANL. Av. Universidad s/n, Ciudad Universitaria, 66455, San Nicolás de los Garza, Nuevo León, México. ORCID: 0000-0002-3762-6969. Email: carlos.abregogn@uanl.edu.mx

*** Comisión de Agua del Estado de México. Félix Guzmán No. 7, col. El Parque, 53398, Naucalpan, Estado de México, México. ORCID: 0000-0002-8751-1211. Email: baldemar.ma@gmail.com

water consumption tends to decrease in recent decades because the supply of water does not increase at the rate at which the number of users grows. In this way, the main climatic modulator of water consumption is meteorological drought, since its occurrence results in low availability of water and, frequently, in socioeconomic drought. Therefore,

better urban water management must include strategies for using climate information, where provision to cities is prioritized.

Keyword: domestic water consumption, peak temperature, urban heat island, urban water supply, surface water.

INTRODUCCIÓN

El acceso al agua potable es uno de los grandes retos que se enfrentan en las ciudades, principalmente porque la población urbana continúa creciendo y ya es el mayor porcentaje de personas en el mundo (Naciones Unidas, 2012; Banco Mundial, 2023). Cada vez es más difícil satisfacer las demandas de agua urbana, no solo en cantidad, sino también en calidad, especialmente en un contexto de cambio climático (UNESCO, 2020; He *et al.*, 2021). El acceso al recurso agua en las grandes ciudades es limitado, no solo donde es escaso por un clima árido o semiárido (Eakin *et al.*, 2007), sino incluso en urbes donde las lluvias son relativamente abundantes, pero los usuarios son muchos (por ej., Carvalho de Melo *et al.*, 2021). El problema de abastecer de agua a las ciudades es complejo y depende de diversos factores socioeconómicos y climáticos, por lo que los esquemas de manejo del recurso deben considerar una población creciente y los efectos de un clima cambiante (por ej., Soto, 2012).

Los problemas de agua en las ciudades crecerán conforme continúe el proceso de urbanización, a menos que haya cambios en el manejo y demanda del recurso (Koop y Van Leuwen, 2017). Por ejemplo, la Organización Meteorológica Mundial (OMM) recomienda que el consumo de agua sea de alrededor de 100 litros/habitante/día para satisfacer sus necesidades básicas. Sin embargo, el consumo *per cápita* en las ciudades mexicanas está casi siempre por encima de esta cantidad (Torregrosa *et al.*, 2015; Medina-Rivas *et al.*, 2022). En las grandes urbes de México, en zonas de altos ingresos económicos, los consumos llegan a ser mayores de 300 L/hab./día, en contraste con los consumos bajos en sectores pobres, donde el servicio de agua potable es deficiente, y las personas con frecuencia no disponen ni del mínimo recomendado. A pesar de que las ciudades rebasan las recomendaciones internacionales de consumo de

agua, los administradores del recurso hídrico siguen tratando de satisfacer las demandas, más que reducir los consumos (Morales Novelo y Rodríguez Tapia, 2007; Aguilar-Barajas y Ramírez, 2021), lo que ha resultado en un déficit que va en aumento desde hace varias décadas y que con frecuencia resulta en condiciones de sequía socioeconómica, aun y cuando no se esté en situación de sequía meteorológica (Sisto *et al.*, 2016; Magaña, 2016).

Los patrones de consumo de agua en las urbes dependen en buena medida de factores socioeconómicos, aunque también están influidos por condiciones climáticas (Soto *et al.*, 2012). Los periodos de sequía meteorológica son la mayor amenaza de que se produzca una sequía socioeconómica. A pesar de ello, la planeación del manejo del agua con base en pronósticos climáticos es casi nula, y en el mejor de los casos, la información sobre las anomalías negativas en las lluvias solo se usa para justificar las medidas de racionamiento que se implementan cuando la disponibilidad de agua es baja (Magaña, 2016). De esta manera, un problema de riesgo, que involucra el manejo de este recurso, se explica solo bajo un enfoque naturalista, en donde el problema es la falta de lluvias suficientes.

En algunos lugares se ha encontrado que la temperatura máxima modula los consumos de agua en escalas de días a meses, e incluso años (Chang *et al.*, 2014). Los aumentos de temperatura en la época de calor y estiaje inducen incrementos en los consumos. Por ello, una de las preocupaciones actuales en la sociedad urbana es cómo satisfacer las demandas de agua bajo cambio climático, pensando en que algunos escenarios del clima apuntan a condiciones más secas y calurosas (IPCC, 2021; Torregrosa *et al.*, 2015). Los escenarios del ciclo hidrológico y de disponibilidad de agua tienen una alta incertidumbre (Caretta *et al.*, 2022), por lo que aún son pocos los proyectos de adaptación ante esta amenaza, y en el caso del agua para ciudades

mexicanas solo son de respuesta a la emergencia, buscando nuevas fuentes de abastecimiento. Es aún poco común que las medidas de gestión del agua para las ciudades consideren que un clima cambiante afecte la demanda, como puede ser el efecto de la isla de calor urbana (ICU).

A pesar de que el cambio climático por ICU ha sido ampliamente documentado (por ej., Oke *et al.*, 2017), sus efectos en el consumo de agua son menos conocidos (por ej., Guhathakurta y Gober, 2007; Scott *et al.*, 2009). En México, los trabajos de Jáuregui (1973, 1997, 2004) mostraron con claridad la existencia de ICU en las principales ciudades del país, con aumentos de 2 a 3 °C en las temperaturas urbanas en lapsos de cincuenta años o menos. En México, este proceso de cambio climático local comienza después de los años sesenta o setenta del siglo pasado, como resultado de un proceso de urbanización acelerado. Por ejemplo, la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) aumentó su tamaño 5.4 veces en 50 años y con ello su temperatura media en casi 3 °C. El tamaño del Área Metropolitana de Guadalajara (AMG) o de la Zona Metropolitana de Monterrey (ZMM) es de 3 a 5 veces lo que era hace medio siglo, lo que ha llevado a aumentos en su temperatura cercanos a 3 °C (Jáuregui *et al.*, 1992; Jáuregui, 2009). Las grandes ciudades de México han incluso cambiado su ciclo hidrológico, con eventos de lluvias o calor más intensos y frecuentes (Jáuregui y Romales, 1996; López *et al.*, 2022). Una condición de mayor calor en las urbes puede inducir aumentos en los consumos de agua y un mayor estrés hídrico. Sin embargo, determinar en qué medida la ICU afecta el consumo de agua no es tarea sencilla, pues los factores socioeconómicos parecen tener mayor peso en las variaciones de corto y largo plazo en el consumo del recurso, que el mismo factor climático.

En los periodos cálidos en México, la disponibilidad de agua es menor y, por tanto, se vuelve difícil satisfacer la demanda (Vargas y Magaña, 2020). Las sequías meteorológicas (Méndez y Magaña, 2010), cortas o prolongadas, complican aún más el manejo del agua para las ciudades. En los meses de estiaje, o en los periodos de sequía meteorológica, calurosos y secos, el problema de abastecimiento de agua a las ciudades se vuelve crítico. Si la ICU genera aumento en temperatura, es de esperarse

que la necesidad de agua crezca. Por lo anterior, el objetivo principal del presente trabajo es analizar el impacto que tiene un clima cambiante, como el inducido por la ICU, en el consumo doméstico de agua, con interés particular en el efecto que tienen las sequías meteorológicas. Dicho análisis considera, por tanto, la variabilidad natural del clima en plazos de meses a años y a décadas. Conocer mejor la relación clima-demanda de agua permitirá estimar la importancia de planear el manejo de este recurso usando información climática, e incluso, puede llevar a reconocer estrategias de mitigación de la ICU. Como casos de estudio se considerarán la Ciudad de México (CDMX), el AMG y la ZMM.

DATOS Y METODOLOGÍA

Analizar los consumos de agua a nivel urbano para ciudades en México es complicado dado que la información es dispersa, con reportes en diversas escalas espaciales y temporales. Los datos sobre agua están principalmente disponibles en la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), como parte del Sistema Nacional de Información del Agua (<https://app.conagua.gob.mx/sistemasdeagua/>). Algunas cifras sobre disponibilidad y consumo de agua se encuentran en los sistemas metropolitanos de operación hídrica, como el de la Ciudad de México (SACMEX) (SACMEX, 2021), del Área Metropolitana de Guadalajara (SIAPA) (CONAGUA, 2015; López *et al.*, 2022) y de Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey (SADM) (SADM, 2005-2023), que incluyen información sobre consumos, usuarios y volúmenes de agua entregada a las zonas metropolitanas.

En este estudio, la evolución de los consumos de agua se compara con datos del crecimiento demográfico de las zonas metropolitanas y los niveles de vida municipal. Para ello se utiliza información de los censos de población del Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI, 2005-2020 e INEGI, 2020), así como información de densidad de población en malla (HDX México, 2018).

Los aspectos climáticos de las ciudades se analizan con información meteorológica de la CONAGUA, específicamente de los observatorios

de la Ciudad de México (Tacubaya, CTMDF), de Guadalajara, Jalisco (GUCJL) y de Monterrey, Nuevo León (OBSNL) (CONAGUA 2023a). La demanda trimestral de agua para la ZMM fue estimada con base en datos reportados por Aguilar y Monforte (2018) en el que calcularon el porcentaje de pérdidas físicas de 2000 a 2015.

Mediante el uso de series de tiempo y con histogramas de temperatura máxima diaria por periodos de veinte años se establece la forma en la que las ICU se han intensificado. Estos datos se complementan con información de las condiciones de las principales fuentes de agua que abastecen a las zonas metropolitanas de México (sistema Cutzamala), Guadalajara (Lago de Chapala) y Monterrey (presa El Cuchillo) (CONAGUA, 2023b), así como con estimaciones de las variaciones en el agua subterránea que provee el sistema Gravity Recovery and Climate Experiment (GRACE) de la NASA (Landerer, 2021). Las mediciones de los satélites de GRACE y GRACE-FO estiman la profundidad mensual total de agua superficiales y subterráneas

desde el año 2002 a la fecha, con una resolución espacial de aproximadamente 150 000 km².

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

a) Abastecimiento y consumo de agua urbana

El grado de presión hídrica, que corresponde a la razón entre el volumen concesionado de agua y la disponibilidad natural media anual, refleja la evolución de la severidad de la crisis hídrica en México (por ej., CONAGUA, 2019). En estados como Chiapas, Tabasco y Oaxaca, donde las lluvias son abundantes, el grado de presión hídrica en 2017 por ejemplo, expresado en porcentajes, es bajo, menor a 3%. En contraste, en la mayor parte de las regiones semiáridas del norte del país, el grado de presión es alto, mayor de 45%. En zonas urbanas, como la CDMX y zona conurbada, donde la población es de más de veinte millones de personas, el grado de presión sobre el recurso hídrico es extremadamente alto, mayor a 170%, lo que ha

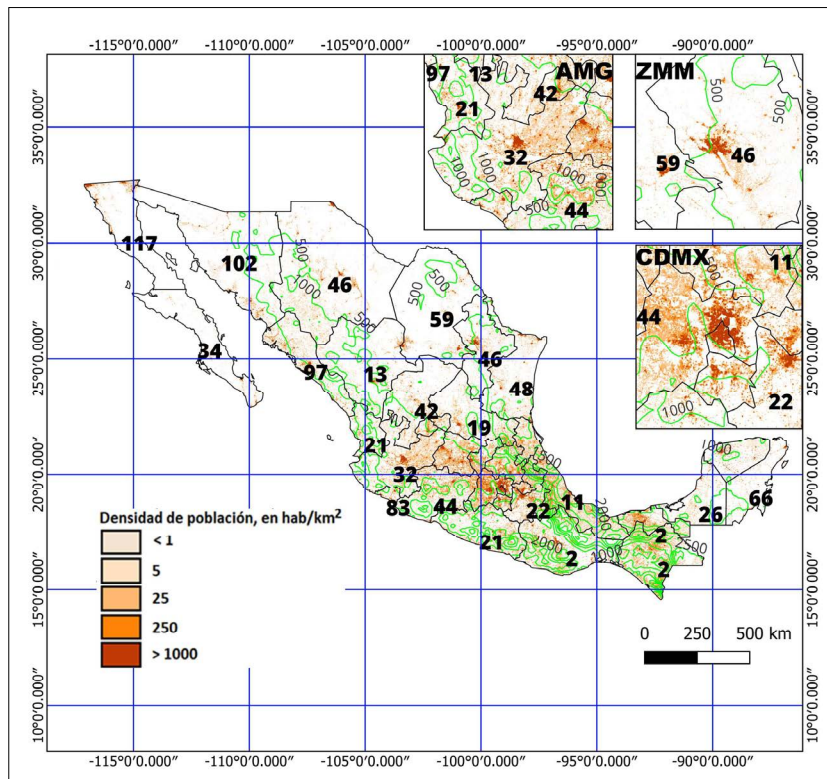


Figura 1. Densidad de población (escala de colores naranja), precipitación anual (mm) (líneas verdes) y grado de presión sobre el recurso hídrico por estado (%) (número en negritas) correspondiente a 2017.

llevado a que las fuentes de abastecimiento, tanto superficiales como subterráneas, sean sobreexplotadas. Por ello, la CDMX se vive una crisis hídrica severa pues la demanda del recurso ha aumentado a niveles insostenibles (Ortega Font, 2009).

A pesar de las lluvias relativamente abundantes en el Valle de México (> 700 mm/año), la cantidad de usuarios es tan alta que se recurre a fuentes de agua distantes, como el Sistema Cutzamala, al poniente de la CDMX. En la Región Hidrológica Administrativa de Aguas del Valle de México, la disponibilidad de agua per cápita pasó de alrededor de 188 m³/hab./año en 2004 (Breña Pujol y Breña Naranjo, 2007), cuando la población era de alrededor de 8 700 000 personas en la ciudad de México, a 73 m³/hab./año en el 2009, cuando la población llegó a poco más de 9 millones de personas, lo que coloca a esta urbe en una situación de escasez extrema. Algo similar ocurre en la ZMM, donde las lluvias son generalmente escasas (< 400 mm/año), excepto cuando entra un ciclón tropical (Magaña *et al.*, 2021). El rápido crecimiento demográfico

de la zona ha rebasado el abastecimiento de agua (Gobierno de Nuevo León, 2023) y por ello se ha requerido de fuentes de agua distantes, como la Presa El Cuchillo. Menores niveles en la presa en años recientes de sequía meteorológica han hecho que la dotación a los usuarios sea cada vez menor y, por tanto, el consumo disminuya. En Guadalajara, para satisfacer la demanda de agua se ha tenido que recurrir desde hace décadas al Lago de Chapala (von Bertrab, 2003; IMEPLAN, 2022). La política hídrica y el creciente consumo, relacionado con el crecimiento demográfico, plantean un reto en torno al abastecimiento del recurso desde hace varios años (Gleason y Flores, 2021).

En las tres zonas metropolitanas referidas, el crecimiento en el número de usuarios es más rápido que el de la población (Figura 2). Destaca el caso de la ZMM, donde el incremento en el número de tomas de la ZMM fue de casi el 105% el periodo 2005-2022. Tan solo entre 2014 y 2018, el número de tomas en la ZMM pasó de 1.1 a 1.6 millones, esto es, un incremento de casi el 45% en menos de

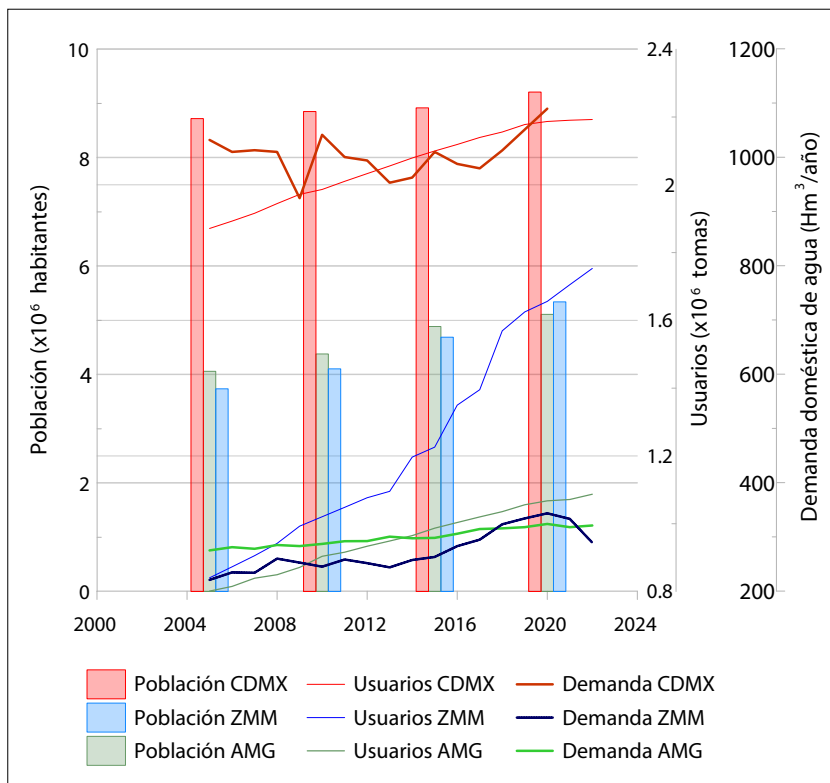


Figura 2. Población en millones de habitantes (barra), número de usuarios de agua en millones de tomas (línea delgada) y promedio anual de la demanda de agua para uso doméstico (2005-2020) (línea gruesa) para la CDMX (rojo), el Área Metropolitana de Guadalajara (verde), y la Zona Metropolitana de Monterrey (azul).

cinco años. La CDMX y el AMG tuvieron menores incrementos en el número de tomas, siendo estos del orden de 16% y 37%, respectivamente, en el mismo periodo. Así, las tasas anuales de crecimiento reciente en el número de usuarios son de alrededor del 1% en la CDMX, del 2% en el AMG y del 5% en la ZMM. Sin embargo, las tendencias promedio de aumento anual en el consumo doméstico de agua son del 0.6, 0.9 y 3.5%, para CDMX, AMG y ZMM, respectivamente.

Son diversas las estimaciones sobre consumos de agua para los habitantes de zonas metropolitanas en México. En la ZMM, a principios del siglo XXI, un habitante consumía en promedio 180 L/día, pero en años recientes su consumo es de solo 130 L/día. Sin embargo, los promedios metropolitanos, generalizan los niveles de consumo y enmascaran los contrastes en su distribución espacial, determinados en buena medida por las condiciones socioeconómicas entre una zona y otra de la urbe. Por ejemplo, en San Pedro Garza García, el municipio de mayor nivel socioeconómico del país, los consumos *per cápita* promedio son de más de 300 L/hab./día, mientras que en otros municipios con menor ingreso económico los consumos de agua son menores de 115 L/hab./día (Figura 3).

En la CDMX los consumos de agua van de más de 200 L/hab./día, a menos de 100 L/hab./día (Ortega-Font, 2011; Gobierno de la CDMX, 2019). Como en el caso de la ZMM, en la CDMX los mayores consumos se presentan en colonias con alto nivel económico en el poniente y partes del centro de la ciudad, como en las alcaldías Miguel Hidalgo, Azcapotzalco, Benito Juárez o Cuauhtémoc, con alrededor de 200 L/hab./día (Medina-Rivas *et al.*, 2022). En otras zonas del centro u oriente de la CDMX, como las alcaldías Iztapalapa, Tláhuac y Milpa Alta, de nivel de ingreso bajo, los consumos son menores de 100 L/hab./día (Figura 4). Se esperaría que las regiones con las temperaturas máximas más elevadas se consuma más agua, como sucede en otras partes del mundo (Chang *et al.*, 2014). Sin embargo, en la CDMX la temperatura máxima influye menos en el consumo que el factor económico. Contrastan los más de 28 °C promedio de marzo y abril en el centro oriente de la CDMX, donde menos agua se consume, con los 25 °C en el poniente, donde es mayor el consumo. El limitado acceso al agua potable en el oriente de la CDMX en épocas de calor tiene impactos negativos en la salud de sus habitantes (Vargas y Magaña, 2020).

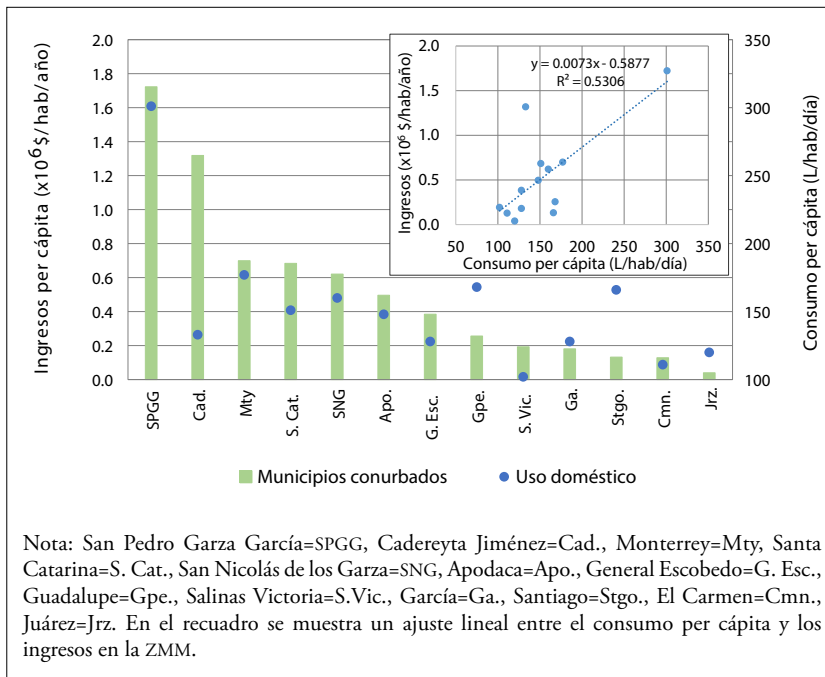


Figura 3. Consumos de agua (L/hab./día) en la ZMM a nivel municipal e ingresos per cápita anual para el año 2019. Fuentes de los datos: SADM (2022), INEGI (2019).

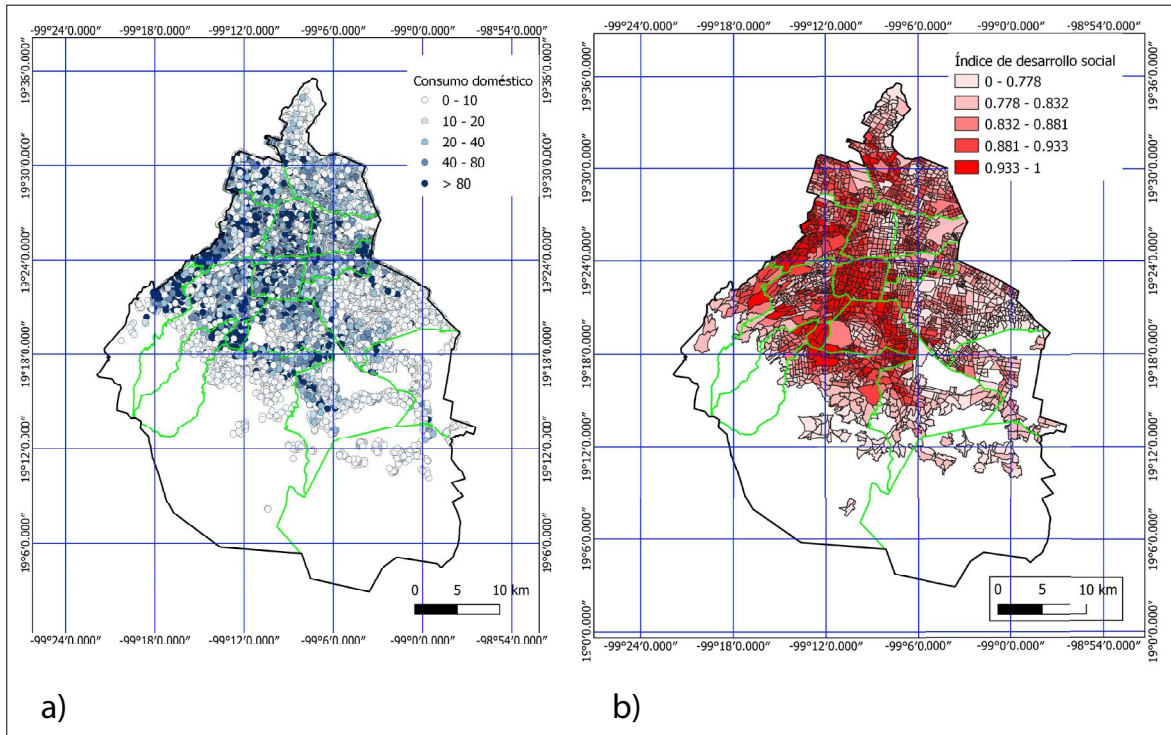


Figura 4. a) Consumos de agua (m^3 /colonia/día) en el segundo bimestre de 2019 a nivel colonia en diversas alcaldías de la Ciudad de México. b) Índice de desarrollo social (IDS) por AGEb, relacionado con el nivel socioeconómico de la población (EVALÚA, 2020), donde el IDS es: Muy bajo de 0 a 0.778; Bajo, de 0.778 a 0.832; Medio, de 0.832 a 0.881; Alto, de 0.881 a 0.933; Muy alto, de 0.933 a 1. c) Temperatura máxima ($^{\circ}C$) promedio en la CDMX en los meses de marzo y abril. La línea azul indica los límites de la región urbanizada en 2015.

El promedio del consumo de agua puede variar significativamente de un año a otro dependiendo de la disponibilidad, determinada en mayor medida por la cantidad de precipitación recibida, así como por el limitado o diferenciado acceso al agua potable. Si bien en las zonas de estudio el abastecimiento de agua ha ido en aumento, este ha sido mucho menor que la tasa de crecimiento en el número de usuarios, lo cual ocasiona que los consumos per cápita sean menores, no porque los usuarios utilicen menos agua, sino porque esta llega en una cantidad menor a las tomas domiciliarias.

b) Tendencia del clima y de los consumos de agua

Los consumos domésticos de agua tienden a aumentar en las regiones o en las épocas de calor pues las personas utilizan más agua para bañarse

y refrescarse (Eakin *et al.*, 2007). En los meses de primavera y verano los aumentos en las temperaturas máximas requieren de más agua para mantener niveles de confort y salud. El ciclo anual de la temperatura máxima en Guadalajara, Monterrey y la Ciudad de México, muestra que los periodos de primavera-verano son los más calurosos. En Guadalajara, por ejemplo, la temperatura máxima promedio mensual de mayo alcanza los $34^{\circ}C$, pero en ciertos años el promedio mensual de abril puede superar los $40^{\circ}C$ (Figura 5). En el caso de Monterrey, las temperaturas máximas promedio entre junio y agosto son de alrededor de $35^{\circ}C$, pero en ciertos años se tienen temperaturas máximas promedio mensuales cercanas a los $40^{\circ}C$. En la CDMX, los meses más calurosos son los de primavera, entre marzo y mayo, con temperaturas máximas de alrededor de $26^{\circ}C$, pero en los años más calurosos, la

temperatura máxima es superiores a los 30 °C. En algunos días, los valores de la temperatura máxima pueden ser mayores a 32 °C, y la tendencia es que el efecto ICU haga los episodios de ondas de calor más frecuentes (Jáuregui, 2009).

La tendencia en cada una de estas zonas metropolitanas es al incremento de temperatura, pues el modelo de desarrollo urbano impone cambios significativos en el uso del suelo que inducen una ICU (Jáuregui, 1997; Vargas y Magaña, 2020). Los histogramas de temperatura máxima diaria para periodos consecutivos de 20 años, entre 1960 y el 2020, muestran que el crecimiento urbano ha inducido aumentos en la frecuencia de episodios de temperatura máxima mayor a 35 °C en Guadalajara (Figura 6a), mayores a 36 °C en Monterrey (Figura 6b), y por encima de los 30 °C en la CDMX (Figura 6c). Para el AMG, los episodios de más de 35 °C casi se han duplicado en tres décadas, registrándose en ciertos días, valores máximos de casi 40 °C. En la ZMM, las temperaturas por encima de los 35 °C son frecuentes y los episodios de mayor calor pueden ser de hasta 45 °C, lo que constituye un peligro muy alto para la salud humana (Vargas-Huipe y Rodríguez-Van Gort, 2023). En el caso

de las CDMX, las temperaturas de más de 30 °C se han vuelto más frecuentes y se observa que las máximas pueden incluso alcanzar los 34 °C. En todos los casos, dichos valores extremos tienden a ocurrir en los periodos secos, cuando el agua para consumo urbano es más escasa.

Los consumos de agua en las ciudades aumentan cuando la temperatura máxima promedio mensual rebasa los 30 °C, lo que con frecuencia genera un índice de confort que se considera de peligro (López *et al.*, 2022). Es en estos periodos cuando las fuentes de abastecimiento se encuentran por lo general en niveles mínimos por el estiaje o incluso por el efecto de sequías meteorológicas, que pueden traducirse en sequías socioeconómicas.

Un análisis de las tendencias de la temperatura máxima trimestral permite establecer los periodos más cálidos como función de la época del año. En las zonas metropolitanas, las temperaturas máximas han aumentado mayormente por efecto de la rápida expansión urbana. Los incrementos son de alrededor de 2 °C en cincuenta años y se distinguen de forma clara para Monterrey y Guadalajara (Figura 7). En el caso de la CDMX los episodios de incremento en la temperatura

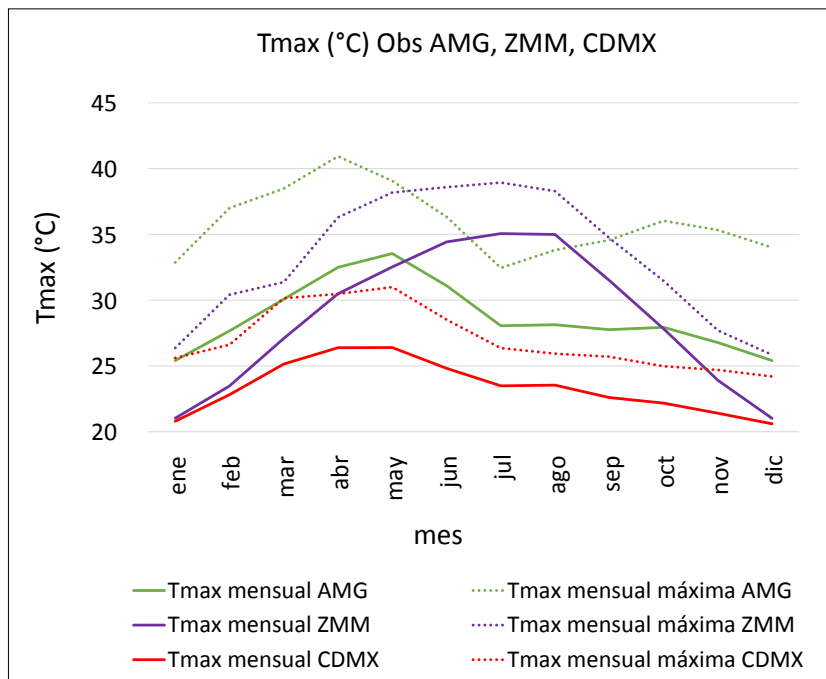


Figura 5. Climatología de la temperatura máxima promedio mensual (°C) (línea sólida) y la temperatura máxima promedio de los meses más calurosos (línea punteada) en el AMG (verde), la ZMM (morado) y la CDMX (rojo).

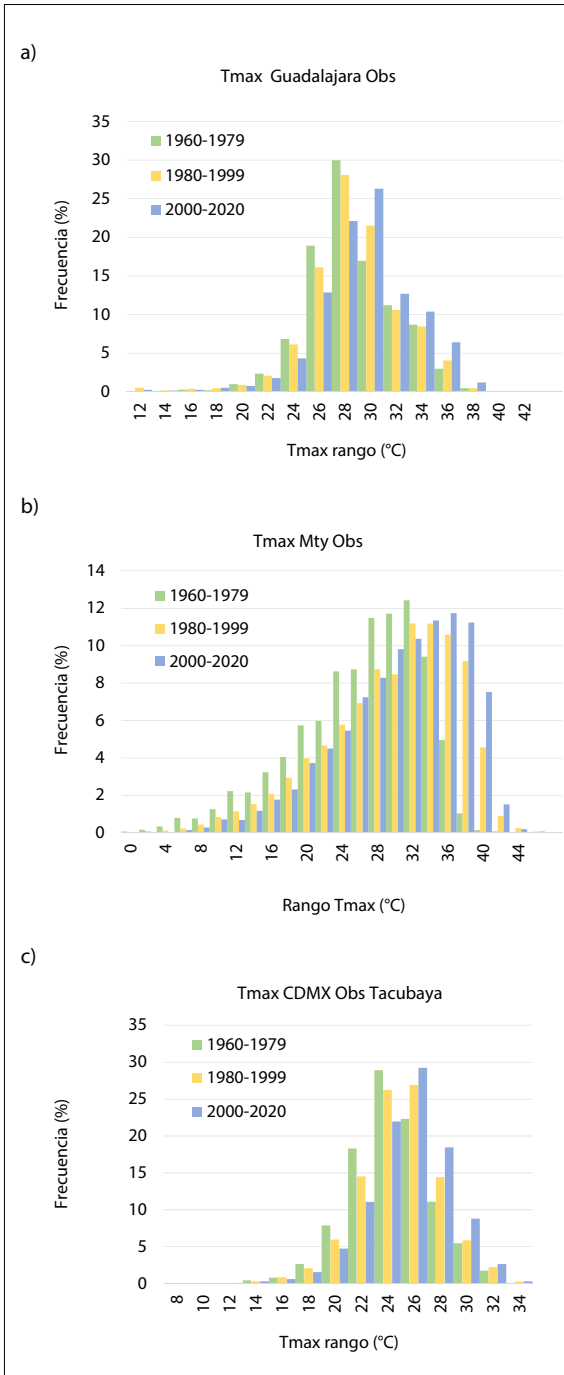


Figura 6. Histogramas de temperatura máxima diaria (°C) en a) el AMG, b) la ZMM y c) la CDMX para los periodos 1960-1979 (verde), 1980-1999 (amarillo) y 2000-2020 (azul).

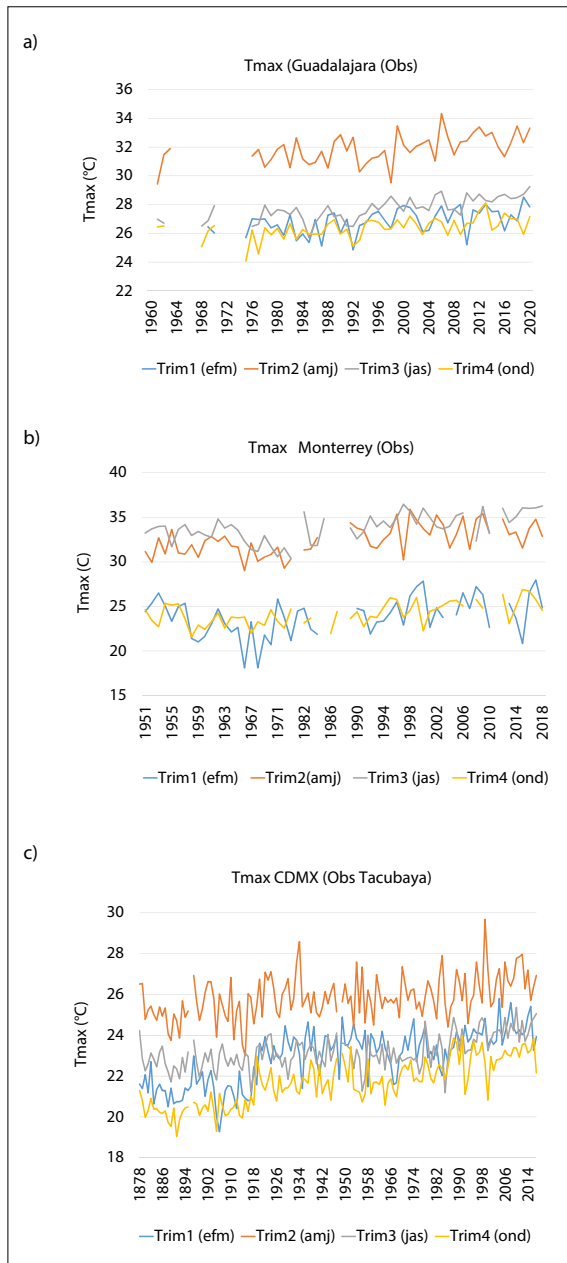


Figura 7. Temperaturas máximas (°C) promedio por trimestre para a) el AMG, b) la ZMM y c) la CDMX, obtenidas con datos de los observatorios meteorológicos de Guadalajara, Monterrey y CDMX (Tacubaya).

máxima ocurren a principios y finales del siglo XX, en relación con cambios en el uso de suelo (Vargas y Magaña, 2020). Con la formación de la ICU, las temperaturas promedio del segundo trimestre del año (abril-mayo-junio) en el AMG están frecuentemente por encima de los 32 °C (Figura 7a). En Monterrey, en el segundo trimestre (abril-mayo-junio), las temperaturas máximas promedio están por encima de los 30 °C, y en el tercer trimestre (julio-agosto-setiembre) alcanzan los 35 °C (Figura 7b). En la CDMX las temperaturas promedio del segundo trimestre se ubican solo por encima de los 27 °C, pero es necesario recordar que el observatorio de Tacubaya, usado como referencia en el presente análisis, se encuentra en el poniente de la CDMX, en la región relativamente fresca, por lo que las temperaturas en el oriente y centro pueden ser por lo menos 3 °C más elevadas, alcanzando los 30 °C entre marzo y mayo (Figuras 7c y 4c). En cada caso, no es extraño que se experimenten periodos de temperaturas máximas superiores a dicho valor trimestral medio, particularmente durante ondas de calor, como sucedió en junio de 2023.

Los registros de consumo doméstico de agua en las zonas urbanas muestran un aumento de alrededor del 10% en los trimestres más calurosos del año. En la ZMM, los consumos per cápita se incrementan en alrededor de 25 L/hab./día (Figura 8a), cuando la temperatura máxima aumenta entre 8 y 9 °C, del primer al segundo o tercer trimestre. Para el caso del AMG, el consumo crece entre 10 y 12 L/hab./día (Figura 8b), cuando la temperatura máxima se incrementa entre 5 y 6 °C, entre el primer y el segundo trimestre del año. Así, por encima de los 30 °C, por cada °C de aumento en la temperatura hay un incremento en el consumo de agua de alrededor de 2 L/hab./día. En el caso de la CDMX los datos no permiten hacer un análisis trimestral robusto (Figura 8c), pero como se verá más adelante, los aumentos en los consumos entre el primer y segundo trimestre del año son del orden del 10%.

En años recientes, los consumos domésticos de agua muestran tendencias o variaciones de baja frecuencia (periodos de años) relacionados con la disponibilidad de agua en sus fuentes principales de abastecimiento. La sequía de 2011-2013 en el nores-

te de México llevó a una disminución significativa en los niveles de la presa El Cuchillo, de alrededor de 75%, que obligó a reducciones en los volúmenes asignados para el consumo doméstico de agua en alrededor de 15% (Figura 8a). En 2021 también se registró una reducción significativa en el consumo per cápita de la ZMM debido a un periodo de sequía meteorológica, combinado con aumentos significativos en el número de usuarios. El almacenamiento de la presa El Cuchillo (con capacidad máxima de 159% respecto al nivel de aguas máximas ordinarias, NAMO), pasó de 125% en 2005 a 40% en 2023, lo que llevó a que el consumo doméstico de agua fuera en promedio de 110 L/hab./día, lo que dio como resultado una sequía socioeconómica. Cabe mencionar que, desde el segundo semestre de 2015, la presa El Cuchillo presenta una tendencia negativa en su almacenamiento con reducciones de aproximadamente el -7.1% anual, lo que hace que desde enero del 2021 su nivel esté por debajo del 60%. La política de mantener la misma dotación a una población en rápido crecimiento, aún bajo condiciones de sequía hidrológica, tuvo como consecuencia un aumento sostenido en el déficit de agua de la presa, lo que desembocó en la sequía socioeconómica de la ZMM en 2021.

En el caso del AMG la disponibilidad o niveles del Lago de Chapala han mostrado variaciones con periodos de varios años (Figura 8b), con una recuperación del nivel del agua después del intervalo 2001-2003. Sin embargo, la señal de las variaciones de muy baja frecuencia en las lluvias en la zona lleva a cambios en la disponibilidad de esta fuente de agua superficial. Estas fluctuaciones de largo periodo no parecen mostrarse en cambios en los consumos per cápita de agua, que sistemáticamente muestran una disminución, esencialmente relacionada con el continuo aumento en el número de usuarios.

En la CDMX los consumos han variado en función de la disponibilidad de agua de sus fuentes de abastecimiento, como lo es el Sistema Cutzamala (Figura 8c). La tendencia en la CDMX es a un menor consumo per cápita ante las tendencias de aumento en el número de usuarios. A pesar de lo anterior, los consumos per cápita en promedio para la CDMX en años recientes (170 L/hab./día)

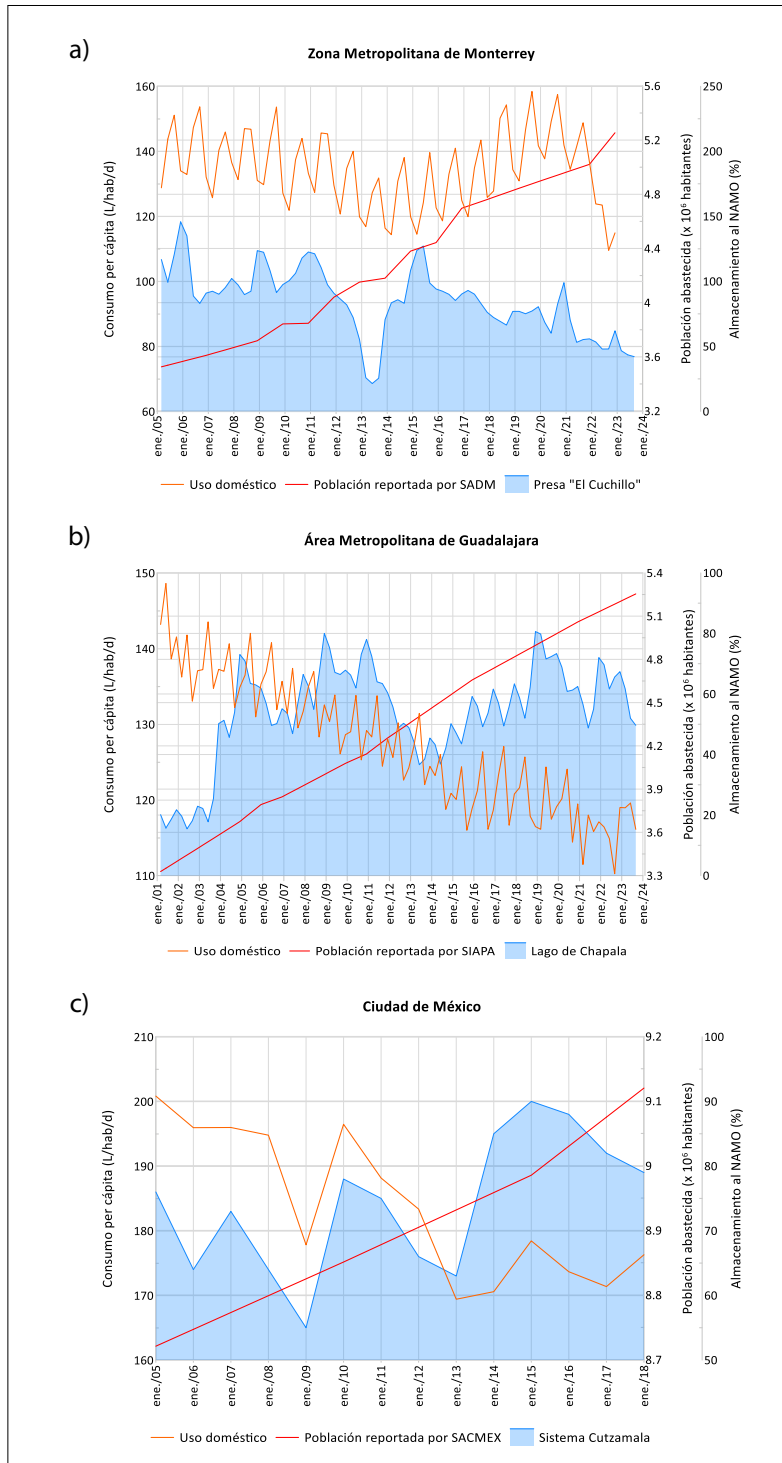


Figura 8. Consumo doméstico (L/hab./día) (línea naranja), almacenamiento al NAMO (%) en la principal fuente de agua superficial (línea azul), y población atendida por el organismo operador (línea roja): a) en la ZMM, b) el AMG y c) la CDMX. NAMO corresponde al nivel de agua máximo ordinario.

siguen estando entre los más altos entre los usuarios urbanos de México.

En la CDMX, el incremento en el consumo de agua es alto (> 20%) en las zonas donde se dispone del recurso, es decir, hacia el poniente de la CDMX (Figura 9). En la zona centro oriente, la temperatura máxima promedio en el periodo más caluroso del año es con frecuencia superior a los 30 °C, y sin embargo, los aumentos del consumo doméstico de agua son menores al 10%. Dicha situación tiene consecuencias, ya que el mayor número de enfermedades diarreicas agudas se presenta en la parte oriente de la ciudad por un limitado acceso al agua potable (Vargas y Magaña, 2020).

c) Las variaciones climáticas de largo plazo y la disponibilidad de agua

En años recientes, la disminución en el consumo per cápita para grandes sectores de la población

se ha explicado a partir de condiciones de sequía meteorológica. Los periodos de anomalías negativas en las lluvias tienen un efecto importante en las fuentes de abastecimiento superficial e incluso en las condiciones del agua subterránea. En la ZMM, la disminución en las lluvias entre 2011 y 2013 provocó un mínimo en la disponibilidad de agua superficial y subterránea (Figura 10a). Esta situación parece presentarse nuevamente en años recientes (2018-2023), con significativas anomalías negativas en los niveles de la presa El Cuchillo y del agua subterránea de la zona, lo que produjo una seria sequía socioeconómica en la ZMM en 2021.

En el caso del AMG las variaciones en la disponibilidad de agua no parecen ser persistentes por más de un año, excepto por los efectos que tuvo la sequía 2011-2013 (Figura 10b). Por ello, los problemas de disminución del consumo per cápita

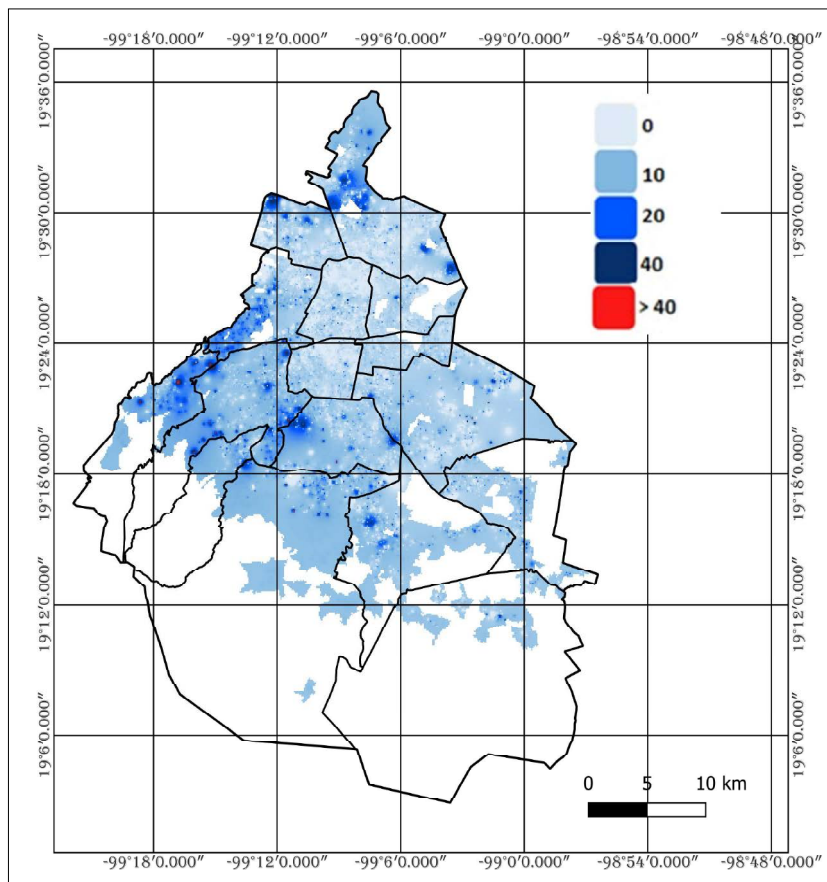


Figura 9. Cambio (%) en los consumos de agua (escala de color azul) en la CDMX entre enero-febrero (bimestre frío) y marzo-abril (bimestre cálido) de 2019.

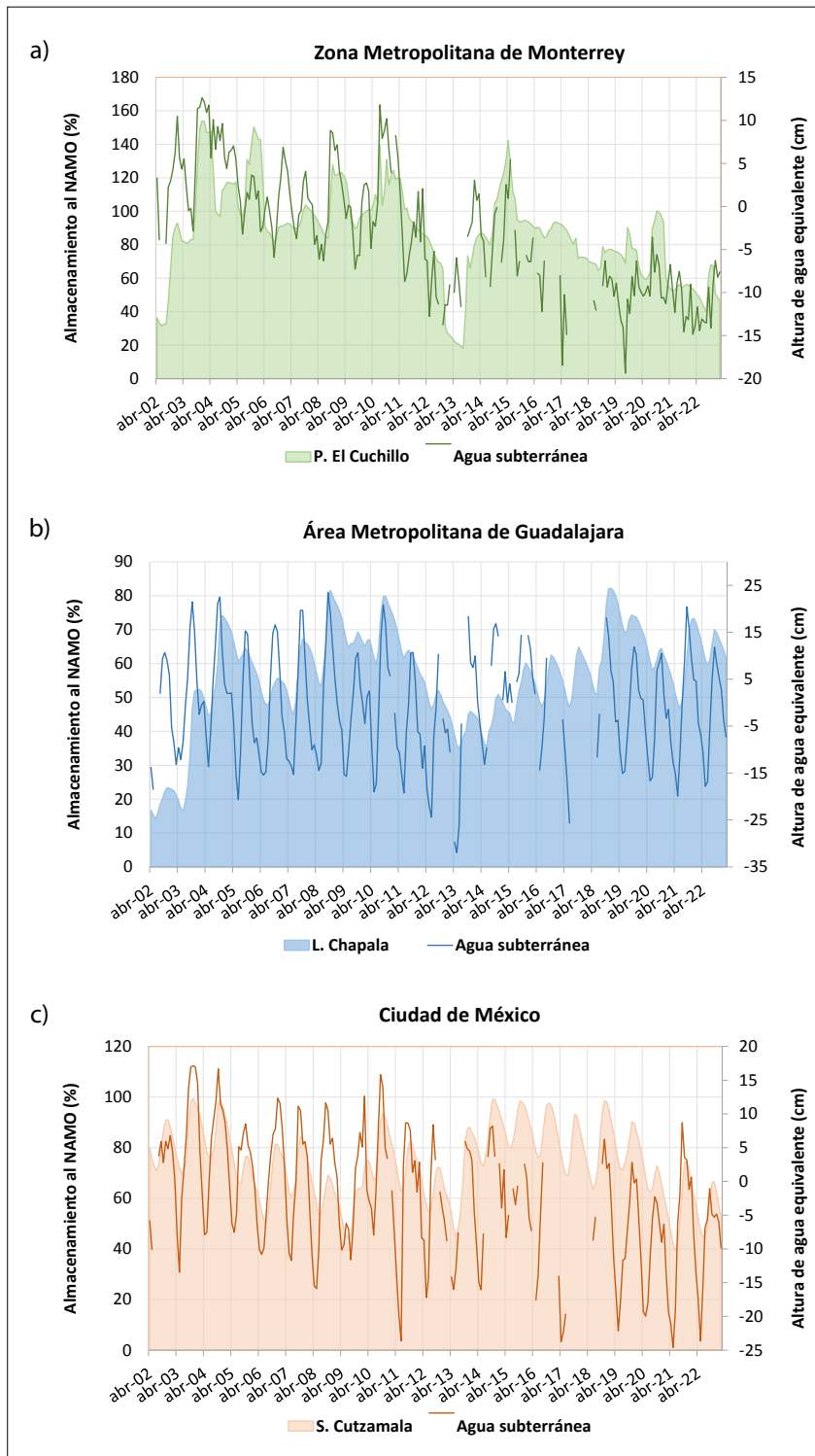


Figura 10. Variaciones en la disponibilidad de agua de las fuentes de abastecimiento entre 2002 y 2022. Almacenamiento de agua superficial (%) y altura de agua equivalente (cm) para agua subterránea en: a) la ZMM; b) el AMG y c) la CDMX.

están asociados principalmente al incremento en el número de usuarios y a un aumento insuficiente en el abastecimiento.

En el caso de la CDMX se observan disminuciones significativas en los niveles del Sistema Cutzamala a finales de la primera década del presente siglo, entre 2008 y 2010, que puso en alerta al Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACMEX). La situación de sequía meteorológica y socioeconómica mejoró gracias a tormentas invernales importantes (Soto y Herrera, 2019). Desde 2020, sin embargo, se registra una disminución significativa en las fuentes de agua, que ha producido racionamientos en gran parte de la CDMX (Figura 10c).

Para hablar del factor cambio climático se requiere revisar los registros de precipitación anual de varias décadas. Esto se puede hacer con datos de precipitación de los observatorios meteorológicos (Figura 11). Como parte de la variabilidad interanual natural del clima se tienen años con bajas o altas precipitaciones, frecuentemente modulados por El Niño/Oscilación del Sur (Magaña *et al.*, 2003) y en escalas interdecadales por la Oscilación Multidecadal del Atlántico (AMO, por sus siglas en inglés) (Méndez y Magaña, 2010). En general, la tendencia en las zonas urbanas bajo estudio es a mayores precipitaciones anuales, aunque con periodos de sequía meteorológica. Lo que hace cincuenta o cien años era un año de buenas lluvias, hoy es considerado de sequía meteorológica y de sequía socioeconómica, por el aumento en la necesidad de más agua.

Las variaciones de muy baja frecuencia en la lluvia, con periodos de alrededor de 30 o 40 años relacionadas con la AMO, juegan un papel importante en la disponibilidad de agua. No hay evidencias claras de que las sequías meteorológicas se estén volviendo más frecuentes o severas que en el pasado, pero sí las sequías socioeconómicas. Por tanto, desde un enfoque de riesgo, es necesario revisar los factores que hacen a nuestras ciudades más vulnerables a déficit de lluvias. Jáuregui y Romales (1996) encontraron que las precipitaciones en la CDMX durante el siglo XX tienden al alza, lo que se relaciona con la ICU. López *et al.* (2022) proponen que, en el caso del AMG, la tendencia

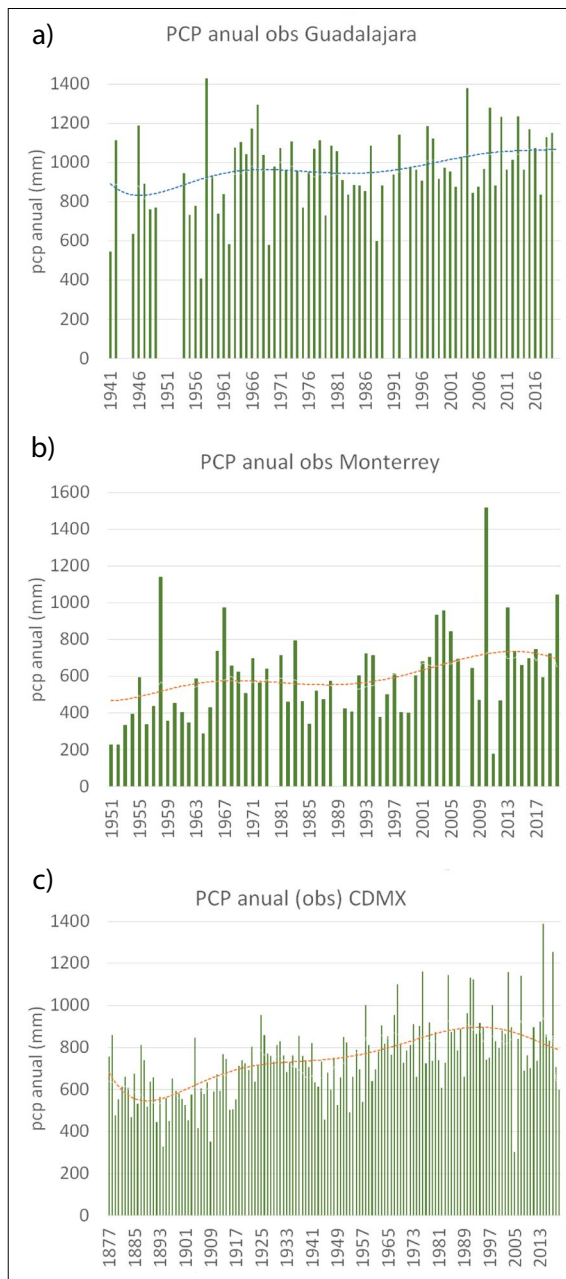


Figura 11. Precipitación anual (mm) en los observatorios meteorológicos de: a) la ZMM, b) el AMG y c) la CDMX. Los huecos corresponden a falta de datos. Las líneas punteadas suaves denotan las variaciones de muy baja frecuencia en la precipitación anual.

a más precipitaciones anuales es resultado de un incremento en el número de tormentas intensas que está relacionado con el proceso de urbaniza-

ción del AMG. Las lluvias anuales en las tres zonas metropolitanas bajo estudio se han incrementado entre 30 y 50%, lo cual debiera dar como resultado una mayor disponibilidad de agua si se funciona con una estrategia mejorada de gestión hídrica a largo plazo.

CONCLUSIONES

La disminución en la disponibilidad de agua en las grandes ciudades se ha traducido en menores consumos y frecuentemente ha dado lugar a sequías socioeconómicas. Ante tal situación, las autoridades recurren al enfoque naturalista y hablan de cambio climático como la causa principal de las sequías socioeconómicas. Este enfoque no considera que este tipo de sequía es un problema de riesgo climático no atendido, en donde la vulnerabilidad de las ciudades ante la sequía meteorológica ha aumentado. Las ciudades son vulnerables por múltiples factores, como la falta de planeación en el manejo hídrico, los consumos excesivos del recurso o falta de inversión en infraestructura. Un programa de cultura del agua que tome en cuenta el clima cambiante es urgente para que los usuarios se adapten a que un recurso finito se distribuya entre cada vez más personas. La crisis hídrica de México se manifiesta de forma grave en Monterrey, Guadalajara y la Ciudad de México porque ahí los requerimientos de agua para uso doméstico se han incrementado desde hace casi un siglo como consecuencia de su crecimiento demográfico. Satisfacer las demandas hídricas es difícil porque la inversión en infraestructura hidráulica no ha sido suficiente durante décadas (Magaña et al., 2021). Sin embargo, un insuficiente servicio de agua potable tiene consecuencias para la salud de la población (Vargas y Magaña, 2020).

A pesar de que se sabe que las condiciones climáticas de temperatura máxima influyen en el consumo urbano de agua, la señal de aumento en la temperatura por causa de la ICU es difícil de detectar, pues dominan los efectos del incremento en el número de usuarios o de variaciones en las lluvias. La importancia del factor clima aparece cuando se consideran las sequías meteorológicas,

ya que estas afectan la disponibilidad del recurso hídrico. Las temperaturas máximas solo se reflejan en el consumo per cápita cuando se contrastan los meses secos y cálidos con el periodo frío o de la temporada de lluvia. El incremento de la demanda de agua para consumo doméstico también podría estudiarse durante episodios de ondas de calor, pero se requiere de mejores datos para establecer la importancia de estos fenómenos en los consumos hídricos urbanos. La ICU incrementa sistemáticamente la temperatura de las ciudades, pero su efecto en el consumo de agua per cápita de décadas recientes es indistinguible.

Se debe abandonar el discurso naturalista usado para justificar los problemas del abasto de agua en las ciudades. Se insiste en que los escenarios de cambio climático para México son negativos en materia de lluvias, sin reconocer que se vive en un país en que la tendencia es a mayor precipitación, pero donde la vulnerabilidad a la sequía meteorológica incrementa los riesgos de desabasto. Al disminuir los almacenamientos superficiales se sobreexplotan también las fuentes subterráneas, con consecuencias negativas. Este problema debe llevar a la sociedad, y principalmente a los organismos operadores del recurso hídrico, a la implementación de alternativas y estrategias de manejo hidrológico sustentable.

En resumen, el principal reto del sector agua urbana en México es cómo satisfacer la demanda de una población creciente. La respuesta ha sido buscar nuevas fuentes de abastecimiento, pero esto ha resultado ser un proceso insostenible. Será necesario construir infraestructura hidráulica para el reúso del recurso al mismo tiempo que se mejoran los programas de cultura del agua, incluyendo información y planes para adaptarse a sequías meteorológicas que pueden durar de una estación a varios años.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo es parte de las investigaciones del proyecto PAPIIT- IN111023 Escenarios de Riesgo Climático Urbano. El apoyo del Ing. Gustavo Vázquez en la identificación de fuentes de datos para este estudio es muy apreciado.

REFERENCIAS

- Aguilar Benitez, I., Monforte, G. (2018). Servicios públicos del agua, valor público y sostenibilidad: El caso del área metropolitana de Monterrey. *Gestión y política pública*, 27(1), 149-179. Disponible en https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-10792018000100149&script=sci_arttext
- Aguilar-Barajas, I., Ramírez, A. I. (2021). *Agua para Monterrey. Logros, retos y oportunidades para Nuevo León y México* (2ª. ed.). Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey. Disponible en <https://hdl.handle.net/11285/642843>
- Banco Mundial. (2023). *Desarrollo urbano*. Disponible en <https://www.bancomundial.org/es/topic/urbandevelopment/overview#:~:text=En%20la%20actualidad%2C%20alrededor%20del,de%20habitantes%2E%80%94%20vive%20en%20ciudades>
- Breña Puyol, A. F. y Breña Naranjo, J. A. (2007). Disponibilidad de agua en el futuro de México. *Ciencia*, 58(3), 64-71. Disponible en https://www.amc.edu.mx/revistaciencia/images/revista/58_3/PDF/09-550.pdf
- Caretta, M. A., Mukherji, A., Arfanuzzaman, M., Betts, A., Gelfan, R. A., Hirabayashi, Y., Lissner, T. K., Liu, J., Lopez Gunn, E., Morgan, R., Mwangi y Supratid, S. (2022). Water. En H. -O. Pörtner, D. C. Roberts, M. Tignor, E. S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Lösche, V. Möller, A. Okem, B. Rama (Eds.), *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability* (pp. 551-712). Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009325844.006>
- Carvalho de Melo, M., Formiga-Johnsson, R. M., Soares de Azevedo, J. P., de Oliveira Nascimento, N., Vieira Machado, F. L., Leal Pacheco, F. A. y Sanches Fernandes, L. F. (2021). A raw water security risk model for urban supply based on failure mode analysis. *Journal of Hydrology*, 593, 125843 <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125843>
- CONAGUA. (2015). *PMPMS Para Usuarios Urbanos De Agua Potable Y Saneamiento, Zona Metropolitana de Guadalajara*. Informe Parcial. Organismo de cuenca Lerma-Santiago-Pacífico. Disponible en https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/99855/PMPMS_ZM_Guadalajara_Jal.pdf
- CONAGUA. (2018). *Estadísticas del Agua en México. Edición 2017*. Comisión Nacional del Agua. <https://files.conagua.gob.mx/conagua/publicaciones/Publicaciones/EAM-2017.pdf>
- CONAGUA. (2019). *Estadísticas del agua en México. Edición 2018*. CONAGUA-SEMARNAT. <https://files.conagua.gob.mx/conagua/publicaciones/publicaciones/eam2018.pdf>
- CONAGUA (2023a). *Base de datos de estaciones meteorológicas*. Consultada el 30 agosto de 2023. Disponible en <https://sih.conagua.gob.mx/climas.html>
- CONAGUA (2023b). *Base de datos de estaciones en Presas*. Consultada 30 octubre 2023. Disponible en <https://sih.conagua.gob.mx/presas.html>
- Chang, H., Praskievicz, S. y Parandvash, H. (2014). Sensitivity of Urban Water Consumption to Weather and Climate Variability at Multiple Temporal Scales: The Case of Portland, Oregon. *International Journal of Geospatial and Environmental Research*. 1(1). <https://dc.uwm.edu/ijger/vol1/iss1/7>
- Eakin, H., Magaña, V., Smith, J., Moreno, J., Martínez, J. y Landavazo, O. (2007). A stakeholder driven process to reduce vulnerability to climate change in Hermosillo, Sonora, Mexico. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 12(5), 935-955. <https://doi.org/10.1007/s11027-007-9107-4>
- EVALÚA. (2020). *Índice de desarrollo social de la Ciudad de México, 2020*. Consejo de Evaluación de la Ciudad de México. <https://www.evalua.cdmx.gob.mx/storage/app/media/2021/estadistica/programacalculo/ids-evalua-cdmx-presentacion.pdf>
- Gleason, J. A. y Flores, C. (2021). Challenges of water sensitive cities in Mexico: The case of the metropolitan area of Guadalajara. *Water*, 13(5), 601. <https://doi.org/10.3390/w13050601>
- Gobierno de la CDMX. (2019). Consumo de agua. Portal de datos abiertos. Sistema Ajolote. Consultado el 30 de octubre de 2023. Disponible en https://datos.cdmx.gob.mx/dataset/eb38823c-488a-49e8-a2cf-62e628fa246f/resource/2263bf74-c0ed-4e7c-bb9c-73f0624ac1a9?inner_span=True&activity_id=5a8b8744-dcc3-4608-aa12-412fd08d710c
- Gobierno de Nuevo León. (2023). *Programa Especial de Manejo Sustentable del Agua, de Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey, 2022-2027*. Disponible en https://www.nl.gob.mx/sites/default/files/programa_especial_del_manejo_sustentable_del_agua.pdf
- Guhathakurta, S. y Gober, P. (2007). The impact of the Phoenix urban heat island on residential water use. *Journal of the American Planning Association*, 73(3), 317-329. <https://doi.org/10.1080/01944360708977980>
- HDX Mexico. (2018). High Resolution Population Density Maps + Demographic Estimates. Disponible en <https://data.humdata.org/dataset/mexico-high-resolution-population-density-maps-demographic-estimates>
- He, C., Liu, Z., Wu, J., Pan, X., Fang, Z., Li, J. y Bryan, B. A. (2021). Future global urban water scarcity and potential solutions. *Nature Communications*, 12(1), 4667. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-25026-3>

- IMEPLAN. (2022). *Agenda de Resiliencia Hídrica para el Área Metropolitana de Guadalajara (2022)*. Instituto de Planeación y Gestión del Desarrollo del Área Metropolitana de Guadalajara. Disponible en <https://www.imeplan.mx/>
- INEGI. (2005-2020). *Censos de población y vivienda*. <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/>
- INEGI. (2019). *Censos Económicos 2019*. Subsistema de Información Económica del Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Consultado el 30 octubre de 2023. Disponible en <https://www.inegi.org.mx/programas/ce/2019/>
- INEGI. (2020). Características de vivienda a nivel AGEB, *Censo 2020*. <https://datos.cdmx.gob.mx/dataset/caracteristicas-de-las-viviendas-nivel-ageb-censo-2020>
- IPCC. (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157896>
- Jáuregui, E. (1973). The Urban Climate of Mexico City. *Erdeunde*, 27(4), 298-307. <https://www.jstor.org/stable/i25641411>
- Jáuregui, E. (1997). Heat island development in Mexico City. *Atmospheric Environment*, 31(22), 3821-3831. [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(97\)00136-2](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(97)00136-2)
- Jáuregui, E. (2004). Impact of land-use changes on the climate of the Mexico City Region. *Investigaciones Geográficas*, (55), 46-60. <https://doi.org/10.14350/rig.30110>
- Jáuregui, E. (2009). The heat spells of Mexico City. *Investigaciones geográficas*, (70), 71-76.
- Jáuregui, E., Godínez, L. y Cruz, F. (1992). Aspects of heat-island development in Guadalajara, Mexico. *Atmospheric Environment. Part B. Urban Atmosphere*, 26(3), 391-396. [https://doi.org/10.1016/0957-1272\(92\)90014-J](https://doi.org/10.1016/0957-1272(92)90014-J)
- Jáuregui, E., Romales, E. (1996). Urban effects on convective precipitation in Mexico City. *Atmospheric Environment*, 30(20), 3383-3389. [https://doi.org/10.1016/1352-2310\(96\)00041-6](https://doi.org/10.1016/1352-2310(96)00041-6)
- Koop, S. H. A. y van Leeuwen, C.J. (2017). The challenges of water, waste and climate change in cities. *Environment, Development and Sustainability*, 19, 385-418. <https://doi.org/10.1007/s10668-016-9760-4>
- Landerer, F. (2021). *TELLUS_GRAC_L3_CSR_RL06_LND_v04*. Ver. RL06 v04. PO.DAAC, CA, USA. Acceso al conjunto de datos el 20 de octubre de 2023. Disponible en <https://doi.org/10.5067/TELND-3AC64>
- López, M., Magaña, V. y Perez, T. (2022). Risk of urban flash floods in the Guadalajara Metropolitan Area, Mexico. *Investigaciones Geográficas*, (108). <https://doi.org/10.14350/rig.60547>
- Magaña, V. (2016). Considerations for a Research Program on Drought in Mexico. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 7(5), 115-133. <https://revistatyca.org.mx/index.php/tyca/article/view/1274>
- Magaña, V. O., Vázquez, J. L., Pérez, J. L. y Pérez, J. B. (2003). Impact of El Niño on precipitation in Mexico. *Geofísica Internacional*, 42(3), 313-330. <https://doi.org/10.22201/igeof.00167169p.2003.42.3.949>
- Magaña, V., Herrera, E., Ábrego-Góngora, C. J. y Ávalos, J. A. (2021). Socioeconomic drought in a Mexican semi-arid city: Monterrey Metropolitan Area, a case study. *Frontiers in Water*, 3, 579564. <https://doi.org/10.3389/frwa.2021.579564>
- Medina-Rivas C. M., Rodríguez-Tapia, L., Morales-Novelo, J. A. y Revollo-Fernández, D. A. (2022). Spatial inequality of domestic water consumption in Mexico city. *Water Resources and Economics*, 40. <https://doi.org/10.1016/j.wre.2022.100210>
- Méndez, M. y Magaña, V. (2010). Regional Aspects of Prolonged Meteorological Droughts over Mexico and Central America. *Journal of Climate*, 23(5), 1175-1188. <https://doi.org/10.1175/2009JCLI3080.1>
- Morales Novelo J. A. y L. Rodríguez Tapia (2007). Retos y perspectivas de una gestión no sustentable del agua en el Valle de México. En *Economía del agua, escasez del agua y su demanda doméstica e industrial en áreas urbanas*. Universidad Autónoma Metropolitana.
- Naciones Unidas. (2012). *World urbanization prospects - The 2011 revision*. Department of Economic and Social Affairs - Population Division, Population Estimates and Projections Section. Disponible en <https://www.un.org/en/development/desa/publications/world-urbanization-prospects-the-2011-revision.html>
- Oke, T., Mills, G., Christen, A. y Voogt, J. (2017). *Urban Climates*. Cambridge University Press. DOI: <https://doi.org/10.1017/9781139016476>
- Ortega-Font, N. M. (2009). La crisis hídrica en la Ciudad de México: un enfoque desde la idea de posmetrópolis, *Trabajo terminal para optar por el Diploma de Especialización en Diseño Opción Estudios Urbanos*. <http://zaloamati.azc.uam.mx/handle/11191/6400>
- PRONACOSE. Comisión Nacional del Agua, Organismo de Cuenca Lerma-Santiago-Pacífico, Universidad Autónoma de Zacatecas. (2015). PMPMS Para Usuarios Urbanos de Agua Potable y Saneamiento. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/99855/PMPMS_ZM_Guadalajara_Jal.pdf
- SACMEX. (2021). Consumo de agua. Datos abiertos. Consultado el 20 octubre de 2023. Disponible en <https://datos.cdmx.gob.mx/dataset/consumo-agua>
- SADM. (2005-2023). *Informes trimestrales de Gestión Financiera*. Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey, I.P.D. Consultado el 23 de octubre de 2023.

- Disponibles en <https://pfiles.sadm.gob.mx/Pfiles/Indicadores/Consulta?idseccion=4>
- SADM. (2022). Consumo de agua por persona en municipios. Comunicación pública en rueda de prensa. Disponible en https://twitter.com/ayd_monterrey/status/1500200335520026630 y <https://rb.gy/fp63cm>
- Scott, C. A., Halper, E. B., Yool, S., Comrie, A. (2009). The evolution of urban heat island and water demand. En *Proceedings of the 89th Annual Meeting*. American Meteorological Society Eighth Symposium on the Urban Environment. Annual Meeting, January 11-15. Disponible en <https://ams.confex.com/ams/pdfpapers/150343.pdf>
- Sisto, N. P., Ramírez, A. I., Aguilar-Barajas, I. y Magaña-Rueda, V. (2016). Climate threats, water supply vulnerability and the risk of a water crisis in the Monterrey Metropolitan Area (Northeastern Mexico). *Physics and Chemistry of the Earth, Parts a/b/c*, 91, 2-9. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2015.08.015>
- Soto, G. (2012). *Estimación de los factores y funciones de la demanda de agua potable en el sector doméstico en México*. Reporte Técnico CONAGUA. DOI: 10.13140/RG.2.1.1597.1365
- Soto, G., Herrera-Pantoja, M. (2019). *Cambio climático y agua en ciudades: impactos en la Ciudad de México. Aspectos científicos y políticas públicas*. UAM-Unidad Cuajimalpa. Consultado el 30 de octubre de 2023. Disponible en <http://ilitia.cua.uam.mx:8080/jspui/handle/123456789/794>
- Soto, G., Ramírez-Fuentes, A. y Maya, L. (2012). *Estimación de los factores y funciones de la demanda de agua potable en el sector doméstico en México*. Informe Final. CIDE/CONAGUA. <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.1.1597.1365>
- Torregrosa, M. L., Aguilar Barajas, I., Jiménez Cisneros, B., Kloster, K., Martínez, P., Palerm, J., Sandoval, R. y Vera, J. (2015). Urban Water in Mexico. En *Urban Water: Challenges in the Americas*. (pp. 382-413). IANAS, UNESCO.
- UNESCO. (2020). *United Nations World Water Development Report 2020: Water and Climate Change*. UNESCO UN-Water. Disponible en <https://dc.uwm.edu/ijger/vol1/iss1/7>
- Vargas, N., Magaña, V. (2020). Climatic risk in the Mexico city metropolitan area due to urbanization. *Urban Climate*, 33, 100644. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2020.100644>
- Vargas-Huipé, N. D. y Rodríguez-Van Gort, M. F. (2023). Temperaturas extremas en ciudades y su impacto en la salud. *Ciencia y Naturaleza*. Disponible en <https://www.revistacyn.com/pub/id1068>
- von Bertrab, E. (2003). Guadalajara's water crisis and the fate of Lake Chapala: A reflection of poor water management in Mexico. *Environment and Urbanization*, 15(2), 127-140. <https://doi.org/10.1177/095624780301500204>