

DOI: 10.24850/j-tyca-14-04-06

Artículos

## **Análisis econométrico de la demanda de agua en Tijuana, México**

### **Econometric analysis of water demand in Tijuana, Mexico**

Fidel Bautista-Mayorga<sup>1</sup>, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1480-0239>

José Alberto García-Salazar<sup>2</sup>, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9892-7618>

José Saturnino Mora-Flores<sup>3</sup>, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0052-8422>

<sup>1</sup>Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, carretera México-Texcoco km 36.5, Montecillo, Texcoco, Estado de México, México, fidelbm26@gmail.com

<sup>2</sup>Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, carretera México-Texcoco km 36.5, Montecillo, Texcoco, Estado de México, México, jsalazar@colpos.mx



<sup>3</sup>Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, carretera México-Texcoco km 36.5, Montecillo, Texcoco, Estado de México, México, saturmf@colpos.mx

Autor para correspondencia: José Alberto García-Salazar, jsalazar@colpos.mx

## Resumen

La escasez de agua, y el fuerte crecimiento de la población y del sector industrial en la ciudad de Tijuana hace necesario un uso adecuado del recurso. El objetivo de este artículo fue determinar los factores que afectan la demanda de agua en los sectores residencial e industrial de Tijuana, y analizar el efecto que un aumento en los precios del agua y energía eléctrica tienen sobre el consumo del líquido en ambos sectores. Se estimó un modelo de ecuaciones simultáneas de la demanda de agua y se usaron datos anuales de 1991 a 2019. Los resultados indican que la demanda de agua en el sector residencial e industrial responde de manera inelástica a sus respectivos precios. El precio del agua tendría que aumentar en 53.1 y 57.7 % para disminuir la demanda de agua en 10 % en los sectores residencial e industrial, respectivamente; y el precio de la energía eléctrica tendría que aumentar en 17.0 y 64.3 % para lograr el mismo efecto en el consumo en ambos sectores. La escasez de agua en

la ciudad justifica el aumento en los precios anteriores para lograr disminuir el consumo del vital líquido.

**Palabras clave:** Tijuana, demanda de agua, precios, sector residencial, sector industrial, coeficientes de elasticidad, ecuaciones simultáneas.

### Abstract

The scarcity of water and the strong growth of the population and the industrial sector in the City of Tijuana make it necessary to use this resource properly. The aim of this article was to determine the factors that affect the demand for water in the residential and industrial sectors of Tijuana, and to analyze the effect that an increase in the prices of water and electricity has on the consumption of water in both sectors. A model of simultaneous equations of the demand for water was estimated and annual data from 1991 to 2019 were used. The results indicate that the demand for water in the residential and industrial sectors responds inelastically to their respective prices. The price of water would have to increase by 53.1 and 57.7 %, to decrease the demand for water by 10 % in the residential and industrial sectors, respectively; and the price of electricity would have to increase by 17.0 and 64.3 % to achieve the same effect on consumption in both sectors. The shortage of water in the city justifies the increase in the previous prices to reduce the consumption of the vital liquid.

**Keywords:** Tijuana, water demand, prices, residential sector, industrial sector, elasticity coefficients, simultaneous equations.

Recibido: 05/08/2020

Aceptado: 23/01/2022

## Introducción

El crecimiento demográfico, la urbanización, la industrialización, el aumento de la producción y el consumo han generado una demanda de agua dulce cada vez mayor. Tal contexto conduce a la pregunta de si hay agua suficiente como para satisfacer las necesidades crecientes del mundo; las posibles soluciones podrían estar en el modo en que se usa, maneja y comparte el agua (UNESCO, 2015).

La disponibilidad de agua está limitada por características geográficas e hidrológicas. En estos aspectos México es muy heterogéneo, pues dos tercios del territorio nacional es árido y semiárido, donde se concentra el 77 % de la población total, la que más aporta al PIB



(Producto Interno Bruto) total, pero en cuestión de agua sólo representa el 28 % del escurrimiento natural del agua; en contraste, en el sureste, donde llueve diez veces más que en la zonas áridas del norte del país, el PIB es menor. Tal situación propicia la competencia por el agua, su contaminación y sobreexplotación de los acuíferos (Sectur, 2018).

El municipio de Tijuana colinda al norte con los EUA y el municipio de Tecate; al este, con los municipios de Tecate y Ensenada; al sur, con los municipios de Ensenada y Playas de Rosarito, y al oeste con el municipio de Playas de Rosarito y el océano Pacífico (Sectur, 2018) (Figura 1). Por su ubicación geográfica se encuentra en una zona con alto grado de presión sobre los recursos hídricos (Conagua, 2016). Para abastecer de agua a la ciudad de Tijuana se requieren unos 131 hm<sup>3</sup> por año, sin embargo se cuenta con 80 hm<sup>3</sup> de agua como derecho asignado del acuífero la Mesa Arenosa ubicado en San Luis Río Colorado, Sonora (por acuerdo se toma el agua del Río Colorado en lugar del agua asignada del acuífero). Existe un déficit de 51 hm<sup>3</sup>, el cual es cubierto por el acuífero de Tijuana (fuente local) y gracias a las negociaciones de rentar agua con los agricultores del distrito de riego (DR-014). El volumen asignado del acuífero y la renta de agua es conducido a través del acueducto Río Colorado-Tijuana (ARCT) (Comisión Estatal del Agua de Baja California, 2018). El acuífero de Tijuana es poco aprovechable por el deterioro en su calidad, provocado por la contaminación de la misma ciudad; a pesar de ello, se extrae un volumen anual de 14.5 hm<sup>3</sup>, de los cuales 9.3 hm<sup>3</sup> (64.1 %) se utilizan para satisfacer las necesidades del

uso público-urbano (residencial); 1.4 hm<sup>3</sup> más (9.7 %) para uso agrícola; 1.4 hm<sup>3</sup> (9.7 %) para servicios; 1.3 hm<sup>3</sup> (9.0 %) para uso pecuario-doméstico, y 1.1 hm<sup>3</sup> (7.6 %) para uso industrial (Conagua, 2015; Sectur, 2018). La infraestructura hídrica presente en este lugar son las presas Abelardo L. Rodríguez y El Carrizo, así como el acueducto que conduce agua del Río Colorado desde Mexicali hasta la ciudad de Tijuana para abastecimiento público-urbano (Sectur, 2018).



**Figura 1.** Localización de Tijuana y el acueducto Río Colorado-Tijuana (ARCT). PB-0 a PB-5 son las plantas de bombeo de la 0 a la 5. Fuente: Comisión Estatal del Agua de Baja California (2011).

La población en la ciudad de Tijuana en 2019 fue de 1.8 millones de personas; se proyecta que dicha población crezca en 19.5 % en el periodo 2019 a 2030 (Conapo, 2018), lo cual indica que aumentará la presión sobre los recursos hídricos en esta ciudad; ello justifica el uso racional y eficiente del agua en todos los sectores productivos.

Respecto al crecimiento industrial en la ciudad de Tijuana, datos solicitados a la Comisión Estatal de Servicios Públicos de Tijuana a través de la plataforma nacional de transparencia (CESPT, 2020: comunicación personal, 8 de mayo de 2020) indican una tasa de crecimiento media anual en las tomas de agua potable para uso industrial de 9.6% considerando el periodo de 1991 a 2000. Para el periodo de 2000 a 2010, esta tasa creció en 0.6 %, y en el periodo 2010 a 2019 dicha tasa tiene un crecimiento anual de 2.4 %. Lo anterior indica que la industria es un sector dinámico en Tijuana (industria extractiva, electricidad, manufacturera y construcción), y que en la última década tiene una tendencia creciente. Por lo tanto, este crecimiento en el sector implica mayor demanda de agua.

La Encuesta Nacional de Ocupación y Empleo (ENOE), publicada en INEGI (2020a), indica que en la ciudad de Tijuana el 97.2 % de la PEA (Población Económicamente Activa) se encontraba ocupada y sólo 2.8 % desocupada durante el segundo trimestre de 2019. De la población ocupada, el 59.4 % se desarrollaba dentro del sector terciario, que incluye comercio, restaurantes, servicios de alojamiento, transporte,

comunicaciones, correo, almacenamiento, servicios profesionales, financieros y corporativos, servicios sociales, servicios diversos en gobierno y organismos internacionales; el 34.3 % laboró en el sector secundario, que incluye a la industrias extractiva, electricidad, manufacturera y construcción; el restante 6.2 % correspondió a trabajadores que no especificaron el sector de actividad económica en el que se encontraban ocupados.

Desde hace tiempo la ciudad de Tijuana ha tenido que lidiar con la problemática de abastecimiento de agua. En el periodo de 1950 a 1980 se presentó una escasez de agua en esta ciudad, ocasionado por factores migratorios, y por el crecimiento industrial y poblacional; para 1987, un lustro después de la apertura del acueducto Río Colorado-Tijuana, fue necesario ampliar su capacidad de 1 500 a 2 660 l/s, y para 1993 a 4 000 l/s. En 1999 nuevamente se aumentó la capacidad a 5 300 l/s esperando cubrir los requerimientos hasta el año 2017; sin embargo, no ocurrió como se esperaba debido a que la población y la actividad económica han seguido creciendo, inclusive actualmente para abastecer la demanda de agua de la ciudad se tiene que negociar y comprar más de 1 395 l/s de agua adicional (equivalente a 44 hm<sup>3</sup> al año) proveniente del Distrito de Riego 014 (DR-014) (Navarro-Chaparro, Rivera, & Sánchez, 2016; Comisión Estatal del Agua de Baja California, 2018).

La energía eléctrica está directamente ligada al consumo de agua; en zonas residenciales se asocia con el uso de lavavajillas, lavadoras, baños y duchas, mientras que en el sector industrial se relaciona con

lavavajillas, agua a presión en fregaderos, lavanderías, aguas en procesos industriales, agua de refrigeración de maquinaria, agua caliente, productores de hielo y bombes, entre otros. Por esta razón, es importante analizar la energía eléctrica ligado con el manejo del agua (Wolf, 2010).

Dado el contexto anterior, es importante analizar los factores que determinan el comportamiento de la demanda en zonas áridas y con problemas de abasto de agua, como es en este caso de la ciudad de Tijuana. La escasez del recurso hídrico es cada vez más crítica a causa del crecimiento poblacional y de la industria.

La escasez de agua ha sido tema de múltiples investigaciones. Los factores que determinan el consumo de agua han sido estudiados por Guzmán, García, Rebollar y Hernández (2011); Gómez-Ugalde, Mora-Flores, García-Salazar y Valdivia-Alcalá (2012); Torres-Sombra *et al.* (2013); Castro y Sisto (2015); Romano, Salvati y Guerrini (2016); Martínez-Santos (2017), y Ojeda, Alvarez-Chavez, Ramos-Corella y Soto-Hernandez (2017), entre otros. El mercado del agua (oferta y demanda) ha sido analizada por Koutiva y Makropoulos (2016); Ashoori, Dzombak y Small (2017); Jiménez, Orrego, Cossio, Vásquez y Ponce (2017); Montesillo-Cedillo (2017), y Noya y Hernández (2018), entre otros; y la competencia por el uso del agua ha sido estudiada por García-Salazar, Guzmán-Soria y Fortis-Hernández (2006), y Torres-Sombra y García-Salazar (2015), entre otros.

Considerando la importancia social y económica del agua, además de la gran dependencia que tiene la ciudad de Tijuana sobre el acueducto Río Colorado-Tijuana como fuente principal de abastecimiento de agua, los acuíferos contaminados, la escasa lluvia, y el crecimiento poblacional e industrial, el presente artículo tiene como objetivo estimar los coeficientes de elasticidad de algunos factores que determinan la demanda de agua para el sector residencial e industrial de Tijuana, y determinar el precio del agua y energía eléctrica necesarios que permitan disminuir la demanda de agua en estos sectores mediante escenarios predictivos. La hipótesis por comprobar establece que una disminución de la demanda de agua en Tijuana se lograría si aumentaran los precios del agua y de la energía eléctrica.

## Materiales y métodos

Para cumplir con los objetivos y la hipótesis planteada en el presente trabajo, se formuló un modelo de ecuaciones simultáneas conformado por dos ecuaciones de demanda de agua y tres identidades, mismos que simbolizan los diferentes usuarios consumidores de agua (residencial,



industrial) para la ciudad de Tijuana. Se emplearon datos anuales para las variables consideradas en el modelo de 1991 a 2019. La estimación se realizó a través del método de mínimos cuadrados ordinarios en dos etapas y se usó el *software* econométrico SAS (2013). El modelo por estimar es el siguiente:

$$CARP_t = \alpha_0 + \alpha_1 PARR_t + \alpha_2 PERR_t + \alpha_3 INGR_t + \alpha_4 TEMP_t + \alpha_5 PP_t + \varepsilon_1 \quad (1)$$

$$QDAR_t = 385940 * CARP_t \quad (2)$$

$$CAIP_t = \alpha_0 + \alpha_1 PAIR_t + \alpha_2 PEIRL_{t-1} + \alpha_3 PIBAS_t + \alpha_4 TEMP_t + \alpha_5 PP_t + \varepsilon_2 \quad (3)$$

$$QDAI_t = 2329 * CAIP_t \quad (4)$$

$$QDARI_t = QDAR_t + QDAI_t \quad (5)$$

Donde  $CARP_t$  es el consumo promedio anual por toma de agua potable de uso residencial en el año  $t$ , en  $m^3$  por toma;  $PARR_t$ , el precio promedio (en términos monetarios) del agua potable en el sector residencial en el año  $t$ , en pesos por  $m^3$ ;  $PERR_t$ , el precio real ponderado de la energía eléctrica de uso residencial en el año  $t$ , en pesos por kilowatt-hora;  $INGR_t$ , el ingreso real per cápita (salario mínimo general

de la zona A, los municipios de Baja California pertenecen a esta zona) en el año  $t$ , en pesos por mes;  $TEMP_t$ , la temperatura media anual de verano en Tijuana en el año  $t$ , en °C;  $PP_t$ , la precipitación pluvial en el año  $t$ , en mm;  $QDAR_t$ , la cantidad demandada de agua en el sector residencial en el año  $t$ , en m<sup>3</sup>;  $CAIP_t$ , el consumo promedio anual por toma de agua potable en el sector industrial en el año  $t$ , en m<sup>3</sup> por toma;  $PAIR_t$ , el precio real del agua potable para uso industrial en el año  $t$ , en pesos por m<sup>3</sup>;  $PEIRL_{t-1}$  es el precio real ponderado de la energía de uso industrial en el año  $t-1$ , en pesos por kilowatt-hora;  $PIBAS_t$ , el PIB de las actividades secundarias del estado de Baja California en el año  $t$ , en millones de pesos;  $QDAI_t$ , la cantidad demandada de agua en el sector industrial en el año  $t$ , en m<sup>3</sup>;  $QDARI_t$ , la cantidad demandada total de agua por los sectores residencial e industrial en Tijuana en el año  $t$ , en m<sup>3</sup>; para las ecuaciones (1) y (3), la  $\alpha_0$  representa el intercepto en la ecuación correspondiente, las  $\alpha_1, \dots, \alpha_5$  en cada caso son los coeficientes estimados de los parámetros que asocian las variables exógenas con el consumo promedio anual por toma de agua potable de uso residencial e industrial, respectivamente;  $\varepsilon_1$  y  $\varepsilon_2$  representan los términos de error aleatorios.

El modelo se justifica de manera teórica y con evidencia empírica. En teoría, la demanda de un bien está en función de su precio (relación funcional inversa); de los bienes sustitutos y complementarios (relación funcional directa e inversa, respectivamente); del ingreso de los consumidores (si es un bien normal se espera una relación funcional directa e inversa si es un bien inferior); la población, y expectativas del

consumidor en precio y cantidades futuras (Barkley & Barkley, 2013). Con base en ello se consideran los precios del agua, de la energía eléctrica como un bien complementario y el ingreso.

La evidencia empírica para la formulación de las distintas ecuaciones propuestas en el presente trabajo se basó en las investigaciones de otros autores. De esta manera, la Ecuación (1) contempla al precio del agua y energía eléctrica de uso residencial, el ingreso, la temperatura, y la precipitación como variables explicativas del consumo de agua por toma de agua potable en el sector residencial (Guzmán *et al.*, 2011; Gómez-Ugalde *et al.*, 2012; Noya & Hernández, 2018). La Ecuación (2) es una identidad que indica que la cantidad demanda de agua en el sector residencial se obtiene al multiplicar el promedio del número de tomas de agua potable (1991-2019) por el consumo de agua por toma de agua potable en el sector residencial (Guzmán *et al.*, 2011).

Para la formulación de la Ecuación (3) se consideró al precio del agua y de energía eléctrica de uso industrial, el PIB de las actividades secundarias en el estado de Baja California, la temperatura, y la precipitación como variables explicativas del consumo de agua por toma de agua en el sector industrial (Torres-Sombra *et al.*, 2013; Renzetti, 2015). La Ecuación (4) es una identidad que indica que la cantidad demandada de agua potable en el sector industrial se obtiene al multiplicar el promedio de tomas de agua potable en el sector industrial del periodo analizado (1991 a 2019) por el consumo de agua por toma en

este sector (Guzmán *et al.*, 2011). La Ecuación (5) establece que la cantidad demandada total de agua es igual a la demanda de los sectores residencial e industrial (Guzmán *et al.*, 2011).

Una vez estimado el modelo en su forma estructural y reducida restringida, se estiman los coeficientes de elasticidad que relacionan algunos factores determinantes de la demanda con el consumo de agua en el sector residencial e industrial de Tijuana (elasticidades precio y cruzada de la demanda). Los valores medios de las variables y los parámetros de la forma estructural y reducida del modelo permitieron calcular las elasticidades.

Se analizan dos escenarios que tienen por objetivo disminuir la demanda de agua en el corto plazo en 10 y 20 %; para lograr esto se hace uso de las elasticidades estimadas y cambios en los precios del agua y la energía eléctrica que son necesarios para disminuir la demanda de agua en la magnitud señalada. Se supone que solo cambian los precios del agua y la energía eléctrica, dejando constantes las demás variables que afectan la demanda.

La cantidad consumida y el número de tomas de agua potable de uso residencial e industrial se solicitó a la Comisión Estatal de Servicios Públicos de Tijuana a través de la plataforma nacional de transparencia (CESPT, 2020: comunicación personal, 8 de mayo de 2020). Como variable proxy de los precios del agua y de energía eléctrica de uso residencial e industrial se emplearon las tarifas cobradas por m<sup>3</sup> por el operador de agua en la ciudad de Tijuana, y por kilowatt por hora por la

Comisión Federal de Electricidad (CFE); esta información provino de la CESPT (2020) e INEGI (2020b). Para obtener dicha tarifa por  $m^3$  se procedió de la forma siguiente: el consumo promedio anual tanto residencial como industrial se dividió por el número de tomas de agua potable de uso residencial e industrial, respectivamente; luego se empleó la calculadora que dispone la CESPT en su página web para estimar la tarifa correspondiente al consumo por toma.

La información de la temperatura y precipitación se obtuvo del Servicio Meteorológico Nacional (SMN, 2020). Por último, para deflactar el precio del agua y energía eléctrica se usó el Índice de Precios Implícito de la Electricidad, Gas y Agua (IPIEGA), y el Índice Nacional de Precios al Consumidor (INPC) para deflactar el ingreso; ambos se obtuvieron del INEGI (2020c).

## Resultados y discusión

Los resultados estadísticos se interpretan de acuerdo con el coeficiente de determinación  $R^2$ , la prueba  $F$  de Fisher y el estadístico  $t$  de Student. En la Tabla 1 se observa que el coeficiente de determinación para el

consumo por toma de agua en el sector residencial es de 0.80 y para el sector industrial es de 0.73; estos coeficientes indican una bondad de ajuste aceptable. La prueba  $F$  resultó significativa a un nivel de probabilidad menor al 1 % ( $P \leq 0.01$ ), esto quiere decir que todos los parámetros de las regresiones estimadas a nivel global son diferentes de cero. El estadístico  $t$  de Student indica la significancia individual de los parámetros estimados en cada una de las ecuaciones, los cuales resultaron significativos, pues la mayoría de los coeficientes es mayor a la unidad en términos absolutos.

**Tabla 1.** Coeficientes estimados de la forma estructural del modelo.

Variables endógenas	Variables exógenas						$R^2$	Prob. $F$
	Intercepto	$PARR$	$PERR$	$INGR$	$TEMP$	$PP$		
	( $m^3$ )	(\$/ $m^3$ )	(\$/kW/h)	(\$/mes)	( $^{\circ}C$ )	(mm)		
$CARP$ ( $m^3$ )	224.48	-0.67	-53.77	0.02	1.95	-0.00	0.80	0.0001
Error estándar	109.94	0.41	15.86	0.01	4.06	0.04		
Estadístico $t$	2.04	-1.65	-3.39	0.86	0.48	-0.1		
	Intercepto	$PAIR$	$PEIRL$	$PIBAS$	$TEMP$	$PP$		
$CAIP$ ( $m^3$ )	943.37	-7.98	-271.12	0.0006	127.1	-0.12	0.73	0.0001
Error estándar	1 418.35	4.56	179.6	0.0002	66.68	0.7		
Estadístico $t$	0.67	-1.75	-1.51	3.17	1.91	-0.18		

Los resultados económicos se examinan de acuerdo con los signos que se esperan según la teoría económica, y con las elasticidades obtenidas. De esta manera, se puede observar que los signos de los parámetros que relacionan las variables exógenas con sus respectivas variables endógenas en cada una de las ecuaciones son correctos.

En la Tabla 2 se presentan los coeficientes de la forma reducida restringida del modelo, el cual indica las relaciones existentes entre las variables endógenas solo con las variables exógenas del modelo. Esto permite observar las interrelaciones que se derivan del sistema de ecuaciones simultáneas.

**Tabla 2.** Coeficientes estimados de la forma reducida del modelo.

Variables exógenas	Unidad de medida	Variables endógenas				
		CARP	CAIP	QDAR	QDAI	QDARI
		(m <sup>3</sup> )	(m <sup>3</sup> )	(m <sup>3</sup> )	(m <sup>3</sup> )	(m <sup>3</sup> )
Intercepto	(m <sup>3</sup> )	224.4	943.3	86 636 091	2 197 124	88 833 214
PARR	(\$/m <sup>3</sup> )	-0.67		-260 622		-260 622
PERR	(\$/kW/h)	-53.77		-20 750 000		-20 750 000
INGR	\$/mes	0.01		6 067.83		6 067.83
TEMP	°C	1.95	127.1	753 349.2	296 024.8	1 049 374
PP	mm		-0.12	-1 652.2	-291.76	-1 944.03
PAIR	(\$/m <sup>3</sup> )		-7.98	0	-18 588.2	-18 588.2
PEIRL	(\$/kW/h)		-271.1	0	-631 457	-631 457
PIBAS	millones de \$		0.0006	0	1.61	1.61

En la Tabla 3 se muestra la estadística descriptiva de las variables empleadas en el modelo, las cuales son de utilidad para estimar las elasticidades de la demanda de agua en el sector residencial e industrial. Conviene aclarar que las variables *TOMAR* Y *TOMAI* son el número de tomas de agua potable en el sector residencial e industrial, respectivamente, ya que no aparecen de forma explícita en el modelo como se indica, pero se emplearon para estimar las variables *CARP* y *CAIP* ya descritas.

**Tabla 3.** Estadística descriptiva de las variables usadas, 1991-2019.

VARIABLES	Unidad de medida	Media	Error estándar	Mínimo	Máximo
<i>CARP</i>	m <sup>3</sup>	173	35.3	132.3	236.3
<i>PARR</i>	\$/m <sup>3</sup>	48.21	13.2	29.5	69.6
<i>PERR</i>	\$/kW/h	1.9	0.4	1.2	2.7
<i>INGR</i>	\$/mes	2 586.7	313.2	2 332.6	3 374.3
<i>TEMP</i>	°C	21.5	0.9	19.7	23
<i>PP</i>	mm	187.2	79.4	85	357
<i>CAIP</i>	m <sup>3</sup>	2 994.8	502.9	2 196.1	4 308.5
<i>PAIR</i>	\$/m <sup>3</sup>	65	21.1	36.6	100.8
<i>PEIRL</i>	\$/kW/h	1.7	0.5	1.1	2.8
<i>PIBAS</i>	millones \$	449 409.8	317 475.0	207 811.1	1 279 958.5
<i>TOMAR</i>	tomas	385 939.9	162 195.7	120 103.0	619 111.0
<i>TOMAI</i>	tomas	2 328.7	641.5	1 022.0	3 106.0
<i>QDAR</i>	m <sup>3</sup>	66 767 620.0	13 605 935.3	51 059 862.0	91 197 622.0
<i>QDAI</i>	m <sup>3</sup>	6 974 800.9	1 171 148.5	5 114 716.9	10 034 496.5
<i>QDARI</i>	m <sup>3</sup>	73 742 420.9	14 660 547.4	56 637 351.2	100 051 781.0

En la Tabla 4 se muestran los coeficientes de elasticidad precio de la demanda del agua y de energía eléctrica. En el sector residencial, la elasticidad precio de la demanda de agua es de -0.188 y de -0.588 para la energía eléctrica. Dichos valores indican que ante un aumento de 10 % en los precios reales del agua y la energía eléctrica, la cantidad demandada de agua en estos sectores disminuirá en 1.88 y 5.88 %, respectivamente. Tales resultados sugieren que el uso del agua y la energía eléctrica es esencial en las actividades residenciales, pues ante un cambio importante en los precios, la demanda de agua en el sector residencial responde menos que proporcionalmente al cambio en los precios. Lo anterior sugiere que, para obtener una disminución importante en la demanda de agua en el sector residencial, el precio del agua y energía eléctrica deberían incrementarse.

**Tabla 4.** Elasticidades del precio del agua y energía eléctrica.

Variables endógenas	Precio del agua		Precio de la energía	
	<i>PARR</i>	<i>PAIR</i>	<i>PERR</i>	<i>PEIRL</i>
	(\$/m <sup>3</sup> )	(\$/m <sup>3</sup> )	(\$/kW/h)	(\$/kW/h)
<i>QDAR</i> (m <sup>3</sup> )	-0.188		-0.588	
<i>QDAI</i> (m <sup>3</sup> )		-0.173		-0.156
<i>QDARI</i> (m <sup>3</sup> )	-0.170	-0.016	-0.533	-0.015

Las elasticidades anteriores son similares a las reportadas por otros autores. Noya y Hernández (2018) encontraron un coeficiente de elasticidad precio de la demanda de agua para uso residencial de  $-0.24$  para la ciudad de Cúcuta, Colombia; Castro y Sisto (2015) reportan una elasticidad de  $-0.18$  para la república mexicana, y Jiménez *et al.* (2017) reportan un coeficiente de  $-0.10$  para Manizales, Colombia. Mientras que Torres-Sombra *et al.* (2013) encontraron un coeficiente de elasticidad que relaciona la demanda de agua residencial con la energía eléctrica de  $-0.22$ . Sin embargo, se observa que existen diferencias en la magnitud de los coeficientes, atribuibles a factores como la dimensión espacial y temporal de los diferentes estudios y la metodología empleada; pero más allá de todo eso, tiene que ver con el mayor o menor uso del agua en el sector; es decir, un coeficiente más inelástico indica que el uso del agua en el sector es más esencial y viceversa.

Respecto al sector industrial, en el presente trabajo se estima un coeficiente de elasticidad que relaciona los precios del agua y la energía eléctrica con la demanda de agua en este sector de  $-0.173$  y  $-0.156$ , respectivamente. Ello significa que un aumento de  $10\%$  en términos reales en los precios ocasionará que la demanda de agua en este sector disminuya en  $1.73\%$  y  $1.56\%$ , respectivamente. En tal sentido, el coeficiente de elasticidad precio del agua y energía eléctrica en el sector industrial encontrado por Torres-Sombra *et al.* (2013) para Sinaloa fue de  $-0.82$  y  $-0.9$ , respectivamente. Se puede notar que dichos coeficientes

son superiores al encontrado, lo que se debe probablemente a que el sector industrial en Sinaloa emplea grandes cantidades de agua derivado de pagar bajos precios por el agua y energía eléctrica, en comparación con Tijuana, que paga precios más elevados por estos bienes.

Como ya se mencionó, una demanda más inelástica indica que el recurso hídrico es más esencial. Renzetti (2015) sostiene que el agua es empleada como un insumo en los procesos de producción industrial y el uso del agua en este sector es muy diverso; por ejemplo, se emplea para enfriar maquinas, producir vapor, mover y limpiar materias primas, producir electricidad, limpiar áreas de trabajo, y regar jardines. Dado lo anterior, se puede pensar que la demanda de agua en la industria es considerable, razón por la cual resultan coeficientes altos.

El aumento en el precio se justifica por la escasez y contaminación del agua en Tijuana; sin embargo, esta acción es debatible. Por un lado, el aumento en el precio fomenta un uso más eficiente y racional de este recurso porque permitiría una mejor planeación del servicio del agua en la ciudad de Tijuana; por otro lado, desataría un descontento social debido a que afectaría a la gente con limitados recursos económicos.

En referencia a la cantidad demanda de agua total del sector residencial e industrial (QDARI), ésta responde de manera inelástica a los precios del agua del sector residencial e industrial, ya que los coeficientes de elasticidad son  $-0.170$  y  $-0.016$ , respectivamente; del mismo modo responde a los precios de la energía eléctrica del sector residencial e industrial, con coeficientes de  $-0.533$  y  $-0.015$ , respectivamente. Dichos

coeficientes indican que ante un aumento en términos reales en los precios del agua de 10 %, la demanda total de agua en Tijuana de los dos sectores caerá en 1.70 y 0.16 %, respectivamente. Un aumento de 10 % en el precio de la energía eléctrica ocasionará que la demanda total de ambos sectores disminuya en 5.33 y 0.15 %, respectivamente.

Como se puede observar, la caída en la demanda de agua total es más notoria cuando aumenta el precio del agua en el sector residencial que en el industrial, lo cual es atribuible al número de usuarios del agua; es decir, hay más residencias (casas) que industrias en la ciudad de Tijuana, por lo que el efecto de aumento en el precio de agua en el sector residencial es mayor sobre la demanda de agua total. De manera contraria, se puede observar que la demanda total (*QDARI*) disminuye en mayor proporción cuando incrementa el precio de la energía eléctrica en el sector industrial, esto se debe al coeficiente de elasticidad de la energía eléctrica y se traduce en que este sector es sensible a cambios en el precio de la energía, que a su vez impacta en el consumo de agua debido a que ambos bienes son complementarios. En tal rubro, Guzmán *et al.* (2011) reportan que la demanda total (residencial e industrial) de Guanajuato responde de manera inelástica a cambios en el precio del agua correspondientes al sector residencial e industrial, con coeficientes de -0.018 y -0.0082, respectivamente. En ese mismo sentido, Torres-Sombra *et al.* (2013) encontraron que la demanda de agua total en el norte de Sinaloa también responde de manera inelástica a los precios mencionados, con elasticidades de -0.0009 y -0.00002, respectivamente.

En la Tabla 5 se pueden observar los coeficientes de elasticidad que relacionan la demanda de agua en Tijuana con el resto de los factores determinantes del consumo. El valor de los coeficientes indica que ante un aumento de 10 % en el ingreso real, la demanda de agua aumentará en 2.35 % en el sector residencial y en 2.13 % en la demanda total (*QDARI*). Estos resultados son similares a los que encontró Gómez-Ugalde *et al.* (2012); el coeficiente hallado fue de 0.40. Considerando el valor de la elasticidad ingreso de la demanda, el agua se comporta como un bien normal, lo que indica que cuando sube el ingreso también lo hace la demanda de agua.

**Tabla 5.** Elasticidad cruzada de la demanda de agua en Tijuana.

Variables exógenas	Variables endógenas		
	<i>QDAR</i>	<i>QDAI</i>	<i>QDARI</i>
	( $\%$ )		
<i>INGR</i> ( $\%$ )	0.235		0.213
<i>TEMP</i> ( $\%$ )	0.242	0.911	0.306
<i>PP</i> ( $\%$ )	-0.005	-0.008	-0.005
<i>PIBAS</i> ( $\%$ )		0.104	0.01

Un aumento de 10 % en el *PIBAS* real originará que el consumo de agua en el sector industrial aumente en 1.04 y 0.10 % en la demanda

total. En este caso, Guzmán *et al.* (2011) reportan un coeficiente que relaciona el PIB per cápita con la demanda total de agua en los sectores residencial e industrial de 0.024, muy similar al encontrado en este trabajo. Un aumento de 10 % en la temperatura originará que la demanda de agua aumente en 2.42 % en el sector residencial, en 9.11 % en el sector industrial y 3.06 % en la demanda total. Noya y Hernández (2018) encontraron un coeficiente de elasticidad de temperatura de 0.3259 para el sector residencial en Colombia; por su parte, Guzmán *et al.* (2011) indican un coeficiente de temperatura que se relaciona con la demanda de agua total en los sectores residencial e industrial en Guanajuato de 0.1404. El resultado de esta investigación es similar al encontrado por Noya y Hernández (2018), pero es superior comparado con el de Guzmán *et al.* (2011), esto tiene sentido, pues Tijuana presenta un clima más caluroso que Guanajuato, por lo tanto, al incrementarse la temperatura, el impacto en el consumo de agua es mayor en Tijuana.

De manera similar, un aumento del 10 % en la precipitación ocasionará que la demanda de agua disminuya en 0.05 % en el sector residencial, en 0.08 % en el sector industrial y en 0.05 % en la demanda total. También se percibe que la temperatura influye en mayor medida sobre la demanda de agua que la precipitación; esto es congruente con la situación climática que existe en Tijuana, dado que presenta temperaturas altas y las precipitaciones son muy escasas. Conviene mencionar que es difícil influir en algunas variables, como la temperatura

y precipitación, debido a su naturaleza meramente estocástica, ya que éstas dependen de las condiciones climatológicas.

En la Tabla 6 se muestra la validación del modelo, que consiste en comparar los valores observados contra lo que predice el modelo. Se aprecia que existe un buen ajuste, pues se observa poca diferencia porcentual entre los valores observados y estimados. En esta misma tabla se presentan los dos escenarios propuestos: de disminuir la demanda en 10 y 20 %, y el cambio requerido en el precio para disminuir la demanda.

**Tabla 6.** Disminución de la demanda de agua en Tijuana.

Escenario	Sector	
	Residencial	Industrial
	hm <sup>3</sup>	
<b>Validación del modelo</b>		
Observado	61.4	6.7
Estimado	66.4	6.9
Diferencia	4.9	0.2
Diferencia en %	8.0	2.4
<b>Escenario 1 (disminuye 10 % la demanda de agua)</b>		
Demanda	59 .7	6 .2
Cambio	-6.6	-0.7
Cambio en %	-10	-10
Cambio en % requerido en el precio		
Precio de agua	53.1	57.7
Precio de energía	17.0	64.3
<b>Escenario 2 (disminuye 20 % la demanda de agua)</b>		
Demanda	53 .1	5.5
Cambio	-13 .3	-1.4
Cambio en %	-20	-20
Cambio en % requerido en el precio		
Precio de agua	106.3	115.4
Precio de energía	34.0	128.6

En el escenario 1 se analiza el cambio en el precio que sería necesario para disminuir en 10 % la demanda de agua en sector residencial y en la industria. La caída en la demanda de agua en el sector residencial pasaría de 66.4 a 59.7 hm<sup>3</sup>, esto es, una disminución de 10 % respecto al valor estimado. Tomando en cuenta la relación inversa que existe entre el precio y la demanda del agua, y el precio de la energía eléctrica como bien complementario de la demanda de agua, es necesario que el precio del agua y energía eléctrica en el sector residencial aumente en 53.1 y 17.0 %, respectivamente.

La demanda de agua en el sector industrial pasaría de 6.9 a 6.2 hm<sup>3</sup>, representando una disminución de 10 % respecto al valor estimado; esta caída hace necesario que el precio del agua y la energía eléctrica en el sector industrial aumente en 57.7 y 64.3 %, respectivamente. Tales resultados muestran que es viable implementar un aumento en los precios del agua y energía eléctrica para disminuir la demanda en el sector residencial e industrial, considerando la escasez de agua que sufre la ciudad de Tijuana.

En el escenario 2 se analiza una disminución del 20 % en la demanda de agua respecto al valor estimado por el modelo. La demanda de agua residencial pasa de 66.4 a 53.1 hm<sup>3</sup> y la industrial pasa de 6.9 a 5.5 hm<sup>3</sup>. Para obtener estas disminuciones es necesario que el precio del agua y energía eléctrica en el sector residencial aumente en 106.3 y 34.0 %, respectivamente; los precios mencionados en el sector industrial deben aumentar en 115.4 y 128.6 %, respectivamente. Disminuir la

demanda en estas magnitudes sería benéfico para una mejor planeación del agua en Tijuana. Además del aumento en los precios, este objetivo se podría complementar si se analizan los hábitos de consumo de agua, la inversión en tecnología ahorradora de agua y la publicidad sobre el cuidado del agua.

Es conveniente mencionar que el modelo usado presenta algunas limitantes que se mencionan a continuación. El modelo solo consideró los sectores residencial e industrial, y el estudio hubiera estado más completo de haber considerado otros sectores consumidores como la agricultura y ganadería; dichos sectores no fueron incluidos en el modelo porque su aportación en el Producto Interno Bruto no es muy relevante en la región. Una fuerte limitante que obstaculiza la inclusión de otros sectores es obtener una serie de tiempo relativamente larga para poder realizar la estimación econométrica. El modelo tampoco consideró una función para la oferta regional de agua en la ciudad de Tijuana, pues esta variable no responde a las variaciones en el precio, y su comportamiento depende del crecimiento de la demanda en los sectores residencial e industrial. El modelo propuesto se puede usar en otras ciudades del país con problemas de escasez de agua similares a las que presenta la ciudad de Tijuana. Conocer los factores que determinan el comportamiento de la demanda es importante, porque las elasticidades derivadas de este tipo de estudio son esenciales en la toma de decisiones de política de precios enfocada en disminuir el consumo de agua y evitar la sobreexplotación de los

acuíferos de donde usualmente se abastecen de agua las grandes ciudades del norte de México.

## Conclusiones

El modelo de sistema de ecuaciones simultáneas y los coeficientes de las elasticidades estimadas permitieron observar que la demanda de agua en los sectores residencial e industrial de la ciudad de Tijuana responde de manera inelástica a sus respectivos precios. Aumentar los precios del agua y la energía eléctrica provoca disminuciones en la demanda de agua, aceptándose la hipótesis planteada.

El crecimiento de la población y la industria implica un mayor consumo de agua, esto se complica en lugares con déficit de agua como en Tijuana, por lo que herramientas económicas como incrementar el precio del agua y energía eléctrica pueden ayudar para lograr tener un uso eficiente de este recurso escaso.

Los coeficientes de elasticidad del precio del agua y la energía eléctrica indican que la demanda del líquido responde de manera inelástica a cambios en los precios respectivos; por lo tanto, dichos precios tendrían que aumentar de manera significativa para lograr

disminuir el consumo de agua en los dos sectores. Los coeficientes de otros factores que determinan la demanda indican que ésta también responde de manera inelástica, con excepción de la temperatura, que presentó un coeficiente mayor; esto tiene sentido por las condiciones climatológicas que prevalecen en Tijuana.

Los valores estimados de las variables del modelo, muy cercanos a los valores observados, permitieron realizar escenarios consistentes en disminuir la demanda de agua en los sectores residencial e industrial en 10 y 20 %, respectivamente. Los escenarios revelan que es posible aumentar los precios del agua y energía eléctrica como medida para disminuir la demanda de agua. Si bien el aumento en los precios del agua y energía eléctrica afecta de manera negativa el gasto de los consumidores, éste se justifica por la fuerte escasez del vital recurso en la ciudad de Tijuana.

### Agradecimientos

Los autores agradecen a los revisores del presente artículo por sus finas observaciones y aportaciones.



## Referencias

- Ashoori, N., Dzombak, D. A., & Small, M. J. (2017). Identifying water price and population criteria for meeting future urban water demand targets. *Journal of Hydrology*, 555, 547-556. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2017.10.047
- Barkley, A., & Barkley, P. W. (2013). *Principles of agricultural economics*. New York, USA: Routledge. Recuperado de <https://www.studocu.com/in/document/university-of-zambia/agriculture-economics/other/principles-of-agricultural-economics-pdfdrivecom/4046030/view>
- Castro, G., & Sisto, N. P. (2015). Precio y manejo del agua urbana en México. *Noesis*, 24(47), 223-242. DOI: 10.20983/noesis.2015.1.8
- CESPT, Comisión Estatal de Servicios Públicos de Tijuana. (2020). *Tarifas*. Recuperado de <https://www.cespt.gob.mx/ServTarifas/Tarifas.aspx>
- Comisión Estatal del Agua de Baja California. (2011). *Infraestructura existente y de proyecto del acueducto Río Colorado-Tijuana*. Recuperado de <https://vdocumento.com/infraestructura-existente-y-de-proyecto-del-acueducto-rio-colorado-tijuana.html>

Comisión Estatal del Agua de Baja California. (2018). *Programa hídrico del estado de Baja California: visión 2035. Resumen ejecutivo*. Recuperado de <http://www.cea.gob.mx/phebc/resejec/RESUMEN%20EJECUTIVO%20PHEBC.pdf>

Conagua, Comisión Nacional del Agua. (2015). *Actualización de la disponibilidad media anual de agua en acuífero Tijuana (0201), estado de Baja California*. Recuperado de [https://sigagis.conagua.gob.mx/gas1/Edos\\_Acuiferos\\_18/BajaCalifornia/DR\\_0201.pdf](https://sigagis.conagua.gob.mx/gas1/Edos_Acuiferos_18/BajaCalifornia/DR_0201.pdf)

Conagua, Comisión Nacional del Agua. (2016). *Atlas del agua en México 2016*. Recuperado de <https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2017/05/atlas-del-agua-en-mexico-2016.pdf>

Conapo, Consejo Nacional de Población. (2018). *Proyecciones de la población de México y de las entidades federativas, 2016-2050*. Recuperado de <https://datos.gob.mx/busca/dataset/proyecciones-de-la-poblacion-de-mexico-y-de-las-entidades-federativas-2016-2050>

García-Salazar, J. A., Guzmán-Soria, E., & Fortis-Hernández, M. (2006). Demanda y distribución del agua en la Comarca Lagunera, México. *Agrociencia*, 40(2), 269-276. Recuperado de <http://www.colpos.mx/agrocien/Bimestral/2006/mar-abr/art-12.pdf>



Gómez-Ugalde, S. G., Mora-Flores, J. S., García-Salazar, J. A., & Valdivia-Alcalá, R. (2012). Demanda de agua para uso residencial y comercial. *Terra Latinoamericana*, 30(4), 337-342. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/573/57325814005.pdf>

Guzmán, E., García, J. A., Rebollar, S., & Hernández, J. (2011). Determinantes del consumo de agua por los sectores urbanos e industriales en Guanajuato, México. *Análisis Económico*, 26(63), 199-213. Recuperado de <http://www.analiseconomico.azc.uam.mx/index.php/rae/article/view/223/214>

INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2020a). *Encuesta Nacional de Ocupación y Empleo (ENOE), Población de 15 años y más de edad*. Recuperado de <https://www.inegi.org.mx/programas/enoe/15ymas/default.html#Tabulados>

INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2020b). *Anuario estadístico del estado de Baja California. Varias ediciones*. Recuperado de <https://www.inegi.org.mx/app/buscador/default.html?q=anuario+estadistico+del+estado+de+baja+california>

INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2020c). *Banco de Información Económica (BIE)*. Recuperado de <https://www.inegi.org.mx/app/indicadores/?tm=0>



- Jiménez, D. F., Orrego, S. A., Cossio, D. M., Vásquez, F. A., & Ponce, R. D. (2017). Efecto de la variabilidad climática sobre la demanda de agua para uso residencial urbano: el caso de la ciudad de Manizales, Colombia. *Desarrollo y Sociedad*, 79, 91-124. DOI: 10.13043/dys.79.3
- Koutiva, I., & Makropoulos, C. (2016). Modelling domestic water demand: An agent based approach. *Environmental Modelling & Software*, 79, 35-54. DOI: 10.1016/j.envsoft.2016.01.005
- Martínez-Santos, P. (2017). Determinants for water consumption from improved sources in rural villages of southern Mali. *Applied Geography*, 85, 113-125. DOI: 10.1016/j.apgeog.2017.06.006
- Montesillo-Cedillo, J. L. (2017). Suministro de agua potable en México: más allá del crecimiento poblacional. *Tecnología y ciencias del agua*, 8(1), 21-33. Recuperado de <http://revistatyca.org.mx/ojs/index.php/tyca/articleCms/view/1292/1212>
- Navarro-Chaparro, K., Rivera, P., & Sánchez, R. (2016). Análisis del manejo de agua en la ciudad de Tijuana, Baja California: factores críticos y retos. *Estudios Fronterizos, nueva época*, 17(33), 53-82. DOI: 10.21670/ref.2016.33.a03

- Noya, E. M., & Hernández, N. (2018). Análisis de la variación de la demanda residencial de agua en la ciudad de Cúcuta 2010-2012. *Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales*, 18(1), 92-107. DOI: 10.24054/01204211.v1.n1.2018.3220
- Ojeda, A., Alvarez-Chavez, C. R., Ramos-Corella, M. A., & Soto-Hernandez, F. (2017). Determinants of domestic water consumption in Hermosillo, Sonora, Mexico. *Journal of Cleaner Production*, 142, 1901-1910. DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.11.094
- Renzetti, S. (2015). Non-household water demand: The industrial and commercial sectors. In: Grafton, Q., Daniell, K. A., Nauges, C., Jean-Daniel, R., & Chan, N. W. W. (eds.). *Understanding and managing urban water in transition*. Global Issues in Water Policy 15 (pp. 297-310). New York, USA, London, UK: Springer. DOI: 10.1007/978-94-017-9801-3\_14
- 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. DOI: 10.1016/j.jclepro.2015.09.141
- SAS, Statistical Analysis System Institute. (2013). *SAS/ETS user's guide*, version 9.2. SAS. North Carolina, USA: Statistical Analysis System Institute.

Sectur, Secretaría de Turismo. (2018). *Programa Marco para Fomentar Acciones para Restablecer el Balance del Ciclo del Agua en Tijuana*. Recuperado de <http://www.sectur.gob.mx/gobmx/wp-content/uploads/2020/02/Tijuana.pdf>

SMN, Servicio Meteorológico Nacional. (2020). *Resúmenes mensuales de temperaturas y lluvia*. Recuperado de <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/temperaturas-y-lluvias/resumenes-mensuales-de-temperaturas-y-lluvias>

Torres-Sombra, J., & García-Salazar, J. A. (2015). Uso del agua en el norte de Sinaloa: ¿a cuál consumidor asignar el recurso? *Tecnología y ciencias del agua*, 6(1), 167-173. Recuperado de <http://revistatyca.org.mx/ojs/index.php/tyca/articleCms/view/1214/1117>

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*, 47(3), 293-307. Recuperado de <https://agrociencia-colpos.mx/index.php/agrociencia/article/view/1020/1020>

- UNESCO, Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. (2015). Agua para un mundo sostenible. En: *Informe de las Naciones Unidas sobre los recursos hídricos en el mundo 2015*. Recuperado de [http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/HQ/SC/images/WWDR2015Facts\\_Figures\\_SPA\\_web.pdf](http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/HQ/SC/images/WWDR2015Facts_Figures_SPA_web.pdf)
- Wolf, G. (2010). Agua y energía en California. *Ingeniería del Agua*, 17(3), 201-211. DOI: 10.4995/ia.2010.2980