



Tecnología y Ciencias del Agua

ISSN: 0187-8336

revista.tyca@gmail.com

Instituto Mexicano de Tecnología del
Agua
México

Montesillo-Cedillo, José Luis

Suministro de agua potable en México: más allá del crecimiento poblacional
Tecnología y Ciencias del Agua, vol. VIII, núm. 1, enero-febrero, 2017, pp. 21-33
Instituto Mexicano de Tecnología del Agua
Morelos, México

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=353549831002>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

Suministro de agua potable en México: más allá del crecimiento poblacional

• José Luis Montesillo-Cedillo* •
Universidad Autónoma del Estado de México

*Autor para correspondencia

Resumen

Montesillo-Cedillo, J. L. (enero-febrero, 2017). Suministro de agua potable en México: más allá del crecimiento poblacional. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 8(1), 21-33.

El objetivo de la presente investigación fue demostrar que la tasa de crecimiento poblacional ha perdido relevancia como determinante de la cantidad demandada de agua potable en México y se ha posicionado el ingreso permanente. Fueron calculados los coeficientes de correlación y de determinación entre la tasa de crecimiento poblacional y la de cobertura del servicio de agua potable de México; para sus zonas urbanas, y rurales, con datos del periodo 1999-2013. Para demostrar lo determinante del ingreso en la cantidad demandada de agua potable se utilizó información de países seleccionados con base en su ingreso per cápita en unidades de paridad de poder de compra en dólares de los EUA (pibpc). Lo determinante del ingreso permanente respecto del consumo de agua potable en México se calculó con un modelo econométrico de la función consumo a la luz de las expectativas adaptativas. El coeficiente de determinación entre población y cobertura para todo el país fue de 0.036; para las zonas urbanas, 0.66; para las rurales, 0.25; la cantidad demandada de agua potable se incrementa conforme aumenta el pibpc; la elasticidad-ingreso de la demanda de largo plazo es 68.92% superior a la de corto plazo. Se concluye que la dinámica poblacional ha perdido relevancia como determinante de la cantidad demandada de agua potable y ésta varía en 14 950 000 m³/año ante un cambio del 1% en el ingreso permanente; el bien objeto de estudio es normal y de primera necesidad en el corto y largo plazos.

Palabras clave: ingreso permanente, cobertura de agua potable, elasticidad-ingreso, función consumo, cantidad demandada y expectativas adaptativas.

Abstract

(January-February, 2017). *Drinking water supply in Mexico: Beyond the population growth*. *Water Technology and Sciences (in Spanish)*, 8(1), 21-33.

The aim of this research was to demonstrate that the population growth rate has lost relevance as a determinant of the quantity of drinking water demand in Mexico, and has taken place the permanent income. The coefficients of correlation and determination were calculate between the population growth rate and the coverage of drinking water service in Mexico; for their urban and rural areas, with data from the period 1999-2013. To demonstrate the determinant of the income in the demand of drinking water, the information from selected countries was use, based in their income per capita in parity units of purchasing power in USA dollars (GDP per capita). The determinant of permanent income with respect to the consumption of drinking water in Mexico was calculate using an econometric model of the consumption-function in the light of adaptive expectations. The determination coefficient between population and coverage for the whole country was 0.036; for urban areas 0.66; and for rural areas 0.25; the quantity demanded of drinking water increases according to the increment of the GDPpc; the income-elasticity of long-term demand is 68.92% which is higher than the short term. We conclude that the population dynamics has lost relevance as a determinant of the quantity demanded of drinking water and it varies in 14,950,000 m³/year to a change of one percent in permanent income; this study object is normal and is from first necessity in the short and long term.

Keywords: Permanent income, drinking water coverage, income-elasticity, consumption-function, quantity demanded and adaptive expectations.

Recibido: 09/02/2016

Aceptado: 23/09/2016

Introducción

El agua es considerada como el motor de vida y desarrollo de México (PNH, 2014: 11); en particular, “como recurso vital que promueve el

desarrollo de las familias” (PNH, 2014: 7), y a la adecuada disponibilidad y calidad como pilares del desarrollo nacional (PNH, 2014: 9). Por todo ello, se considera que:

“... Tenemos la enorme responsabilidad de planear adecuadamente las acciones que llevaremos a cabo para administrar y gestionar nuestras aguas nacionales en forma sostenida, sustentable y responsable, considerando el cambio climático, el crecimiento demográfico y las necesidades de la industria, el campo y el abastecimiento público urbano” (PNH 2014: 11).

La planeación de la producción de agua en México se sustenta en lo establecido en la Ley de Agua Nacionales (LAN) (Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, 2013). La gestión del agua es integrada y planificada (LAN, Art. XXIX: 5; título tercero, Art. 14 BIS 6: 35), deben trabajar de manera conjunta, principalmente, la Comisión Nacional del Agua (Conagua) y la Comisión Nacional Forestal (Conafor). La planificación se plasma en el Programa Nacional Hídrico y en los Programas Regionales.

El volumen de agua disponible depende del ciclo hídrico y es función del nivel de precipitación pluvial media. La cantidad disponible anual es el promedio de por lo menos los últimos 30 años (Semarnat-Conagua, 2014a: 29). En México, la precipitación pluvial media anual es de 760 mm, la cual equivale, después del ciclo hídrico (Semarnat-Conagua, 2013: 16-17) a 471.50 km³ de agua renovable anual; de ésta, se destinan a los usos consuntivos 81.65 km³ (Semarnat-Conagua, 2014a: 60), equivalentes al 17.32% del agua renovable anual.

Los usos del agua se clasifican en consuntivos y no consuntivos. Los usos consuntivos son todos aquellos que descargan menos agua de la concesionada o asignada, como los usuarios agrícolas, abastecimiento público urbano, industria autoabastecida y energía eléctrica (no considera a las plantas hidroeléctricas). Los usos no consuntivos sólo utilizan el agua y descargan la misma cantidad concesionada, aunque pueden afectar su calidad, dentro de estos están, entre otros, las plantas hidroeléctricas y actividades recreativas (Semarnat-Conagua, 2013: 46).

El agua suministrada para consumo humano o potable está enmarcada en el abastecimiento público urbano, y del total de agua destinada a

los usos consuntivos representa el 14.65%, equivalente a 11.96 km³/año (Semarnat-Conagua, 2014a: 60). Aunque cabe destacar que las fugas llegan a representar hasta 40% del agua producida por los organismos operadores en todo el país (no obstante, dicho porcentaje es subjetivo debido a la falta de estudios de evaluación de fugas) (Semarnat-Conagua, 2013a: A-163). Si bien las fugas, el agua no facturada, la deficiencia del padrón de usuarios y el clandestinaje son relevantes en la gestión de los organismos operadores y, por lo tanto, en el suministro de agua potable, no se consideran en este trabajo, porque dicho suministro de agua potable aquí se aborda en el ámbito federal o de manera agregada.

Los encargados de proporcionar el servicio de agua potable en México, de acuerdo con el artículo 115 constitucional, son los municipios, pero la Conagua otorga la asignación, ella es la institución “reguladora de los sistemas urbanos de agua potable operada por los estados y municipios” (Cienfuegos-Velasco, Aguilar, & Alejo-Pompilio, 2012: 93).

En 2013, el último del periodo considerado en este estudio, 77.3% de la población total de México se concentraba en zonas urbanas —localidades con 2 500 o más habitantes—, y tenía una cobertura de agua potable de 95.4%. El resto de la población (22.72%) habitaba en zonas rurales —localidades con hasta 2 499 habitantes—, con una cobertura de agua potable de 81.6%. La cobertura nacional promedio de agua potable para el mismo año fue de 92.3%.

En México, planeación y gestión integrada del agua se basan en el crecimiento demográfico y en el de las actividades económicas; para el caso del agua potable, sólo en la dinámica poblacional. Además, en la actualidad “existe un creciente reconocimiento de que las denominadas crisis del agua son básicamente crisis en la gestión y gobernabilidad del recurso” (Sevilla, Torregrosa, & Moreno, 2010: 281), las cuales podrán evitarse, o reducir su severidad, si se considera al ingreso permanente como otro determinante —tan relevante como el crecimiento poblacional— de la cantidad demandada de agua potable física y virtual, toda vez que

permitirá contar con estimaciones robustas del consumo futuro.

La planeación y gestión integrada deben apoyarse en los instrumentos y principios económicos, tal y como lo hace la Unión Europea (Gómez-Limón & Martín-Ortega, 2011: 66), lo cual no implica una gestión reduccionista ni economicista, sino reconocer la pertinencia de dichos instrumentos y principios, sin olvidar que “el agua no es un bien comercial como los demás, sino un patrimonio que hay que proteger, defender y tratar como tal” (Diario Oficial de las Comunidades Europeas, 2000: 1).

En México, la planeación y gestión integrada del agua potable sólo considera el crecimiento poblacional, y se piensa que: “Proveer los servicios de agua a las ciudades es ya un reto, pero más lo será en un futuro debido a la combinación del crecimiento poblacional y la elevada tasa de urbanización” (Jiménez-Cisneros, 2014: 14).

Sin embargo, dado el actual nivel de cobertura, y debido a la ley de los rendimientos decrecientes (Koutsoyiannis, 2002: 88), la tasa de crecimiento poblacional va perdiendo relevancia para proyectar el suministro de agua potable, tal y como lo ponen de manifiesto los niveles de consumo de agua potable per cápita registrados en los países desarrollados (WHO/UNICEF, 2014). Por lo que es necesario conocer los determinantes de la cantidad demandada o consumida, y no basarse sólo en la dinámica de la población, a fin de garantizar un suministro permanente.

La gestión integrada del agua potable en México considera algunos instrumentos económicos, sobre todo aquellos relacionados con la reducción del consumo, como tarifas, precios y subsidios cruzados (Semarnat-Conagua, 2015: 68). Pero no considera de manera explícita al ingreso disponible, y menos al ingreso permanente, el cual es determinante del nivel de consumo directo e indirecto o virtual de agua potable (incluida en los servicios, y bienes agrícolas e industriales).

Para planificar la producción de agua en general y la del agua potable en particular, a

fin de garantizar el suministro a la población, es necesario considerar las elasticidades-ingreso de la demanda de corto y largo plazos que se desprenden de la función consumo, a la luz de la hipótesis del ingreso permanente (Friedman, 1985: 32-33).

El objetivo de la presente investigación es demostrar que la tasa de crecimiento poblacional ha perdido relevancia como determinante de la cantidad demandada de agua potable y se ha posicionado el ingreso permanente.

Metodología

Para lograr el objetivo propuesto se procedió en cuatro etapas:

1. Se calculó la tasa de variación promedio anual de la cobertura de agua potable y la tasa de crecimiento promedio anual de la población de México durante el periodo 1999-2013. También se estimaron las mismas tasas para las zonas urbanas y rurales del país.
2. Se estimaron los coeficientes de correlación simples y los coeficientes de determinación entre el porcentaje de cobertura del servicio de agua potable y la población tanto a nivel nacional como para las zonas urbanas y rurales de México.
3. Con la finalidad de contar con evidencia internacional, se analizó la relación existente entre la cobertura de agua potable, producto interno bruto per cápita en unidades de paridad de poder de compra, en dólares de los EUA (pibpc), y el consumo de agua por día por habitante en litros de algunos países seleccionados con base en su pibpc.
4. Al amparo de la hipótesis de las expectativas adaptativas, se estimó el modelo econométrico de la función consumo:

$$C = \beta_1 + \beta_2 X_t^* + u_t \quad (1)$$

en donde C representa el consumo de agua potable, equivalente al volumen suministrado anualmente en litros por segundo (l/s), y X_t^* , al

ingreso permanente. Como el ingreso permanente no es “observable” (Greene, 2000: 689-694), se asumió que su mecanismo generador queda representado por:

$$C = \alpha_1 + \alpha_2 X_t + \alpha_3 C_{t-1} + v_t \quad (2)$$

Para obtener la ecuación (2) se partió de $C = \beta_1 + \beta_2 X_t^* + u_t$. El mecanismo generador del ingreso permanente se representó mediante $X_t^* - X_{t-1}^* = \gamma(X_t - X_{t-1})$, por lo que $X_t^* = X_{t-1}^* + \gamma(X_t - X_{t-1})$ y $X_t^* = \gamma X_t + (1 - \gamma)X_{t-1}^*$, al sustituir en la primera ecuación se obtuvo $C = \beta_1 + \beta_2 \gamma X_t + \beta_2(1 - \gamma)X_{t-1}^* + u_t$. La ecuación $C = \beta_1 + \beta_2 X_t^* + u_t$ se rezagó un periodo; esto es, $C_{t-1} = \beta_1 + \beta_2 X_{t-1}^* + u_{t-1}$ se multiplicó por $(1 - \gamma)$, y se obtuvo $(1 - \gamma)C_{t-1} = (1 - \gamma)\beta_1 + (1 - \gamma)\beta_2 X_{t-1}^* + (1 - \gamma)u_{t-1}$, que equivale a $C_{t-1} - \gamma C_{t-1} = \beta_1 - \gamma\beta_1 + \beta_2 X_{t-1}^* - \gamma\beta_2 X_{t-1}^* + u_{t-1} - \gamma u_{t-1}$, ésta fue restada de $C = \beta_1 + \beta_2 X_t^* + u_t$; esto es, $C - C_{t-1} + \gamma C_{t-1} = \beta_1 - \beta_1 + \gamma\beta_1 + \gamma\beta_2 X_t - \beta_2 X_{t-1}^* + \gamma\beta_2 X_{t-1}^* + \beta_2 X_{t-1}^* - \gamma\beta_2 X_{t-1}^* + (u_t - u_{t-1} + \gamma u_{t-1})$. Al reordenar y eliminar factores comunes quedó la ecuación propuesta (2), en donde $v_t = u_t - (1 - \gamma)u_{t-1}$.

En la ecuación (2), X_t representa al ingreso disponible en millones de pesos a precios de 2008; $\alpha_1 = \gamma\beta_1$; $\alpha_2 = \gamma\beta_2$; $\alpha_3 = (1 - \gamma)$; y $v_t = [u_t - (1 - \gamma)u_{t-1}]$. Para fines de interpretación, β_2 proporcióna la respuesta de largo plazo del consumo debido a una variación del ingreso permanente; α_2 , la respuesta del consumo para el ingreso disponible actual o de corto plazo.

Para el cálculo propuesto, en los incisos 1 y 2 se utilizaron los datos contenidos en los cuadros del 1 al 3.

Para la realización del análisis propuesto en el inciso 3 se utilizaron los datos del cuadro 4.

Los datos del cuadro 5 se utilizaron para la estimación de la función consumo propuesta en el inciso 4.

Resultados

En México, de 1999 a 2013, la tasa de variación promedio anual de la cobertura de agua potable fue de 0.35%; mientras que la tasa de crecimiento promedio anual de la población fue de 1.23%. Por otro lado, el coeficiente de correlación

Cuadro 1. Cobertura del servicio de agua potable, variación anual, población total y variación en México, 1999-2013.

Año	Cobertura del servicio de agua potable en México	Variación anual de la cobertura nacional en puntos porcentuales	Población total	Tasa de crecimiento anual de la población total
1999	87.4	1.0	99 706 067	1.24
2000	87.8	0.4	100 895 811	1.19
2001	89.0	1.2	102 122 295	1.22
2002	89.2	0.2	103 417 944	1.27
2003	89.4	0.2	104 719 891	1.26
2004	89.5	0.1	105 951 569	1.18
2005	89.5	0.0	107 151 011	1.13
2006	89.6	0.1	108 408 827	1.17
2007	89.9	0.3	109 787 388	1.27
2008	90.3	0.4	111 299 015	1.38
2009	90.7	0.4	112 852 594	1.40
2010	91.2	0.5	114 255 555	1.24
2011	91.6	0.4	115 682 868	1.25
2012	92.0	0.4	117 053 750	1.18
2013	92.3	0.3	118 395 054	1.15

Fuente: la cobertura nacional de agua potable del año 1999 se tomó de Semarnat-Conagua (2000: 31-32); Presidencia de la República (2013); Semarnat-Conagua (2014: 36).

Cuadro 2. Población y cobertura del servicio de agua potable en las zonas urbanas de México, 1999-2013.

Año	Población total en las zonas urbanas (millones)	Población con servicio de agua potable (millones)	Población sin servicio de agua potable (millones)	Porcentaje de cobertura del servicio de agua potable
1999	71.6	68.1	3.5	95.1
2000	72.1	68.6	3.5	95.1
2001	73.1	69.8	3.3	95.5
2002	74.1	70.9	3.2	95.7
2003	74.9	71.8	3.1	95.7
2004	75.7	72.4	3.3	95.6
2005	76.3	72.6	3.7	95.2
2006	77.1	73.3	3.8	95.1
2007	78.0	73.3	4.7	94.5
2008	78.8	74.4	4.4	94.3
2009	79.7	75.1	4.6	94.3
2010	84.7	81.0	3.7	95.4
2011	86.7	83.5	3.2	95.4
2012	87.9	84.0	3.9	95.5
2013	89.1	85.0	4.1	95.4

Fuente: Semarnat-Conagua (2004: 20); Semarnat-Conagua (2008: 37-38); Semarnat-Conagua (2010: 21); Semarnat-Conagua (2014: 25).

Cuadro 3. Población total y cobertura del servicio de agua potable en las zonas rurales de México, 1999-2013.

Año	Población total en las zonas rurales (millones)	Población con servicio de agua potable (millones)	Población sin servicio de agua potable (millones)	Porcentaje de cobertura de agua potable
1999	25.7	16.9	8.8	65.7
2000	24.2	16.5	7.7	68.2
2001	24.9	17.4	7.5	69.9
2002	25.2	17.7	7.5	70.1
2003	25.5	18.0	7.5	70.8
2004	25.7	18.3	7.4	71.3
2005	23.9	16.9	7.0	71.5
2006	24.1	17.4	6.7	72.3
2007	24.0	17.9	6.1	74.7
2008	23.9	18.4	5.5	76.8
2009	23.9	18.8	5.1	78.6
2010	25.8	19.6	6.2	75.7
2011	26.0	20.5	5.5	78.8
2012	26.1	20.9	5.2	80.3
2013	26.2	21.4	4.8	81.6

Fuente: Semarnat-Conagua (2004: 20); Semarnat-Conagua (2008: 37-38); Semarnat-Conagua (2010: 21); Semarnat-Conagua (2014: 25).

Cuadro 4. Cobertura de agua potable, pibpc y consumo de agua por día por habitante en litros.

País	Cobertura de agua potable, 2012*	Pibpc, 2014**	Consumo de agua por día por habitante, en litros, 2013***
Estados Unidos	99.2	54 596.653	575
Australia	100.0	46 433.299	495
Italia	100.0	35 486.171	386
Japón	100.0	37 389.785	376
Francia	100.0	40 374.529	295
Alemania	100.0	45 888.432	196
Reino Unido	100.0	39 510.937	150
Brasil	97.5	16 096.321	148
India	92.6	5 855.306	135
China	91.9	12 879.853	85
Kenia	61.7	3 084.435	45
Ghana	87.2	4 129.481	35
Nigeria	64.0	6 031.420	35
Níger	52.3	1 047.954	25
Camboya	71.3	3 262.555	15
Angola	54.3	7 203.347	15

Nota: el término agua potable se refiere a acceso a agua mejorada, que incluye: agua de la red y de hidrantes. Fuente: * WHO/UNICEF (2014);

International Monetary Fund (2014); * tomada de: <http://www.courrierinternational.com/magazine/2013/1187-1188-1189-voyage-en-france> (11/02/2015).

Cuadro 5. Agua suministrada (l/s) e ingreso nacional disponible en millones de pesos a precios de 2008 en México, 1999-2013.

Año	Agua suministrada (l/s)*	Ingreso nacional disponible, millones de pesos a precios de 2008**
1999	309 774	7 303 457.08
2000	312 007	7 852 613.99
2001	315 300	7 845 502.62
2002	314 770	8 105 249.98
2003	320 682	9 302 212.87
2004	322 547	9 868 982.06
2005	324 467	10 100 716.61
2006	325 181	10 618 385.2
2007	327 618	10 946 618.72
2008	328 243	11 037 075.26
2009	328 176	10 330 399.95
2010	329 305	10 973 746.8
2011	329 496	11 403 608.83
2012	329 841	11 667 536.49
2013	329 772	11 671 698.62

Fuente: *Semarnat-Conagua (2014: 62); **INEGI (2014a).

entre dichas variables fue de 0.19 (su rango de variación va de -1 a +1), y el coeficiente de determinación, cuyo rango va de 0 a 1, de 0.036.

En las zonas urbanas de México, durante el periodo 1999 a 2013, la tasa de variación promedio anual de la cobertura de agua potable fue de 0.02%, y el crecimiento promedio anual de sus habitantes registró un aumento de 1.58%; su coeficiente de correlación fue de 0.81, y el de determinación de 0.66.

En las zonas rurales de México, del año 1999 a 2013, la tasa de variación promedio anual de la cobertura de agua potable fue de 1.14%; mientras que sus habitantes tuvieron una tasa de crecimiento promedio anual de 0.19%; su coeficiente de correlación fue de -0.50, y el de determinación de 0.25.

El análisis de la relación entre la cobertura de agua potable, pibpc y el consumo de agua potable en litros por día por habitante de los países seleccionados con base en su pibpc se presentan en la figura 1.

La relación entre el pibpc y el porcentaje de cobertura del servicio de agua potable de los países seleccionados con base en su pibpc se presenta en la figura 2.

La relación entre el consumo de agua potable en litros por persona por día y el porcentaje de

cobertura del servicio de agua potable de los países seleccionados con base en su pibpc se presenta en la figura 3.

En la estimación del modelo econométrico de la función consumo de corto plazo también se incluyó a la población como variable explicativa, pero no fue significativa, por lo que se excluyó. El modelo (ecuación (2)) arrojó los siguientes resultados:

$$C = 167367.2 + 0.002396X_t + 0.410552C_{t-1}$$

Con los parámetros de la función consumo de corto plazo (ecuación (2)) y con base en el principio del ingreso permanente, se obtuvieron los parámetros de largo plazo (ecuación (1)) de dicha función:

$$C = 283\,938.872 + 0.00406482X_t^*$$

El modelo se estimó en forma lineal, por eso la pendiente de corto plazo está representada por $\alpha_2 = (0.002396)$, y la de largo plazo por $\beta_2 = (0.00406482)$. Como la elasticidad-ingreso de la cantidad demandada de agua potable es $[dC/dX_t](X_t/C)$, entonces la elasticidad-ingreso de corto plazo queda representada por $\alpha_2^*(X_t/C)$, y la de largo plazo por $\beta_2^*(X_t/C)$. Sin embargo,

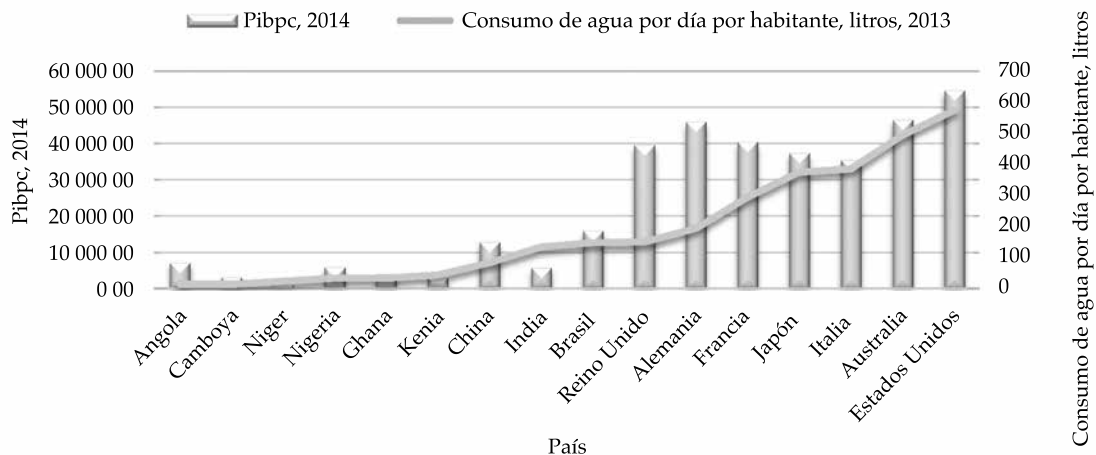


Figura 1. Consumo de agua por día por habitante en litros de algunos países seleccionados con base en su nivel de pibpc.

Fuente: elaboración propia con base en los datos del cuadro 4.

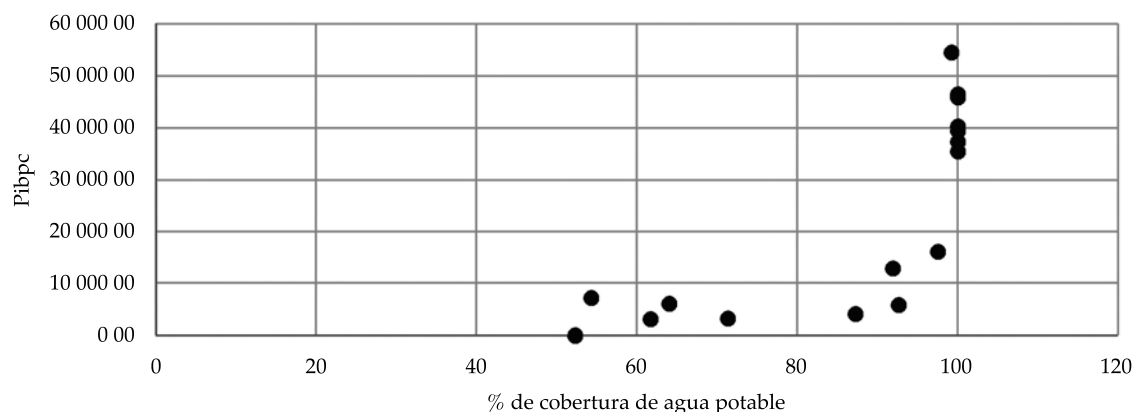


Figura 2. Diagrama de dispersión entre el pibpc y el porcentaje de cobertura de agua potable de algunos países seleccionados con base en su nivel de pibpc. Fuente: elaboración propia con base en los datos del cuadro 4.

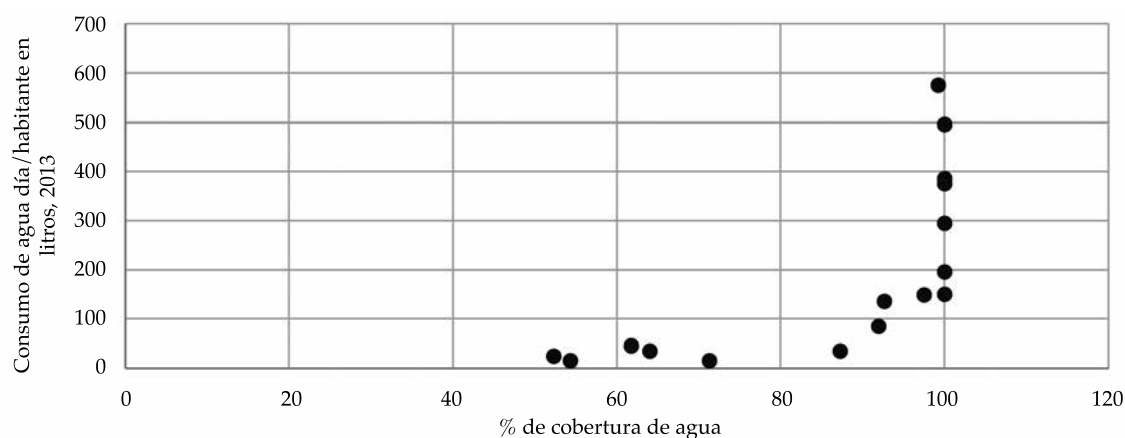


Figura 3. Diagrama de dispersión entre el consumo de agua potable en litros por habitante por día y el porcentaje de cobertura de agua potable en los países seleccionados con base en su pibpc. Fuente: elaboración propia con base en los datos del cuadro 4.

ambas cambian según el valor que tomen X_t y C . Para evitar la variación de la elasticidad-ingreso de la demanda de agua potable, se tomó el valor promedio de cada una de las variables mencionadas del periodo de estudio, 1999-2013; el de X_t es de 9 935 187 millones de pesos a precios de 2008, y el del consumo de agua potable de 323 145.3 l/s.

El modelo estimado está *cointegrado* (la prueba de *cointegración* de *Engle-Granger Aumentada*

es significativa tanto al 10 y 5% como al 1%). Primero se comprobó que tanto C como X_t tuvieran el mismo grado de integración. Sí lo tienen, las variables son estacionarias, su grado de integración es cero, $I(0)$, lo cual hace patente que existe una relación de equilibrio de largo plazo entre el consumo de agua potable y el ingreso permanente, esto fue comprobado por medio del mecanismo de corrección de error. El R^2 es de 0.97 y el nivel de significancia mínimo

de cada uno de los coeficientes, así como de manera conjunta (representada por la prueba F), es de 95%.

El modelo estimado es robusto y se comprobó que los v_i heredaran todas las propiedades de los u_i , lo cual es fundamental para la hipótesis de expectativas adaptativas. Con base en el estadístico de Jarque-Bera se verificó que los v_i estuvieran normalmente distribuidos, y con las pruebas de Breusch-Pagan-Godfrey, Glejser y White, que fueran homoscedáticos; la prueba de constancia paramétrica se realizó con *Cusum* al cuadrado.

En suma, los estimadores tienen las propiedades de los mejores estimadores lineales insesgados (MELI). El cálculo del modelo y todas las pruebas se realizaron con el programa *EViews 7* (Quantitative Micro Software, LLC, 2009).

Discusión

La tasa de variación anual de la cobertura de agua potable y la tasa de crecimiento de la población para el periodo 1999-2013 en México y para sus zonas urbanas se mueven de forma paralela, aunque la variación de la cobertura de agua potable en todos los años de análisis es menor a la tasa de crecimiento poblacional, lo cual se explica por la ley de los rendimientos decrecientes, en el sentido de que el crecimiento de la cobertura cada año será menor, pero seguirá creciendo, tendiente al punto máximo representado por una cobertura nacional deseable de 100%.

Por otra parte, la tasa de variación anual de la cobertura de agua potable y la tasa de crecimiento de la población en las zonas rurales de México para el periodo 1999-2013 se mueven de manera contraria: si para un año aumenta la variación de la cobertura, entonces la tasa de crecimiento de la población disminuye. Pero, al igual que para las zonas urbanas, se puede explicar por la ley de los rendimientos decrecientes y por la dificultad que implica proporcionar el servicio a los 2.4 millones de personas que viven dispersas en comunidades de menos de 100 habitantes (INEGI, 2014).

La presencia de la ley de los rendimientos decrecientes en la tasa de crecimiento de la cobertura del servicio de agua potable se desprende de los niveles de cobertura alcanzados en 2013. Al nivel nacional son de 92.3%; para las zonas urbanas, 95.4%; para las zonas rurales, 81.6%. Por dichos niveles de cobertura, la relación entre las variables citadas es casi nula, lo cual se confirma por el valor de sus coeficientes de correlación, no obstante, su relación cuasilineal y por el valor de sus coeficientes de determinación, cercanos a cero.

Por todo lo anterior, la tasa de crecimiento poblacional va teniendo menos relevancia como determinante del crecimiento de la demanda de agua potable, y si consideramos su tasa decreciente de variación anual (1.06% para 2015; 0.91% para 2020; 0.67% para 2030; 0.46% para 2040, y 0.28% para 2050; Conapo, 2014, en el largo plazo su relevancia será menor. No obstante, Salazar-Adams y Lutz-Ley (2015: 6) consideran que: “El agua para uso urbano en México es un asunto crucial en la agenda pública debido a la demanda creciente de servicios de agua potable y saneamiento, lo que se relaciona con el incremento demográfico y la rápida urbanización del país durante las últimas décadas”.

Por su parte, Torres-Sombra *et al.* (2013: 294-304) atribuyen el crecimiento de la demanda de agua para uso residencial del norte de Sinaloa entre 1990 y 2010 al incremento de la población; al igual que Rivera y Aguilar (2015: 125), pero para el caso de Zacatecas-Guadalupe; Ocampo-Cruz, Manco-Silva y Guerrero-Erazo (2012: 25) también consideran que la creciente demanda de agua para uso residencial se debe al aumento constante de la población. Sin embargo, los resultados obtenidos en la presente investigación confirman que el crecimiento demográfico tiene poca relación con la cantidad suministrada de agua potable que demanda la sociedad.

La evidencia internacional señala que la ley de los rendimientos decrecientes respecto de la cobertura del servicio de agua potable es superada cuando el país alcanza un pibpc de por lo menos 30 000, tal y como se observa en la figura 2, y que cuando el pibpc está entre los 10

000 y 20 000, la cobertura del servicio es superior a 90%, pero inferior a 100%, tal y como ocurre en México.

En la figura 1 resulta claro que el nivel de consumo de agua potable depende del pibpc: a mayor pibpc mayor consumo de agua en litros por persona. Al respecto, para el caso de México, Salazar-Adams y Lutz-Ley (2015: 21-22) apuntan que: “La cobertura de agua y el alcantarillado se correlacionan positivamente con el PIB per cápita y con el número de tomas, lo cual indica que las ciudades grandes y más desarrolladas, en términos económicos, tienen también mejor acceso a estos servicios” y que “El aumento en el ingreso se asocia a una mayor demanda de agua por habitante” (Salazar-Adams & Lutz-Ley, 2015: 8-9).

De la figura 3 se desprende que cuando el país tiene cobertura del servicio de agua potable de 100%, la cantidad consumida por persona aumenta, y de la figura 2, que la cantidad demandada o consumida de agua por persona por día es mayor cuanto más elevado es su pibpc, como ya se apuntó.

Con las figuras 1, 2 y 3 se corrobora la existencia de una relación positiva entre el pibpc y la cobertura de agua potable; esto es, a mayor pibpc, una mayor cobertura hasta llegar a 100%; al igual que entre el pibpc y el consumo de agua potable: a mayor pibpc mayor consumo de agua potable por día por persona. Al respecto, para el caso de Chile, Acevedo-Antimil, Arancibia-Mattar, Bradanovich-Pozo y Flores-Loredo (2011: 133) consideran que las familias consumen más agua a medida que se incrementa su ingreso. Sin embargo, sólo se refieren al ingreso de corto plazo y no al ingreso permanente de largo plazo, como en el presente estudio.

La evidencia tanto nacional como internacional discutida hasta el momento confirma que la cantidad consumida o demandada de agua potable en el corto plazo está en función del ingreso disponible, y que el aumento de la cobertura del servicio está en función del crecimiento poblacional, pero esto último no implica aumento de demanda de agua potable, sólo que ya cuentan con el servicio, porque antes también realizaban el consumo.

Del modelo econométrico estimado de la función consumo se tiene que la propensión marginal de corto plazo a consumir agua potable es de 0.002396 l/s, de manera que, si el ingreso nacional disponible se incrementa en un millón de pesos en términos reales, el consumo medio de agua potable aumentará en dicha propensión marginal. Sin embargo, si el aumento en el ingreso disponible se conserva, esto es, cuando los consumidores se adaptan a ese nivel de ingreso o ya sea permanente (en el largo plazo), la propensión marginal del consumo de agua potable será de 0.00406482 l/s, esto es, un 69.65% superior a la de corto plazo. Con esto se demuestra la relevancia del ingreso permanente para todo fin de planeación respecto de la prospección de la producción de agua potable en el largo plazo.

La elasticidad-ingreso promedio de la demanda de agua potable de corto plazo es de 0.074, y la de largo plazo de 0.125. La de largo plazo es 68.92% superior a la de corto plazo.

La magnitud de la elasticidad-ingreso de la demanda de agua potable en el corto plazo, resultado de la presente investigación, concuerda con las estimaciones realizadas para todo el país (Salazar-Adams & Pineda-Pablos, 2010: 11) y para algunas ciudades de México (Mora-Flores, García-Salazar, Gómez-Ugalde, & Valdivia-Alcalá, 2012: 338). Sin embargo, en este trabajo también se calcula dicha elasticidad-ingreso para el largo plazo, y se confirma que el agua potable es un bien normal y de primera necesidad tanto en el corto como en el largo plazo.

Para fines de prospección, la elasticidad-ingreso de la cantidad demandada o consumida de agua potable indica en cuánto cambia la variable dependiente ante la variación de 1% de la variable independiente. En el corto plazo, dicha elasticidad-ingreso proporciona el cambio porcentual de la cantidad demandada de agua potable ante la variación porcentual del ingreso nacional disponible, y en el largo plazo, ante una variación porcentual del ingreso permanente.

Con base en la elasticidad-ingreso promedio de corto plazo, se tiene que ante una variación

porcentual del ingreso nacional disponible de 1%, el consumo o la cantidad demandada de agua potable se incrementa 0.074%; para el largo plazo, ante una variación de 1% del ingreso permanente, sube 0.125%.

En el corto plazo, el aumento del ingreso nacional disponible en 1% en términos reales implica un incremento de la cantidad demandada de agua potable de 0.074%, lo cual, con base en el volumen suministrado de agua potable en l/s del año 2013, equivale a un incremento de 7 695 770.45 m³/año. Si se considera el volumen de agua destinada al uso público urbano en el año 2014, que fue de 11.96 km³, la demanda de agua potable sería de 8 885 040 m³/año.

Por su parte, una vez que el incremento de 1% en el ingreso nacional disponible en términos reales se hace permanente, en el largo plazo, el incremento de la cantidad demandada o consumida, con base en el valor del suministro de agua potable en l/s del año 2013, será de 12 999 612. 24 m³/año, y con base en el volumen destinado al uso público urbano en el año 2014 de 14 950 000 m³/año.

En suma, si consideramos que el ingreso nacional disponible aumenta 1% en términos reales y si en el pasado remoto, de largo plazo, también lo hizo, entonces el suministro de agua para uso público urbano debe incrementarse en 14 950 000 m³/año. Esto es independiente del que se desprenda de la ampliación de la cobertura del servicio de agua potable derivada del crecimiento poblacional.

Conclusiones

Hasta la fecha se ha considerado que el crecimiento demográfico es determinante para la planeación de la producción de agua potable en México. Sin embargo, toda vez que desde el punto de vista económico el agua potable es un bien normal y de primera necesidad, es fundamental incluir al ingreso permanente como determinante; ello se debe a que, en el corto plazo, la cantidad demandada de agua potable crece cuando aumenta el ingreso disponible, al igual

que cuando se amplía la cobertura del servicio; pero en el largo plazo, su incremento es mayor conforme aumenta el ingreso permanente. De aquí se desprende la necesidad de estudiar la relación entre la cantidad demandada de agua potable debida al crecimiento poblacional y al aumento del ingreso permanente de manera conjunta.

Los resultados expuestos demuestran que el crecimiento de la población ha venido perdiendo relevancia como determinante del aumento de la demanda de agua potable, toda vez que poco más de 77% de los mexicanos se asienta en zonas urbanas y su nivel de cobertura es de 95.4%. La concentración poblacional en dichas zonas implica que el incremento marginal de la cobertura tienda a cero, pero que la cantidad demandada de agua potable aumente, porque ésta es función del ingreso disponible y del ingreso permanente. Este resultado torna fundamental el estudio de la cantidad demandada de agua potable en las zonas urbanas de México, en función del ingreso permanente de sus habitantes.

Los resultados más útiles para la planeación de la producción de agua potable son las elasticidades-ingreso de corto y de largo plazos de la cantidad demandada, obtenidas al amparo de la hipótesis del ingreso permanente. La elasticidad-ingreso de la cantidad demandada o consumida de agua potable de largo plazo es 68.92% mayor a la de corto plazo. Así, en el corto plazo, ante una variación del ingreso nacional disponible en términos reales de 1%, el consumo se incrementa 0.074% y en el largo plazo sube 0.125%, por la variación del ingreso permanente.

La planeación de la Conagua referente a la producción de agua potable debe considerar los cambios en el ingreso permanente de la población que tiene cobertura, pues de ese cambio dependerá la cantidad consumida o demandada de agua potable. Por ejemplo, ante un incremento de 1% en el ingreso permanente, la Conagua deberá aumentar la cantidad suministrada en alrededor de 14 950 000 m³/año, si se toma como base el volumen destinado al uso público urbano en 2014.

En suma, la tasa de variación de la cobertura de agua potable y la tasa de crecimiento poblacional tienen una relación lineal decreciente debido a que esta última ha venido perdiendo relevancia como determinante de la cantidad consumida de agua potable. Uno de los determinantes de la cantidad demandada de agua potable que debe considerarse en la planeación del sector hídrico de México, dados los niveles actuales de cobertura —principalmente en las zonas urbanas—, es el ingreso permanente, porque una vez que se tiene cobertura, el nivel de consumo es función de él, y porque su estimación —con base en la función consumo al amparo de la hipótesis del ingreso permanente— proporciona la elasticidad-ingreso de la cantidad demandada de corto y largo plazos.

Agradecimientos

Agradezco a Irma Eugenia García López y a los revisores anónimos los comentarios y sugerencias, con los cuales contribuyeron a mejorar el presente trabajo. Los errores e inconsistencias que persistan son responsabilidad exclusiva del autor.

Referencias

- Acevedo-Antimil, M., Arancibia-Mattar, P., Bradanovich-Pozo, T., & Flores-Loredo, M. (2011). Tarifas sociales para el servicio de agua potable en Arica, Chile, y su impacto teórico en la distribución del ingreso de los usuarios. *Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería*, vol. 19, núm. 1, junio, 132-145.
- Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión (2013). Ley de Aguas Nacionales (LAN). *Diario Oficial de la Federación* (DOF) 07-06-2013.
- Cienfuegos-Velasco, M. Á., Aguilar, M., & Alejo-Pompilio, A. (2012). Política descentralizadora del agua potable. *Espacios Públicos*, vol. 15, núm. 35, septiembre-diciembre, 85-95.
- Conapo (2014). *Proyecciones de la población 2010-2050*. Consulta el 28 de febrero de 2015. Recuperado de http://www.conapo.gob.mx/es/CONAPO/Proyecciones_Datos.
- Diario Oficial de las Comunidades Europeas (2000). *Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo*. Consulta el 27 de febrero de 2015. Recuperado de <https://www.boe.es/doue/2000/327/L00001-00073.pdf>.
- Quantitative Micro Software, LLC (2009). *EViews 7. User's Guide*. United States of America: Quantitative Micro Software, LLC. Irvine, CA.
- Friedman, M. (1985). *Una teoría de la función consumo*. Madrid: Alianza Editorial.
- Gómez-Limón, J. A., & Martín-Ortega, J. (2011). Agua, economía y territorio: nuevos enfoques de la Directiva Marco del Agua para la gestión del recurso. *Estudios de Economía Aplicada*, vol. 29, núm. 1, 65-93.
- Greene, W. (2000). *Análisis econométrico*, 3ª edición. Madrid, España: Prentice Hall.
- INEGI (2014). *Censo General de Población y Vivienda 2010*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Aguascalientes.
- INEGI (2014a). Banco de Información Económica del INEGI. Consultado el 1º de abril de 2015. Recuperado de <http://www.inegi.org.mx/sistemas/bie/>.
- International Monetary Fund. Report for Selected Countries and Subjects (2014). Consultado el 11 de febrero de 2015. Recuperado de <http://www.courrierinternational.com/magazine/2013/1187-1188-1189-voyage-en-france>.
- International Monetary Fund. *Home Page*. Report for Selected Countries and Subjects (2016). Consultado el 6 de mayo de 2015. Recuperado de <http://www.imf.org/external/pubs/ft/weo/2015/01/weodata/>.
- Jiménez-Cisneros, B. (octubre-diciembre, 2014). Agua, ciudades y futuro. *Ciencia, revista de la Academia Mexicana de Ciencias*, 65, 14-19.
- Koutsoyiannis, A. (2002). *Microeconomía moderna*, 1ª ed. 1ª reimp. Buenos Aires: Amorrortu.
- Mora-Flores, J. S., García-Salazar, J. A., Gómez-Ugalde, S. G., & Valdivia-Alcalá, R. (2012). Demanda de agua para uso residencial y comercial. *Terra Latinoamericana*, vol. 30, núm. 14, 337-342.
- Ocampo-Cruz, A. M., Manco-Silva, D. G., & Guerrero-Erazo, J. (enero-junio, 2012). Eficiencia en el consumo de agua de uso residencial. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, vol. 11, núm. 21, 23-38.
- Presidencia de la República (2013). *Primer informe de gobierno 2012-2013, anexo estadístico*. México, DF: Presidencia de la República.
- Rivera, P., & Aguilar, A. G. (mayo-junio 2015). La gestión integral del agua en zonas urbanas: caso de estudio Zacatecas-Guadalupe, México. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 6(3), 125-142.
- Salazar-Adams, A., & Lutz-Ley, A. N. (2015). Factores asociados al desempeño en organismos operadores de agua potable en México. *Región y Sociedad*, 27, 5-26.
- Salazar-Adams, A., & Pineda-Pablos, N. (2010). Factores que afectan la demanda de agua para uso doméstico en México. *Región y Sociedad*, 22, 3-16.
- Semarnat-Conagua (2000). *Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento a diciembre de 2000*. México, DF: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Comisión Nacional del Agua.

- Semarnat-Conagua (2004). *Situación del subsector agua potable, drenaje y saneamiento a diciembre de 2003*. México, DF: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Comisión Nacional del Agua.
- Semarnat-Conagua (2008). *Situación del subsector agua potable, drenaje y saneamiento a diciembre de 2008*. México, DF: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Comisión Nacional del Agua.
- Semarnat-Conagua (2010). *Situación del subsector agua potable, drenaje y saneamiento a diciembre de 2010*. México, DF: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Comisión Nacional del Agua.
- Semarnat-Conagua (2013). *Estadísticas del agua en México. Edición 2013*. México, DF: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Comisión Nacional del Agua.
- Semarnat-Conagua (2013a). *Situación del subsector agua potable, alcantarillado y saneamiento. Edición 2013*. México, DF: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Comisión Nacional del Agua.
- Semarnat-Conagua (2014). *Situación del subsector agua potable, drenaje y saneamiento, edición 2014*. México, DF: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Comisión Nacional del Agua.
- Semarnat-Conagua (2014a). *Estadísticas del agua en México, edición 2014*. México, DF: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Comisión Nacional del Agua.
- PNH (Programa Nacional Hídrico) (2014). 2014-2018. *Gobierno de la República*. México, DF: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Comisión Nacional del Agua.
- Semarnat-Conagua (2015). Guía de políticas públicas en el ámbito estatal en materia de agua potable y saneamiento. Consultado el 1° de diciembre de 2015. Recuperado de www.conagua.gob.mx.
- Sevilla, M., Torregrosa, T., & Moreno, L. (2010). Un panorama sobre la economía del agua. *Estudios de Economía Aplicada*, vol. 28, núm. 2, 265-303.
- Torres-Sombra, J., García-Salazar, J. A., García-Mata, R., Matus-Gardea, J., González-Estrada, E., & Pérez-Zamorano, A. (2013). Respuesta de la demanda de agua a cambios en el precio: un estudio por tipo de consumidor en el norte de Sinaloa, México. *Agrociencia*, vol. 47, núm. 3, 293-307.
- WHO/UNICEF (2014). *Joint Monitoring Programme (JMP) for Water Supply and Sanitation, 2014*. Consultado el 9 de mayo de 2015. Recuperado de <http://www.wssinfo.org/data-estimates/table/>.

Dirección institucional del autor

Dr. José Luis Montesillo-Cedillo

Instituto de Estudios sobre la Universidad
 Universidad Autónoma del Estado de México
 Paseo Tollocan 1402 poniente, Ciudad Universitaria
 50110 Toluca, Estado de México, México
 Teléfono: +52 (722) 2831 516
 Fax: +52 (722) 2145 351
jlmontesillo@uaemex.mx