

# Efectos sociodemográficos, de urbanización y clima en el consumo de agua doméstica en Hermosillo, Sonora<sup>[1]</sup>

Sociodemographic, urbanization and climate effects on domestic water consumption in Hermosillo, Sonora

Efeitos sociodemográficos, climáticos e da urbanização no consumo doméstico de água em Hermosillo, Sonora

Effets sociodémographiques, d'urbanisation et climatiques sur la consommation d'eau domestique à Hermosillo, Sonora

▲ Fotografía: autoría propia

Recibido: 23/04/2020  
Aprobado: 29/07/2020

## Cómo citar este artículo:

Ojeda, A., Ramírez, G., Ramos-Corella, M., Miranda, I., Quintana, J. y Verduzco, C. (2021). Efectos sociodemográficos, de urbanización y clima en el consumo de agua doméstica en Hermosillo, Sonora. *Bitácora Urbano Territorial*, 31 (II): 243-258. <https://doi.org/10.15446/bitacora.v31n2.86577>

## Autores

**Arturo Ojeda de la Cruz**

Universidad de Sonora  
arturo.ojeda@unison.mx  
<https://orcid.org/0000-0002-4513-514X>

**Gerardo Ramírez Uribe**

Universidad de Sonora  
gerardo.ramirez@unison.mx  
<https://orcid.org/0000-0001-7036-764X>

**Marco Antonio Ramos Corella**

Universidad de Sonora  
marco.ramos@unison.mx  
<https://orcid.org/0000-0002-2564-3307>

**Israel Miranda Pasos**

Universidad de Sonora  
israel.miranda@unison.mx  
<https://orcid.org/0000-0002-0525-9789>

**Jesús Quintana Pacheco**

Universidad de Sonora  
jesus.quintana@unison.mx  
<https://orcid.org/0000-0003-1797-6213>

**Carlos Eduardo Verduzco Bojórquez**

Universidad de Sonora  
cverduzco@gmail.com  
<https://orcid.org/0000-0002-1489-1444>

[1] El presente artículo se genera de la tesis de grado maestría de uno de los autores, la cual se deriva de una investigación financiada (clave USO316003132), por la Universidad de Sonora, México. El desarrollo del estudio fue posible gracias a la buena respuesta en la gestión de información en las dependencias oficiales: Organismo Aguah, INEGI, y CONAGUA. 19.

## Resumen

Este artículo presenta el resultado de una investigación del consumo de agua doméstica en la ciudad de Hermosillo, Sonora, México. El estudio se desarrolló a nivel de Área Geoestadística Básica para determinar los efectos urbanos de tipo sociodemográfico, climático y de urbanización que influyen en el consumo de agua. Utilizamos los datos registrados en el organismo operador Agua de Hermosillo, así como los indicadores censales registrados por el Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI) en su respectiva cartografía urbana. Se analizó la correlación entre las variables independientes y el consumo de agua. Consecutivamente se determinó el modelo del consumo de agua a través de regresión lineal múltiple

utilizando mínimos cuadrados ordinarios. El análisis reveló que las variables estadísticamente significativas que explican el consumo de agua doméstica con una proporción del 47.5% de la variabilidad, fueron la población total, la población económicamente inactiva, la población de 15 años de edad con estudios básicos incompletos, la densidad de población y la precipitación pluvial. Los resultados pueden contribuir a mejorar el conocimiento actual de los factores que influyen en el uso del agua y ser útil en la planificación del recurso hídrico en el suministro urbano.

**Palabras clave:** Análisis multivariado, consumo de agua, urbanización y clima, determinantes

## Autores

### Arturo Ojeda de la Cruz

Doctor en Filosofía en Asuntos Urbanos, maestro en Geohidrología, Ingeniero Civil por la Universidad Autónoma de Nuevo León. Es profesor investigador categoría Titular en el Departamento de Ingeniería Civil y Minas, de la División de Ingeniería en la Universidad de Sonora. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores del Conacyt. Es Líder del Cuerpo Académico Gestión Urbana (En Consolidación). Es miembro del núcleo académico de la maestría Ingeniería Urbana.

### Marco Antonio Ramos Corella

Doctor en Ingeniería de Proyectos con enfoque Medio Ambiente, Seguridad, Calidad y Comunicación por la Universidad Politécnica de Cataluña. Maestro en Administración de la Construcción por el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM), e Ingeniero Civil por la Universidad de Sonora. Es profesor de asignatura D en el Departamento de Ingeniería Civil y Minas de la División de Ingeniería en la Universidad de Sonora y profesor en la Maestría en Ingeniería Urbana.

### Jesús Quintana Pacheco

Doctor en Gestión y Valoración Urbana por la Universidad Politécnica de Cataluña e Ingeniero Civil por la Universidad de Sonora. Profesor de Tiempo Completo Titular, Coordinador de la Maestría en Ingeniería Urbana, del Departamento de Ingeniería Civil y Minas de la División de Ingeniería de la Universidad de Sonora. Es miembro del Cuerpo Académico Gestión Urbana.

### Gerardo Ramírez Uribe

Doctor en Gestión y Valoración Urbana por la Universidad Politécnica de Cataluña. Es profesor investigador titular de tiempo completo y tiene más de 10 años de experiencia académica e investigación, así como en labores de gestión académica y administrativa en la Universidad de Sonora. Cultiva la línea de investigación Gestión Sostenible de Servicios Urbanos, y la Valoración Urbana.

### Israel Miranda Pasos

Doctor en Ingeniería, Ingeniero Civil por la Universidad De Sonora. Es profesor tiempo completo. Titular en el Departamento de Ingeniería Civil y Minas, de la División de Ingeniería, Universidad de Sonora. Es miembro del núcleo académico de la maestría en Ingeniería Urbana. Tiene diversas publicaciones científicas en revistas que están indexadas.

### Carlos Eduardo Verduzco Bojórquez

Es Ingeniero Civil, y Maestro en Ingeniería por la Universidad de Sonora. Es experto profesional en proyectos de ingeniería ambiental, recursos hídricos, hidrología superficial y subterránea, modelado y predicción en tiempo real de eventos extremos climáticos y de inundación, análisis numérico, programación y enfoque al desarrollo de proyectos de infraestructura verde.

## Abstract

This paper presents the result of an investigation of domestic water consumption in the city of Hermosillo, Sonora, Mexico. The study was carried out at the Basic Geostatistical Area level to determine the urban effects of a socio-demographic, climatic and urbanization type that influence water consumption. We use the data registered in the operating agency Agua de Hermosillo, as well as the census indicators registered by the National Institute of Geography and Information Statistics (INEGI) with their respective urban cartography. The correlation between the independent variables and water consumption was analyzed. Consecutively, the best model of water consumption was determined through multiple linear regression using ordinary least squares. The analysis revealed that the statistically significant variables that explain domestic water consumption with a proportion of 47.5% of the variability, were the total population, the economically inactive population, the 15-year-old population with incomplete basic studies, the population density and the pluvial precipitation. The results can contribute to improve the current knowledge of the factors that influence the use of water and be useful in planning the water resource in the urban supply.

**Keywords:** Multivariate analysis, water consumption, urbanization and climate, determinants

## Résumé

Cet article présente le résultat d'une enquête sur la consommation d'eau domestique dans la ville d'Hermosillo, Sonora, Mexique. L'étude a été réalisée au niveau de la zone géostatistique de base pour déterminer les effets urbains d'un type sociodémographique, climatique et d'urbanisation qui influencent la consommation d'eau. Nous utilisons les données enregistrées dans l'agence d'exploitation Agua de Hermosillo, ainsi que les indicateurs de recensement enregistrés par l'Institut national de la géographie et des statistiques de l'information (INEGI) avec leur cartographie urbaine respective. La corrélation entre les variables indépendantes et la consommation d'eau a été analysée. Consécutivement, le meilleur modèle de consommation d'eau a été déterminé par régression linéaire multiple utilisant les moindres carrés ordinaires. L'analyse a révélé que les variables statistiquement significatives expliquant la consommation d'eau domestique avec une proportion de 47.5% de la variabilité étaient la population totale, la population

## Resumo

Este artigo apresenta o resultado de uma investigação sobre o consumo doméstico de água na cidade de Hermosillo, Sonora, México. O estudo foi realizado no nível da Área Geoestatística Básica para determinar os efeitos urbanos de um tipo sociodemográfico, climático e de urbanização que influencia o consumo de água. Utilizamos os dados cadastrados na agência operadora Água de Hermosillo, bem como os indicadores censitários cadastrados pelo Instituto Nacional de Geografia e Estatística da Informação (INEGI) com suas respectivas cartografias urbanas. Foi analisada a correlação entre as variáveis independentes e o consumo de água. Consecutivamente, o melhor modelo de consumo de água foi determinado por meio de regressão linear múltipla usando mínimos quadrados ordinários. A análise revelou que as variáveis estatisticamente significativas que explicam o consumo doméstico de água com uma proporção de 47.5% da variabilidade, foram a população total, a população economicamente inativa, a população de 15 anos com estudos básicos incompletos, a densidade populacional e a precipitação pluvial. Os resultados podem contribuir para melhorar o conhecimento atual dos fatores que influenciam o uso da água e ser úteis no planejamento do recurso hídrico no abastecimento urbano.

**Palavras-chave:** Análise multivariada, consumo de água, urbanização e clima, determinantes



Efectos sociodemográficos, de urbanización y clima en el consumo de agua doméstica en Hermosillo, Sonora

économicamente inactiva, la población de 15 años con estudios de base incompletos, la densidad de la población y las precipitaciones pluviales. Los resultados pueden contribuir a mejorar las conocimientos actuales sobre los factores que influyen en el uso del agua y ser útiles en la planificación de la recurso en agua en el abastecimiento urbano.

**Mots-clés:** analyse multivariée, consommation d'eau, urbanisation et climat, déterminants

## Introducción

En México existe una diversidad de climas debido a las características del relieve. Dos terceras partes del territorio nacional son áridas o semiáridas, mientras que el sureste es húmedo con precipitaciones pluviales que en promedio rebasan los 2,000 milímetros por año. En el 95% del territorio del estado de Sonora los climas son muy secos, secos y semi-secos, así que se caracterizan por su alta temperatura y escasa precipitación. La distribución promedio de las precipitaciones pluviales presenta rangos muy bajos al poniente del Estado; en específico, la cuenca del río Sonora, que provee del recurso hídrico a la zona de estudio, registra un promedio anual entre 100 mm y 250 mm (CONAGUA, 2010).

La ciudad de Hermosillo es la cabecera del municipio con el mismo nombre en el Estado de Sonora, México; presenta una población censal de 715,061 habitantes de acuerdo a los datos más recientes de INEGI. Se ubica en la parte central-poniente de la planicie costera, a una elevación de 210 metros sobre el nivel del mar, y se localiza geográficamente a 29° 06' de latitud norte y 110° 58' de longitud oeste (Figura 1). En su clima cálido predominan altas temperaturas de mayo a septiembre, con una temperatura máxima de 42oC y valores extremos de 46oC (108oF y 115oF); asimismo, la precipitación pluvial media anual registrada en la ciudad de Hermosillo, en el periodo de 1982 a 2015, alcanzó un valor de 330.8 mm. (CONAGUA, 2018).

El objetivo del presente artículo de investigación es determinar las variables que influyen en el consumo de agua doméstica a nivel de Area Geoestadística Básica (AGEB) en la ciudad de Hermosillo Sonora, México. Para ello, se consideran en el análisis los indicadores sociodemográficos, de urbanización y climáticos del área urbana. Además, se desarrolla un análisis estadístico multivariado a través del análisis de regresión lineal múltiple. Este estudio puede contribuir de manera importante en la generación de información y conocimiento respecto al consumo de agua en zonas urbanas de esta región desértica del noroeste de México. Asimismo los resultados se comparan con los obtenidos en otros estudios que han utilizado herramientas similares, en otras regiones y países. La pregunta de investigación planteada fue: ¿Cuáles variables urbanas sociodemográficas, de urbanización y climáticas son estadísticamente significativas y explican el consumo de agua doméstica a nivel de AGEb?

La ciudad de Hermosillo ha presentado un crecimiento urbano plano y disperso; el crecimiento en urbanización, en el periodo de 1970 a 1990, presentó altas tasas de crecimiento poblacional (5.34%, 3.18%). Posteriormente, de 1990 a 1995, fue de 4.2%, lo cual originó una amplia extensión territorial de la ciudad —con altas tasas de urbanización de 3.9%, 7.1% y 5.4%. En consecuencia, hubo mayor presión y demanda de los servicios básicos urbanos, siendo crítico el caso del agua doméstica (Ojeda et al., 2014). En respuesta a la crisis hídrica recurrente, debida a la prolongación del periodo de estiaje, el organismo operador Agua de Hermosillo (AGUAH), desde 2010 hasta 2013, implementó por segunda vez un plan de abasto restringido, con suministro intermitente en el servicio de agua para los hogares.

*El objetivo del presente artículo de investigación es determinar las variables que influyen en el consumo de agua doméstica a nivel de Area Geoestadística Básica (AGEB) en la ciudad de Hermosillo Sonora, México. Para ello, se consideran en el análisis los indicadores sociodemográficos, de urbanización y climáticos del área urbana.*

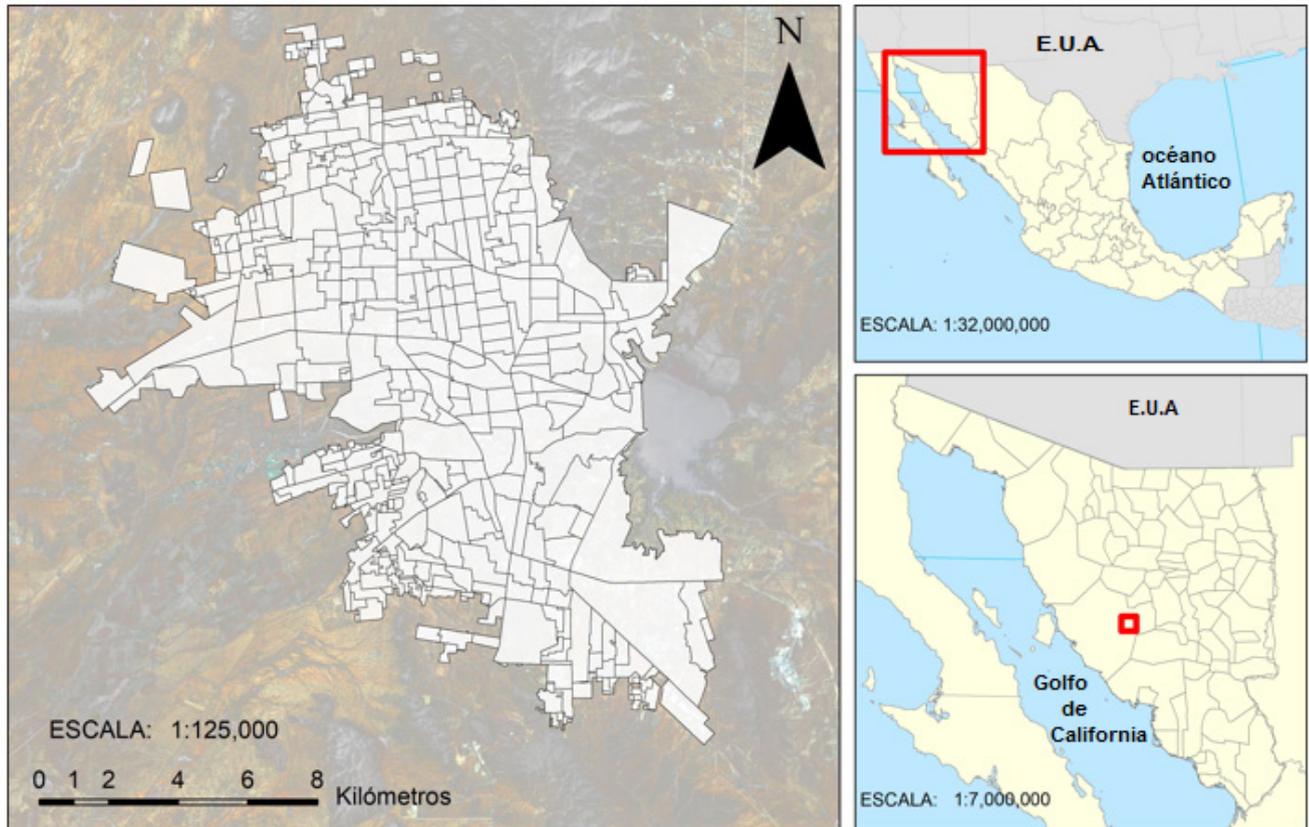


Figura 1. Localización geográfica de la zona de estudio  
Fuente: Elaboración propia con ArcGis 10.2.

## Estado del Arte

En diversos estudios relacionados con el consumo de agua doméstica se ha encontrado relación entre variables demográficas y sociales, espacio geográfico y nivel de consumo de agua (House-Peters et al., 2010; Jaanmat, 2013; Wentz & Gober, 2007). Ante las preocupaciones relacionadas con el cambio climático y sus impactos en el abastecimiento de agua, hay un énfasis cada vez mayor en la preparación para los cambios previstos de los servicios públicos de agua, a fin de garantizar la sostenibilidad en el suministro (Babel et al., 2014).

Ocasionalmente cuando existe competencia por el agua, el suministro no siempre satisface la demanda. Esto requiere un análisis cuidadoso de las decisiones relativas a la asignación de recursos hídricos (Arbués et al., 2003). En las decisiones efectivas sobre infraestructura, programas y tecnologías, los profesionales deben analizar en el futuro el suministro de agua y las

demandas de los diversos sectores en el contexto del cambio climático, las presiones del desarrollo y los intereses en competencia (Neale et al., 2007).

Gutzler & Nims (2005), al estudiar los efectos del clima en la demanda de agua en Albuquerque, Nuevo México, E.U, encuentran poca correlación entre la variabilidad interanual del clima y la demanda de agua. Este resultado es diferente de lo que observaron en el verano, cuando la demanda de agua en los hogares se correlacionó con la precipitación y la temperatura máxima promedio. Arbués & Villanúa (2006) señalan que, en la comunidad de Aragón, al noreste de España, el recurso hídrico es cada vez más escaso, debido al incremento de las necesidades de agua urbana, que exceden al suministro disponible en las fuentes. Las causas principales de esa escasez son la expansión urbana, el crecimiento de la población, los altos ingresos, los cambios en el estilo de vida, y los precios bajos. Por su parte, Saurí (2013) expone que el consumo de agua urbana en las ciudades más compactas de Europa ha disminuido en las últimas décadas, atribuyendo tales descensos a medidas de conservación

del agua, al incremento de los precios, a los subsidios para tecnologías de ahorro de agua y a las campañas de sensibilización, incluyendo la prohibición en determinados usos.

Es así que el uso del agua varía en las diferentes zonas residenciales: las áreas de mayores ingresos económicos son las que presentan más alto consumo de agua, mientras que las zonas de bajos ingresos muestran un menor consumo (Manzungu & Machiridza, 2005). A medida que el cambio climático antropogénico amenaza la fiabilidad de los suministros urbanos de agua, se hace esencial fomentar la comprensión de las relaciones entre el clima y el consumo de agua (Praskievicz & Chang, 2009). Al desarrollar un estudio espacial para la ciudad de Phoenix, Arizona, Lee, et al. (2009), determinan patrones de consumo y obtienen un modelo espacial. Desarrollan pronósticos de la demanda de agua en la geografía de la ciudad utilizando como variable independiente la densidad de población, la cual es adaptable a variables sociodemográficas.

Romano et al. (2016) analizaron el consumo de agua residencial en 103 ciudades de Italia para obtener los determinantes. Considerando el consumo medio anual, utilizaron la técnica de modelo lineal mixto; encontraron que el incremento de las tarifas provoca una reducción significativa en el consumo de agua, mientras que, a mayor población, se genera un incremento en el consumo. Respecto a las variaciones del consumo de agua, March y Saurí (2010), en su estudio para la región metropolitana de Barcelona, señalan que la geografía de la zona tiene un papel importante en el uso del agua del sector doméstico. Las variables en el modelo fueron la densidad de población, el tamaño del hogar y sus ingresos económicos.

Duque et al. (2013), en su estudio para comprender la razón de una reducción de consumo de agua en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá, Colombia, identificaron que las variables influyentes fueron las referidas a personas mayores de 60 años, personas con estudios universitarios, desempleados y hogares que disponían de gas natural en su vivienda. Mientras tanto, en el estudio sobre el uso del agua residencial realizado por Yurina et al. (2003), en ciudades de Japón, Norte América y Australia, los factores influyentes fueron el clima, la disponibilidad de agua, el precio del agua, el tamaño del hogar y los antecedentes culturales. Distinto fue el estudio del consumo de agua residencial en viviendas multifamiliares de Tempe, Arizona, E.U., donde las variables fueron el uso de lavadora, lavavajillas y alberca (Wentz et al., 2013).

Li et al. (2017), aplicando regresión múltiple por mínimos cuadrados ordinarios en un estudio a nivel de sección censal de tres ciudades de Nebraska, encontraron una fuerte correlación del consumo de agua con las variables población y área de paisaje; así, afirmaron que en sectores con lotes de gran tamaño y baja densidad de población se tienen más altos consumos de agua. Sin embargo, se ha documentado que la demanda de agua residencial está influenciada por la heterogeneidad asociada con las diferencias en el tamaño de los hogares y las características socioeconómicas (Arbués et al., 2010).

El estudio desarrollado por Schleich y Hillenbrand (2009) determinó que el factor más influyente en la reducción del consumo de agua residencial fue la tarifa, mientras que, en zonas de altos ingresos económicos, con población de mayor edad y hogares grandes, el consumo incrementaba. Por otro lado, Chang et al. (2014) aplican distintos modelos de regresión en su estudio del uso estacional del agua urbana entre 1960 y 2013; el resultado revela que la variación en la temperatura máxima es el predictor más importante y, en segundo lugar, la precipitación pluvial sobre el consumo estacional de agua per cápita. Destacan el mes de julio y el verano, explicando hasta el 48% de la variación en el consumo de agua. Parandvash & Chang (2016), por su parte, utilizan datos socioeconómicos y climáticos de áreas urbanas de diferente densidad en Portland, E.U., para evaluar el cambio en la demanda de agua, y determinan un modelo de regresión en el que las variables climáticas y el desempleo presentan mayor sensibilidad al consumo de agua per cápita.

## Materiales y Métodos

---

### Diseño de la Investigación

La investigación desarrollada se planteó en dos etapas. En la primera, el estudio se enfocó en la gestión y recolección de datos en dos dependencias gubernamentales y una entidad operativa. Del organismo operador Agua de Hermosillo se estudiaron los datos mensuales del consumo de agua de todos los hogares para el año 2015, mientras que la información del clima (temperatura y precipitación), registrada en las estaciones climatológicas en la zona urbana, fue recolectada en la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). Los indicadores sociodemográficos provienen de los datos censales que registra el Instituto INEGI, responsable de registrar y generar información censal

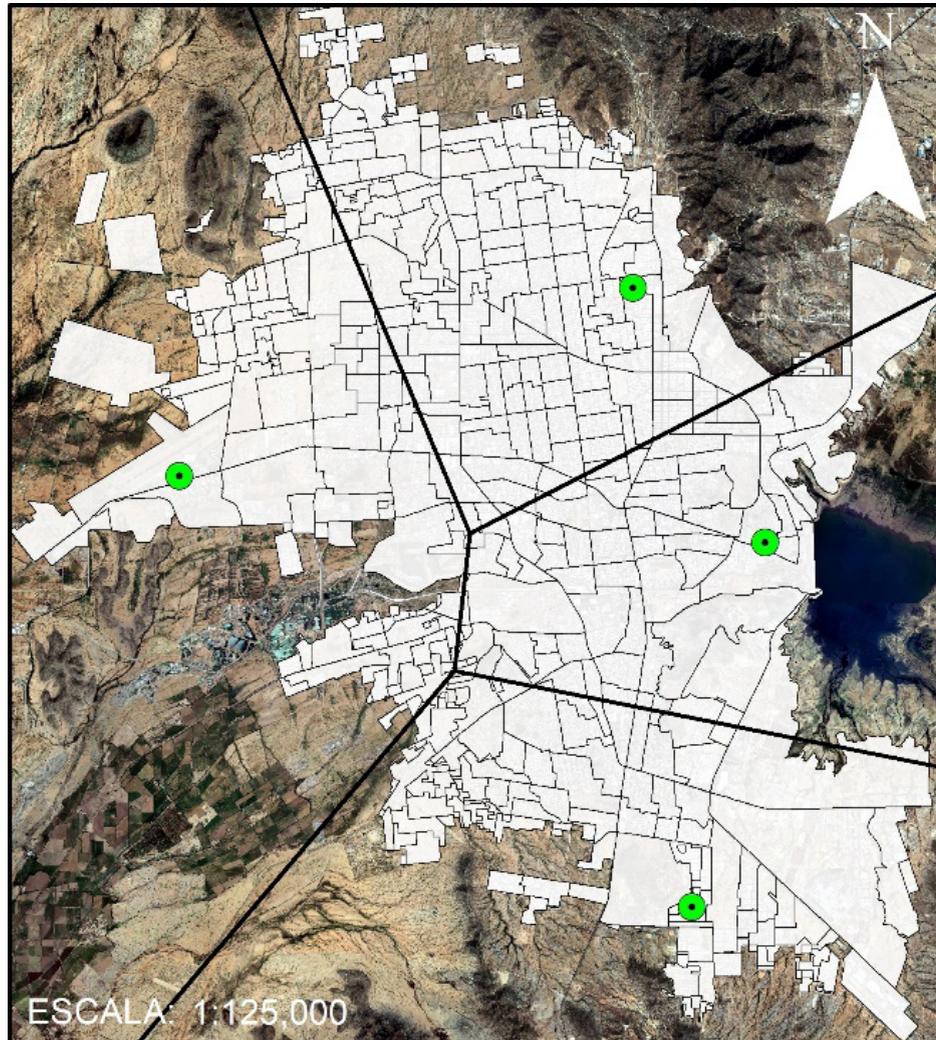


Figura 2.  
Sectores geográficos por estación climatológica  
Fuente: Elaboración propia con ArcGis 10.2.

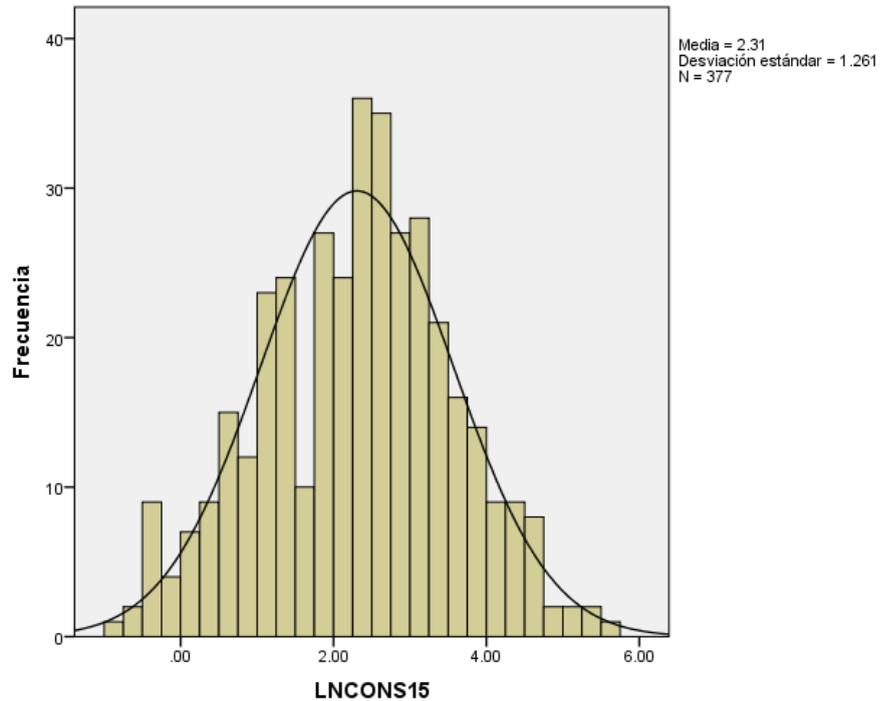
en México, presentados a nivel de Área Geoestadística Básica en su cartografía urbana para cada localidad del país.

La segunda etapa del estudio se orientó, fundamentalmente, a integrar la base de datos constituida por las variables consideradas según la literatura examinada. Posteriormente, se realizó el análisis, aplicando técnicas de estadística multivariada con el software SPSS versión 22 y utilizando regresión múltiple. Fue decisión de los autores utilizar el software SPSS por su versatilidad y por haber sido utilizado ya con gran éxito en otros estudios urbanos en la región de estudio. La tercera etapa se dedicó al análisis de datos y sus resultados.

## Variables y Metodología

### Variable dependiente.

La variable dependiente corresponde al consumo de agua doméstica (uso interior y exterior) en los hogares de la ciudad de Hermosillo a nivel de AGEB para el año 2015. Sus datos se gestionaron en el organismo AGUAH, responsable del servicio de abasto de agua. La información proporcionada colectada consistió en los consumos mensuales de agua (m<sup>3</sup>) de cada vivienda (sin nombres de usuarios, por ser esta información reservada). La extensión de la base de datos fue de 195,640 registros para ese año. Los consumos de agua estudiados fueron los del año 2015, por ser el año central de la década y porque la población del censo más reciente (2010) es la que genera dichos consumos.



**Figura 3.**  
Histograma de LNCONS15 y curva normal  
Fuente: Elaboración propia con SPSS.

Considerando que el análisis en el presente estudio es al nivel de AGEB, se extrajo la definición de este concepto expuesta por el INEGI: área geográfica ocupada por un conjunto de manzanas perfectamente delimitadas por calles, avenidas, andadores o cualquier otro rasgo de fácil identificación en el terreno, y cuyo uso del suelo es principalmente habitacional, industrial, de servicios y comercial.

De acuerdo con Ojeda (2013) —y en virtud de que el Organismo AGUAH tiene sus registros del consumo de agua por vivienda en cada colonia, y de que las variables sociodemográficas en INEGI se resumen por AGEB (Área Geoestadística Básica)—, es necesario homogenizar el nivel de información haciendo una conversión e intersección geográfica para transferir los consumos de agua de las colonias hacia las AGEB en la cartografía urbana de Hermosillo. Esto consiste en realizar una intersección geoespacial entre polígonos de la cartografía de Colonias y AGEB, utilizando ArcGis 10.2 para asignar, finalmente, el valor correspondiente del consumo de agua. Para el caso de Hermosillo el INEGI tiene estructurada la zona urbana en 500 AGEBs de la cartografía censal 2010 con sus respectivos indicadores censales. El censo íntegro más reciente corresponde a ese año, pues el conteo del INEGI en 2015 no se realizó en todo México. El censo del año 2020 había iniciado en marzo, pero fue suspendido en abril por motivos de la contingencia sanitaria.

### VARIABLES INDEPENDIENTES Y BASES DE DATOS.

Las variables seleccionadas para esta investigación se sustentan en aquellas desarrolladas en otros países con casos similares. Fueron en total 29 variables independientes urbanas identificadas en cuatro grupos. El primero se formó con los indicadores sociodemográficos más recientes de INEGI (2010) a nivel de AGEB; se agrupan aquí 17 variables, nueve de ellas relacionadas con la estructura de población, cuatro referidas al nivel de educación, tres que refieren datos económicos, y una variable referida a la salud. Para el segundo grupo, se calcularon dos variables relacionadas con la urbanización: densidad de vivienda y densidad de población. Del tercer grupo se seleccionaron ocho variables, que aluden a las características de la vivienda. El cuarto grupo se enfocó en el clima, seleccionando para ello dos variables (la precipitación pluvial en milímetros y la temperatura en grados centígrados) al nivel urbano. En principio, fue imperativo identificar la ubicación de las estaciones climatológicas, buscando que estuvieran localizadas en la geografía de la ciudad, para que fuesen representativas, y que sus registros dispusieran de información del consumo de agua del 2015. Fueron cuatro estaciones climatológicas las que cumplieron con los requisitos (Figura 2).

Tipo de variable	Variable	Descripción	r
Sociodemográfica	LNPop	Población total	0.511 b
	LNPop_MAS	Población masculina	0.489 b
	LNPop_FEM	Población femenina	0.511 b
	Prom_Ocup	Promedio de ocupantes por vivienda	0.267 b
	LNPop65_M	Población de 65 años, y más.	0.277 b
	Pob15_PInc	Pob.15 años edad, estudios primaria incompleta	0.217 b
	P15yM_AN	Población de 15 años y más analfabeta	0.208 b
	Viv_Lav	Viviendas con lavadora	0.540 b
Socioeconómica	Pob_EIN	Población económicamente inactiva	0.522 b
	Viv_Inter	Viviendas que tienen internet	0.565 b
	Viv_Vehic	Viviendas que tienen automóvil	0.552 b
Urbanización	Dens_Pob	Densidad de población (hab/Ha)	-0.182 b
	Dens_Viv	Densidad de vivienda (viv/Ha)	-0.198 b
Clima	Prec_P	Precipitación pluvial media anual ( mm)	-0.112 a
	Temp	Temperatura media (oC)	0.113 a

<sup>b</sup> La correlación es significativa al nivel 0.001    <sup>a</sup> La correlación es significativa al nivel 0.05

**Tabla 1.** Variables correlacionadas con el Consumo de agua LNCON15  
Fuente: elaboración propia con SPSS

Las estaciones seleccionadas, con su valor medio anual, fueron la Estación Aeropuerto, al poniente de la ciudad (Pm = 43.84 mm y Tm =24.83oC); la Estación Colonia Misión del Sol, en el norte (Pm =32.03 mm y Tm = 26.55oC); la Estación Centro, al oriente (Pm =55.07 mm y Tm =25.96oC), y, al sur, la estación Colonia Altares (Pm =51.86 mm y Tm =25.63oC). Teniendo en cuenta que toda estación tiene un área de influencia urbana, los sectores se definieron a través del método universal polígonos de Thiessen (1911). Luego se asignaron los valores de precipitación y temperatura de cada estación a los AGEB correspondientes.

### Requerimientos necesarios para el Análisis.

En esta etapa del estudio, se examinó la significancia estadística de la variable dependiente, utilizando la prueba de Kolmogorov-Smirnov (K-S), la cual permite medir el grado de concordancia entre la dis-

tribución de un conjunto de datos y la distribución de probabilidad de tipo normal. Este análisis indicó que los datos de la variable dependiente inicialmente no cumplían con los criterios de una distribución normal, presentando un p-valor = 0.000 que es menor al estipulado de 0.05 (5%). Fue necesario transformar sus valores utilizando el criterio de logaritmo natural (LN), asignando para ello el nombre de LNCONS15. Transformada la variable dependiente, se aplicó de nuevo la prueba K-S y se obtuvo el p-valor = 0.075, cumpliendo, así, el requisito estadístico de normalidad (Figura 3).

Para desarrollar el análisis de correlación mediante SPSS, se eligió el criterio de Pearson, ya que todas las variables son de tipo cuantitativo. Se descartaron algunas variables que mostraban poca incidencia, así como las de muy alta correlación, que generaban riesgo de multicolinealidad entre variables.

### Análisis de Regresión Múltiple.

Este análisis de regresión consistió en determinar la ecuación del modelo que representa el consumo de agua en los hogares. Las variables que representan el modelo son aquellas que logran influir en los valores de la variable dependiente. La ecuación del modelo teórico está representada por

$$Y = B_0 + B_1 X_1 + B_2 X_2 + B_3 X_3 \dots + B_n X_n + \epsilon$$

dónde:

- $Y$  es la variable dependiente a explicar (Consumo Agua).
- $X_1, X_2, \dots, X_n$ : son las variables independientes.
- $B_0$  coeficiente o constante.
- $B_i$  coeficientes que acompañan a cada variable independiente.
- $\epsilon$ : error o residuales

La base de datos se constituyó con la variable consumo de agua y con las variables independientes, todas al nivel de AGEB, aplicando regresión lineal múltiple mediante el software SPSS versión 22. Esta etapa del análisis permitió elegir las variables predictoras en la regresión aplicando el método de mínimos cuadrados ordinarios y utilizando el criterio stepwise. Una vez definido el modelo, se verificó el cumplimiento de los condicionantes de la regresión. Se confirmaron entonces las pruebas de linealidad entre la relación de variables, así como la homoscedasticidad, independencia y normalidad de los residuos, a fin de garantizar la validez del modelo y su aplicación.

## Resultados y discusión

Del análisis de correlación bivariada, el resultado reveló 15 variables que presentaron correlación con el consumo de agua (LNCONS15). La Tabla 1 muestra el coeficiente de correlación ( $r$ ) y los niveles de significancia estadística de cada variable. El coeficiente de correlación mide el grado de asociación entre el consumo de agua y cada variable independiente.

En la Tabla 1 se observa que las variables referidas a la estructura de la población mostraron correlación positiva en el consumo de agua con alta significancia estadística (al nivel de 0.001). El valor de " $r$ " fue similar para las variables LNPop y LNPop\_FEM, lo

cual indica que, a mayor cantidad de personas con esas características, el consumo de agua tiende a incrementarse. Lo mismo sucede con las variables referidas a la educación, donde puede observarse que resultan con alta significancia estadística, aunque su coeficiente de correlación es menor que las anteriores. Ahora bien, es notorio que las variables referidas al estatus económico presentaran más alta significancia estadística y el valor más alto positivo, y muy similar en su coeficiente " $r$ ", lo cual indica que, a mayor cantidad numérica en estas variables, se tendrá mayor consumo de agua.

Las variables que representan la urbanización de la ciudad de Hermosillo, referidas a la Dens\_Pob y Dens\_Viv, mostraron correlación negativa con un alto nivel de significancia, demostrando que el consumo de agua tiende a disminuir al presentarse valores altos en las unidades de estas variables. Respecto a las variables referidas al clima, existe correlación negativa y positiva en Prec\_P y Temp, respectivamente, dado que al presentarse lluvias en la zona urbana el consumo de agua disminuye, mientras que, con mayores temperaturas, aumenta. Esto coincide con Romano et al. (2014), quienes encontraron en su estudio del consumo del agua en Italia una correlación entre las variables precipitación, temperatura y población total. Asimismo, Balling et al. (2008) identificaron que el consumo de agua residencial en Phoenix, Arizona, se relacionó con las variaciones del clima. De manera similar ocurre con Schleich y Hillenbrand (2009). En contraste, Yu Xue et al. (2015), en su estudio sobre Puerto Rico, encontraron que el consumo de agua se relacionó con la densidad de población, al igual que Villarin (2019).

Una vez reducido el número de variables con el análisis de correlación, pasamos a la etapa del análisis de regresión donde participan las 15 variables mostradas en la Tabla 1. Como resultado se obtuvo un modelo con el menor error típico, en donde sus variables en conjunto explicaron en mayor proporción el consumo de agua. El modelo seleccionado explicó el 47.5% ( $R^2 = 0.475$ ) de la variación conjunta, observada en los datos del consumo de agua (Tabla 2).

Las variables de tipo sociodemográfico en el modelo son población total (LNPop), población de 15 años con educación elemental incompleta (P15\_PInc) y población económicamente inactiva (Pob\_EIN). La variable del tipo urbanización, por su parte, es la densidad de población (Dens\_Pob), y la variable de tipo climático, la precipitación pluvial media (Prec\_P).

Modelo / variables	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes Estandarizados	t	Sig.	Estadísticos de Colinealidad		
	B	Error Std.	Beta			T	FIV	IC
Constante	.989	.359		2.752	.006			
Dens_Pob LNPop	-.011	.001	-.353	-8.957	.000	.901	1.110	2.9
	.350	.050	.410	6.956	.000	.401	2.492	5.08
Pob15_PInc	-.005	.001	-.367	-6.668	.000	.461	2.168	6.31
Pob-EIN	.001	.000	.524	7.482	.000	.285	3.510	13.95
Prec_P	-.017	.005	-.123	-3.244	.001	.972	1.028	22.82

R<sup>2</sup> = 0.482  
R<sup>2</sup> corregida = 0.475  
D-W = 1.56  
F valor = 68.974  
Sig. F valor = 0.000

**Tabla 2.** Modelo del consumo de agua, con sus variables y coeficientes  
**Fuente:** elaboración propia con SPSS

Particularmente, la variable explicativa precipitación pluvial (Prec\_P) resultó muy congruente al tener un coeficiente negativo (B). Al presentarse lluvias en la ciudad, los habitantes dejan de utilizar agua o tienden a utilizar en menores cantidades, pues se refresca el medio ambiente urbano y se dejan de regar las áreas verdes por un lapso de tiempo. Lo mismo sucede con la variable densidad de población, ya que se relaciona con la mayor concentración de viviendas en menor superficie; en todo caso, se vincula con el crecimiento urbano vertical (referido al desarrollo habitacional vertical). Similarmente, el coeficiente negativo de la variable Pob15\_PInc se asocia con personas que tienen estudios truncaos en el nivel básico, ya que desertan y es muy probable que no tengan hábitos que les inciten a consumir más agua en el hogar. Por su parte, las variables población total (LNPop) y población económicamente inactiva (Pob\_EIN) revelan un coeficiente positivo, en virtud de que el consumo de agua tiende a incrementarse con el número de habitantes que permanecen en los hogares y, a su vez, la población económicamente inactiva tiende a consumir más agua al estar más tiempo en casa y realizar actividades en el hogar.

La independencia de los residuos del modelo se verificó con el estadístico Durbin-Watson (D-W = 1.56). Este requisito se cumple, pues revela que los residuos son aleatorios y no están correlacionados entre sí, ya que, de acuerdo con Pérez (2009), el rango aceptable para D-W es entre 1.5 y 2.5. Por otro lado, la variable densidad de Población (Dens\_Pob) resultó atractiva

en relación con la disminución del consumo de agua en la ciudad de Hermosillo; así, la invitación es a ser más estrictos en los futuros planes de desarrollo urbano y a que las autoridades competentes planeen el desarrollo con un crecimiento urbano más compacto. Un incremento en la densidad de vivienda repercute directamente en un incremento en la densidad de población, lo que genera una reducción en el consumo de agua.

El modelo que resulta para la ciudad de Hermosillo arroja un coeficiente de determinación R<sup>2</sup> = 0.475, cuyo valor es aceptable en lo general, ya que explica el 48% de la variabilidad del consumo de agua con las cinco variables predictoras que lo representan. House-Peters et al. (2010) encontraron valores similares en un estudio a nivel de sección censal en Hillsboro, Oregon, con un valor de R<sup>2</sup> = 0.57. Praskievicz & Chang (2009), indicaron que su resultado fue R<sup>2</sup> = 0.389 a 0.613 para la ciudad de Seúl, Corea. Un estudio similar en Phoenix, Arizona, conducido por Wentz and Gober (2007), encontró el valor R<sup>2</sup> = 0.64; por su parte, Chang et al. (2014) determinaron que R<sup>2</sup> = 0.48 para la ciudad de Portland, Oregon.

Por otra parte, los resultados del Análisis de la Varianza (ANOVA) revelaron que existe un efecto real de las variables independientes sobre el consumo de agua en el modelo elegido, ya que el estadístico Fisher (F) fue aceptable al ser mayor que la unidad (F = 68.974 con Sig. = 0.000). Esto resulta estadísticamente significativo al ser menor que 0.05 (p-valor), lo cual

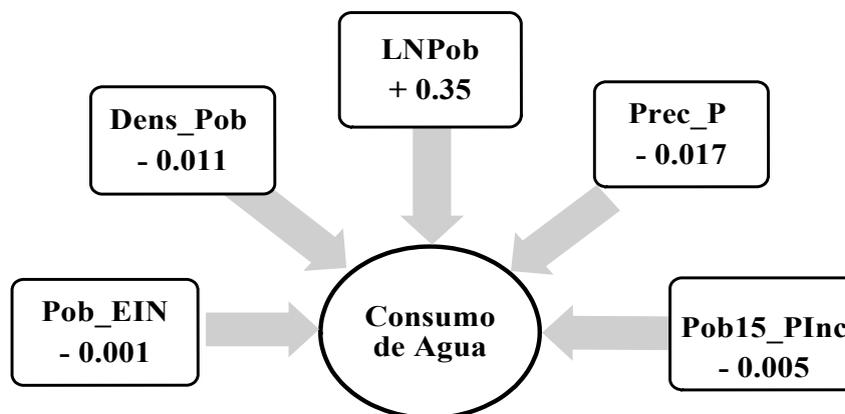


Figura 4. Modelo del consumo de agua doméstica al nivel de AGEB en Hermosillo

Fuente: Elaboración propia.

rechaza la hipótesis nula “Ho”, de inexistencia de relación en el modelo.

En el estadístico Tolerancia (T), el resultado de cada variable se aproxima a la unidad, revelando que la solución es aceptable. El supuesto de colinealidad, revisado con el factor de inflación de la varianza (FIV), muestra ser adecuado para todas las variables, puesto que  $FIV < 5$  (Tabla 2). En ese sentido, algunos autores mencionan que valores del  $FIV > 5$  indican que puede ser relevante la colinealidad (Kizys & Pérez, 2002). Asimismo, la ausencia de multicolinealidad se confirmó con el estadístico Índice de Condición (IC); en este caso todas las variables mostraron un IC adecuado, el valor más alto fue de 22.8 en la variable precipitación pluvial (Tabla 2), lo cual garantiza ausencia de multicolinealidad en las variables del modelo. Un valor de  $IC > 30$  indicaría presencia de multicolinealidad. Por otra parte, el término de homoscedasticidad se refiere a que la varianza de los residuos es constante, por lo que, revisando la dispersión de los residuos tipificados versus los residuos tipificados predichos, se comprobó que resultaron aleatorios y que no existe problema alguno con el modelo. Respecto al condicionante de normalidad de los residuos, se verificó que la nube de puntos está perfectamente alineada sobre la diagonal.

El modelo de consumo de agua en los hogares para la ciudad de Hermosillo a nivel de AGEB se muestra en la Figura 4 con todas sus variables y coeficientes. Está representado por la ecuación de regresión siguiente:

$$\ln Y = 0.989 + 0.35 \ln Pob - 0.005 Pob15\_PInc + 0.001 Pob\_EIN - 0.011 Dens\_Pob - 0.017 Prec\_P$$

## Conclusiones

El modelo del consumo de agua a nivel de AGEB para la ciudad de Hermosillo resultó integrado por cinco determinantes que explican la variabilidad del consumo. Las variables de tipo sociodemográfico son la población total, la población de 15 años con educación elemental incompleta y la población económicamente inactiva. De tipo urbanización, la variable determinante fue densidad de población y, de tipo climático, la precipitación pluvial media. Las variables del modelo mantienen alta significancia estadística e influyen de manera global en la magnitud del consumo.

El modelo revela que la variable densidad de población ilustra el efecto del grado de urbanización presente en la ciudad y sugiere un vínculo del uso del agua con el patrón de desarrollo urbano. Su coeficiente negativo significa que, cuanto mayor sea la concentración de habitantes en sectores geográficos, menor será el consumo global de agua. Sería de gran beneficio que esta variable fuera replicada en gran parte de la ciudad mediante el desarrollo de unidades habitacionales de crecimiento vertical, lo que exige una mejor orientación de la planeación urbana.

Se concluye, también, que cuando se presenten precipitaciones pluviales continuas se tendrán efectos favorables para una disminución del consumo total de agua en los hogares, dado que el coeficiente de esta variable climática en la ecuación interviene con signo negativo, presentando beneficio en menor uso de agua para el riego de jardines y, en su caso específico, en el uso de piscinas. De manera similar podrá suceder en los sectores geográficos en la ciudad de Hermosillo con habitantes mayores de 15 años de

edad que no tengan terminados sus estudios básicos elementales, pues esta variable evidencia que, al no tener hábitos dirigidos al mayor consumo de agua en los hogares, esta población consume menos agua. Al contrario, una mayor escolaridad en las personas incrementa los ingresos económicos y, en consecuencia, como se indica en Arbués et al. (2003) y Arbués (2010), un incremento en el consumo de agua.

Fue notorio y relevante que la variable temperatura urbana, en su valor medio o en sus valores de temperaturas extremas mínima o máxima, no resultara explicativa del modelo, a pesar de que en un principio si hubiese correlación. Posiblemente, esto se debe a que fueron pocas estaciones climatológicas las consideradas en la mancha urbana de la ciudad, pues solo cuatro cumplieron con el requisito de poseer información continua en el periodo de estudio. Esto invita a desarrollar una investigación posterior donde puedan involucrarse mayores datos de esta variable climática para confirmar los resultados.

Finalmente, respecto a los condicionantes de la regresión estadística (linealidad y multicolinealidad de las variables, así como la normalidad y homoscedasticidad e independencia de los residuos), se confirmó un cumplimiento satisfactorio que validó el modelo. Por lo tanto, los resultados de esta investigación pueden ser utilizados para identificar algunas previsiones de la demanda de agua del sector doméstico, el cual representa cerca del 90% del total de agua suministrada a la red de distribución del organismo operador en la ciudad de Hermosillo.

## Referencias

- AGUA DE HERMOSILLO. ORGANISMO OPERADOR, AGUAH (2013). *Aguah en Números*. <http://www.aguadehermosillo.gob.mx/inicio/organismo/aguahen-numeros>
- ARBUÉS, F., GARCÍA-VALIÑAS, M., Y MARTINEZ-ESPIÑEIRA, R. (2003). Estimation of residential water demand: a state of the art review. *Socio-Economics*, 32, 81-102. [https://doi.org/10.1016/S1053-5357\(03\)00005-2](https://doi.org/10.1016/S1053-5357(03)00005-2)
- Arbués, F. y Villanúa, I. (2006). Potential for Pricing Policies in Water Resource Management: Estimation of Urban Residential Water Demand in Zaragoza, Spain. *Urban Studies*, 13(43), 2421- 2442. <https://doi.org/10.1080-0042098061038255>.
- ARBUÉS, F., VILLANÚA, I. & BARBERÁN, R. (2010). Household size and residential water demand: an empirical approach. *Agricultural and Resource Economics*, 54, 61-80. <https://doi.org/10.1111/j.14678489.2009.00479.x>.
- BABEL, S., MAPORN, N. & SHINDE, V. (2014). Incorporating future climatic and socioeconomic variables in water demand forecasting: A case Study in Bangkok. *Water Resources Management*, 28, 2049-2062. <https://doi.org/10.1007/s11269-014-0598-y>.
- BALLING, R. JR., GOBER, P., & JONES, N. (2008). Sensitivity of residential water consumption to variations in climate: an intraurban analysis of Phoenix, Arizona. *Water Resources Research*, 44(W10401), 1-11. <https://doi.org/10.1029/2007WR006722>
- COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA, CONAGUA. (2010). *Estadísticas del agua en México*. <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/EAM2010.pdf>
- COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA, CONAGUA. (2018). *Servicio Meteorológico Nacional*. <http://smn.cna.gob.mx/es/>
- CHANG, H., PRASKIEVICZ, S., & PARANDVASH, H. (2014). Sensitivity of Urban Water Consumption to Weather and Climate Variability at Multiple Temporal Scales: The Case of Portland, Oregon. *Geospatial and Environmental Research*, 1(1), 1-19. <https://dc.uwm.edu/ijger/vol1/iss1/7>.
- DUQUE, J., GUTIERREZ, D., BETANCOURT, A., Y PATIÑO, J. (2013). *Análisis de la distribución espacial de la reducción en la demanda de agua potable como efecto de las políticas de ahorro en su consumo en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá*. Universidad EAFIT.
- GUTZLER, D. & NIMS, J. (2005). Interannual variability of water demand and summer climate in Albuquerque, New Mexico. *Journal of applied Meteorology and Climatology*, 44, 1777- 1787. <https://doi.org/10.1175/JAM2298.1>
- HOUSE-PETERS, L., PRATT, B., & CHANG, H. (2010). Effects of urban spatial structure sociodemographics, and climate change on residential water consumption in Hillsboro, Oregon. *Journal of American Water Resources Association*, 46(3), 461-472. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.2009.00415.x>
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA, GEOGRAFIA E INFORMÁTICA. (2010). *Censo de población y Vivienda 2010*. <http://www.inegi.org.mx/est/contenidos/proyectos/ccpv/cpv2010/Default.aspx>
- JANMAAT, J. (2013). Spatial patterns and policy implications for residential water use: An example using Kelowna, British Columbia. *Water Resources and Economics*, 1, 3-19. <https://doi.org/10.1016/j.wre.2013.03.003>
- KIZYS, R., Y PÉREZ, A. (2002). *Multicolinealidad y observaciones atípicas*. Proyecto e-Math. [http://www.uoc.edu/in3/emath/docs/T03\\_Multicolinealidad.pdf](http://www.uoc.edu/in3/emath/docs/T03_Multicolinealidad.pdf)
- LEE, S., WENTZ, E., & GOBER, P. (2009). Space-time forecasting using soft geostatistics: a case study in forecasting municipal water demand for Phoenix, Arizona. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 24(2), 283-295. <https://doi.org/10.1007/s00477-009-0317-z>.
- LI, Y., TANG, Z., LIU, C., & KILIC, A. (2017). Estimation and Investigation of Consumptive Water Use in Residential Area-Case Cities in Nebraska, U.S.A. *Sustainable Cities and Society*, 35, 637-644. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.09.012>
- MANZUNGU, E., & MACHIRIDZA, R. (2005). An analysis of water consumption and prospects for implementing water demand management at household level in the City of Harare, Zimbabwe. *Physics and Chemistry of the Earth*, 30, 925-934. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2005.08.039>

- MARCH, H., & SAURÍ, D. (2010). The suburbanization of water scarcity in the Barcelona metropolitan region: sociodemographic and urban changes influencing domestic water consumption. *Professional Geographer*, 62, 32-45. <https://doi.org/10.1080/00330120903375860>
- NEALE, T., CARMICHAEL, J. & COHEN, S. (2007). Urban water futures: A multivariate analysis of population growth and climate change impacts on urban water demand in the Okanagan Basin, B.C. *Canadian Water Resources*, 32(4), 315-330. <https://doi.org/10.4296/cwrj3204315>
- OJEDA, A. (2013). *Análisis Socioespacial del consumo de agua doméstica en Hermosillo, Sonora*. (Tesis doctoral). Universidad Autónoma de Nuevo León, México.
- OJEDA, A., NARVÁEZ, A.B. Y QUINTANA, J. (2014). Gestión del agua doméstica urbana en Hermosillo, Sonora. *Cuadernos Geográficos*, 23(1), 147-164. <https://doi.org/10.15446/rcdg.v23n1.41089>
- PÉREZ, C. (2009). *Técnicas de análisis de datos con SPSS15*. Universidad Complutense de Madrid. Pearson Prentice Hall.
- PRASKIEVICZ, S. & CHANG, H. (2009). Identifying the relationships between urban water consumption and weather variables in Seoul, Korea. *Physical Geographer*, 30(4), 324-337. <https://doi.org/10.2747/0272-3646.30.4.324>
- PARANDVASH, H., & CHANG, H. (2016). Analysis of long-term climate change on per capita water demand in 469 urban versus suburban areas in the Portland metropolitan area, USA. *Journal of Hydrology*, 538, 574-586. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.04.035>
- ROMANO, G., SALVATI, N., & GUERRINI, A. (2014). Estimating the Determinants of Residential Water Demand in Italy. *Water*, 6(10), 2929-2945. <https://doi.org/10.3390/w6102929>
- ROMANO, G., SALVATI, N., & GUERRINI, A. (2016). An empirical analysis of the determinants of water demand in Italy. *Journal of Cleaner Production*, 130, 74-81. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.14>
- SAURÍ, D. (2013). Water conservation: theory and evidence in urban areas of the developed world. *Annual Review Environment and Resources*, 38, 227-248. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-013113-142651>
- SCHLEICH, J. & HILLENBRAND, T. (2009). Determinants of Residential Water Demand in Germany. *Ecological Economics*, 68(5), 1756-1769. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2008.11.012>
- THIESSEN, A. H. (1911). Precipitation Averages for Large Areas. *Monthly Weather Review*, 39(7), 1082-1089. [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1911\)39<1082b:PAFLA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1911)39<1082b:PAFLA>2.0.CO;2)
- VILLARIN, M. (2019). Methodology based on fine spatial scale and preliminary clustering to improve multivariate linear regression analysis of domestic water consumption. *Applied Geography*, 103, 22-39. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2018.12.005>
- WENTZ, E., & GOBER, P. (2007). Determinants of Small-Area Water Consumption for the City of Phoenix, Arizona. *Water Resour Manage*, 21(11), 1849-1863. <https://doi.org/10.1007/s11269-006-9133-0>
- WENTZ, E., WILLS, A., KYTUNG, W., SOE, W., GOBER, P., & BALLING JR. R. (2013). Factors influencing water consumption in multifamily housing in Tempe, Arizona. *Professional Geographer*, 66(3), 501-510.487. <https://doi.org/10.1080/00330124.2013.805627>
- YURINA, O., MASAHIRO, O., TOSHIYA, A., & OSAMU, S. (2003). Residential water demand analysis by household activities. [https://www.researchgate.net/profile/Osamu-Sakura-2/publication/267829017\\_Residential\\_water\\_demand\\_analysis\\_by\\_household\\_activities/links/547327970cf2d67fc035e3c8/Residential-water-demand-analysis-by-household-activities.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Osamu-Sakura-2/publication/267829017_Residential_water_demand_analysis_by_household_activities/links/547327970cf2d67fc035e3c8/Residential-water-demand-analysis-by-household-activities.pdf)
- YU, XUE., GHASEMIZADEH, R., PADILLA, I., MEEKER, J., CORDERO, J., & ALSHAWABKEH, A. (2015). Sociodemographic patterns of household water-use costs in Puerto Rico. *Science of the total Environment*, 524, 300-309. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.04.043>