



Sexto
Congreso Nacional de
Riego, Drenaje y Biosistemas
COMEII- 2021 / Hermosillo, Sonora



Artículo: COMEII-21001

Hermosillo, Son., del 9 al 11 de junio de 2021

LA DEMANDA DE AGUA EN LA CIUDAD DE TIJUANA, MÉXICO

Fidel Bautista Mayorga^{1*}; José Alberto García Salazar¹; José Saturnino Mora Flores¹

¹Economía. Colegio de Postgraduados. Campus Montecillo. Texcoco de Mora,
C.P. 56230, Estado de México, México.

fidelbm26@gmail.com ó fidbaumay_dicea@hotmail.com - 5572742273 (*Autor de correspondencia)

Resumen

El municipio de Tijuana por su ubicación geográfica es catalogada como zona con alto grado de presión sobre los recursos hídricos. El crecimiento demográfico, la urbanización, la industrialización han generado una demanda de agua dulce cada vez mayor, lo que complica el abastecimiento del vital líquido, pues hay evidencia que la demanda supera la oferta de agua en dicho municipio. El objetivo del presente trabajo fue estimar coeficientes de elasticidad del precio del agua y energía eléctrica, además de otros factores que determinan la demanda de agua para el sector residencial e industrial en Tijuana. Para dar cumplimiento al objetivo planteado, se formuló un modelo econométrico de ecuaciones simultáneas con datos anuales de 1991 a 2019. El resultado encontrado fue un coeficiente de elasticidad para el precio del agua y energía eléctrica inelástica, lo que implica que estos precios aumenten de manera importante para disminuir la demanda de agua en los sectores antes mencionados.

Palabras claves: residencial, industrial, elasticidad, precio del agua, precio de la energía eléctrica



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, ¿hay agua suficiente como para satisfacer las necesidades crecientes del mundo?, las posibles respuestas podrían estar en el modo en que se usa, se maneja y se comparte el agua (UNESCO, 2015).

La población en la ciudad de Tijuana crece a un ritmo preocupante, pues en el periodo 2000 al 2005 tuvo una tasa de crecimiento anual de 16.5% y del 2005 al 2010 de 10.6%, de acuerdo a las proyecciones del Consejo Nacional de Población (CONAPO) se estima que en el periodo 2011 al 2030 la población crecerá 28.3%. Lo que indica que aumentará la presión sobre los recursos hídricos en esta ciudad, lo anterior que justifica el uso racional y eficiente del agua en el sector residencial y en todos los sectores productivos (SECTUR, 2018).

Respecto al crecimiento industrial en la ciudad de Tijuana, datos solicitados a través de la Plataforma Nacional de Transparencia a la Comisión Estatal de Servicios Públicos de Tijuana (CESPT, comunicación personal, 08 de mayo de 2020), indican una Tasa Media de Crecimiento Anual (TMCA) en las tomas de agua potable para uso industrial de 9.6%, considerando el periodo de 1991 a 2000. Para el periodo del 2000 a 2010 la TMCA fue de 0.6%, y en el periodo 2010 a 2019 dicha tasa tiene un crecimiento anual de 2.4%. Lo que indica que la industria es un sector dinámico en Tijuana, y que en la última década tiene una tendencia creciente. Por lo tanto, este crecimiento en el sector implica mayor demanda de agua.

El 95% del agua que se consume en Tijuana proviene del Acueducto Río Colorado Tijuana (A. R. C. T.), pues la escasa existencia de agua subterránea 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 de 14.5 hm³ anuales, de los cuales 9.3 hm³ (64.1%) se utilizan para satisfacer las necesidades del uso público-urbano (residencial), 1.4 hm³ más (9.7%) para uso agrícola, 1.4 hm³ (9.7%) para servicios, 1.3 hm³ (9.0%) para uso pecuario-doméstico, y 1.1 hm³ (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 A. R. C. T. que conduce agua del Río Colorado desde Mexicali hasta la ciudad de Tijuana para abastecimiento público-urbano (SECTUR, 2018).

La demanda supera a la oferta de agua, anualmente se requiere de 2.4 m³ por segundo para cubrir la demanda y del Río Tijuana se dispone 0.2 m³/s, de la planta potabilizadora Abelardo Rodríguez 0.2 m³/s y de la planta potabilizadora el Florido, por medio del A. R. C. T ...1.7 m³/s. Los datos anteriores indican que la oferta de agua es de 2.1 m³/seg, evidenciando una falta de agua de 0.3 m³/s (CESPT, 2019).

Los factores que determinan el consumo de agua ha sido objeto de varios estudios por mencionar algunos se cita a Guzmán et al. (2011), Gómez-Ugalde et al. (2012), Torres-Sombra et al. (2013), Castro y Sisto (2015). Romano et al. (2016), Martínez-Santos (2017), Ojeda et al. (2017).

Considerando la importancia social y económica del agua, además de la dependencia que tiene la ciudad de Tijuana sobre el A. R. C.T. como fuente principal de abastecimiento



de agua, mantos acuíferos contaminados, la escasa lluvia, el crecimiento poblacional e industrial, el presente trabajo tiene como objetivo estimar coeficientes de elasticidad del precio del agua y energía eléctrica, además de otros factores que determinan la demanda de agua para el sector residencial e industrial en Tijuana.

Materiales y Métodos

Área de estudio

“La ciudad de Tijuana cuenta con una superficie de 123 863.37 hectáreas que representan 1.7 % del estado de Baja California y 0.1 % de la superficie nacional. Se localiza en el extremo noroeste del estado y país; colinda al norte con los Estados Unidos de América (41 km con el condado de San Diego, California), al sur con los municipios de Playas de Rosarito y Ensenada, al este con el municipio de Tecate; y al oeste con el Océano Pacífico, en una extensión de 15.119 km de la longitud de línea de costa nacional” (Plan Municipal de Desarrollo, 2021).

Descripción y formulación del modelo econométrico

Un modelo de ecuaciones simultáneas a diferencia de un modelo uniecuacional está conformada por varias ecuaciones relacionadas entre sí, es decir una variable dependiente (y) puede estar explicada por una o varias variables independientes (x), pero a su vez, las variables independientes (x) pueden estar explicadas por una variable dependiente (y), por lo tanto, la relación causa-efecto tiene dos o más sentidos, y eso es lo que lo hace relevante a este tipo de modelos (Gujarati y Porter, 2010).

El modelo econométrico de ecuaciones simultáneas empleado en este trabajo se formó con dos ecuaciones de consumo per cápita de agua, uno para el sector residencial y el otro para el sector industrial, se consideraron tres identidades que simbolizan la demanda de agua en cada sector, la primera y segunda identidad prácticamente es el producto del promedio de tomas de agua potable de uso residencial e industrial por su respectivo consumo per cápita de agua, y la tercera representa la demanda total que es la suma de la demanda de agua del sector residencial e industrial. Se emplearon datos anuales que comprende el periodo 1991 al 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 se ajustó a lo que dicta la teoría económica y también contiene 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 y Barkley, 2013).

Empíricamente, se utilizó como referencia trabajos realizados anteriormente sobre el tema. En este sentido los trabajos de Guzmán et al. (2011); Gómez-Ugalde et al. (2012); Noya y Hernández (2018) sostienen que precio del agua y energía eléctrica de uso residencial, el ingreso, la temperatura, y la precipitación son variables explicativas del consumo de agua por toma de agua potable en el sector residencial. Mientras que los trabajos de Torres-Sombra et al. (2013) y Renzetti (2015), afirman que el precio del agua



y de energía eléctrica de uso industrial, el PIB de las actividades secundarias, la temperatura y la precipitación son variables que explican el consumo de agua por toma de agua en el sector industrial. Para el caso de la formulación de las identidades se basó en el trabajo de Guzmán et al. (2011).

Dado lo anterior, las variables incluidas en el modelo econométrico para el consumo per cápita en el sector residencial fueron: $CARP_t$ es el consumo promedio anual por toma de agua potable de uso residencial en el año t , en m^3 por toma; $PARR_t$ es el precio real del agua potable en el sector residencial en el año t , en pesos por m^3 ; $PERR_t$ es el precio real ponderado de la energía eléctrica de uso residencial en el año t , en pesos por kilowatt-hora; $INGR_t$ es el ingreso real en el año t , en pesos por mes; $TEMP_t$ es la temperatura media anual de verano en Tijuana en el año t , en $^{\circ}C$; PP_t es la precipitación pluvial en el año t , en mm ; para el consumo per cápita en el sector industrial fueron: $CAIP_t$ es el consumo promedio anual por toma de agua potable en el sector industrial en el año t , en m^3 por toma; $PAIR_t$ es el precio real del agua potable para uso industrial en el año t , en pesos por m^3 ; $PEIRL_{t-1}$ es el precio real ponderado de la energía de uso industrial en el año $t-1$, en pesos por kilowatt-hora; $PIBAS_t$ es el PIB de las actividades secundarias del estado de Baja California en el año t , en millones de pesos.

La identidad de demanda de agua residencial: $QDAR_t$ es la cantidad demanda de agua en el sector residencial en el año t , en m^3 , que se obtuvo a través de la multiplicación del consumo per cápita residencial por el promedio de tomas de agua potable de uso residencial.

La identidad de demanda de agua industrial: $QDAI_t$ es la cantidad demanda de agua en el sector industrial en el año t , en m^3 ; que se obtuvo a través de la multiplicación del consumo per cápita industrial por el promedio de tomas de agua potable de uso industrial. Finalmente, la $QDAR_t$ es la cantidad demanda total de agua por los sectores residencial e industrial en Tijuana en el año t , en m^3 ; ε_1 y ε_2 representan los términos de error aleatorios.

La información de las variables empleadas en el modelo provino de diversas fuentes como la CESPT (comunicación personal, 08 de mayo de 2020), INEGI (2020a), CESPT (2020), Servicio Meteorológico Nacional (SMN, 2020), INEGI (2020b).

Una vez estimado el modelo, se obtuvieron 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 (elasticidad precio y cruzadas de la demanda). Los valores medios de las variables y los parámetros de la forma estructural y reducida del modelo, permitieron calcular las elasticidades.

Resultados y Discusión

Los resultados estadísticos se interpretan de acuerdo al coeficiente de determinación R^2 , la prueba F de Fisher y el estadístico t de student. En esta línea, se obtuvo un coeficiente de determinación de 0.84 para el consumo per cápita de agua en el sector residencial y de 0.73 para el consumo per cápita del sector industrial, 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, la mayoría resultó significativo, dado que los coeficientes son mayor a la unidad en términos absolutos.

Los resultados económicos se examinaron de acuerdo a los signos que se esperan según la teoría económica, y con las elasticidades obtenidas.

Así pues, los coeficientes de elasticidad precio de la demanda del agua y de energía eléctrica en el sector residencial es de -0.282 y de -0.415, respectivamente. Estos valores indican que ante un aumento de 10% en los precios reales del agua y la energía eléctrica, la cantidad demandada de agua en este sector disminuirá en 2.82 y 4.15%, respectivamente. Estos 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 e implica que para disminuir la demanda de manera importante los precios deben aumentar de manera significativa. 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 México 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, 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.

Igualmente el coeficiente de elasticidad precio de la demanda del agua y de energía eléctrica en el sector industrial es inelástico, lo que significa que ante un cambio del 10% en dichos precios en términos reales, la demanda en este sector disminuirá 1.65 y 1.62%, respectivamente.

En referencia a los coeficientes de elasticidad que relacionan la demanda de agua en Tijuana con otros factores determinantes del consumo señalan que ante un aumento de 10% en el ingreso real, la demanda de agua aumentará en 3.29% en el sector residencial y en 2.98% en la demanda total (QDARI). Estos resultados son similares a los que encontró Gómez-Ugalde et al. (2012), el coeficiente hallado por estos autores 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.

Del mismo modo, un aumento de 10% en el PIBAS real, originará que la demanda de agua en el sector industrial aumente en 1.02 y 0.10% en la demanda total. En este caso, Guzmán et al. (2011) reportaron 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 3.64% en el sector residencial, en 9.14% en el sector industrial y 4.16% en la demanda total (residencial-industrial). 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), indica 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, pero es superior comparado con el de Guzmán, esto tiene sentido, ya que Tijuana presenta un clima más caluroso que en 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 0.09% en el sector residencial, en 0.08% en el sector industrial y en 0.09 % 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, y éstas dependen de las condiciones climatológicas.

Conclusiones

El modelo de sistema de ecuaciones lineales algebraicas resuelto y los coeficientes de las elasticidades estimadas permitieron observar que la demanda de agua en el sector residencial como industrial en la ciudad de Tijuana responden de manera inelástica a sus respectivos precios, algo similar ocurre con el precio de la energía eléctrica, lo que implica aumentar estos precios de manera importante si se desea disminuir la demanda de agua. Esto es factible ya que la escasez de agua que existe en Tijuana justificaría el aumento en dichos precios.

De acuerdo con la magnitud de las elasticidades presentadas la que mayor incidencia tuvo sobre la demanda de agua en el sector residencial fue el precio de la energía eléctrica, y en la demanda de agua en el sector industrial fue la temperatura.

Agradecimiento

Los autores aprecian y reconocen el apoyo de la Comisión Estatal de Servicios Públicos de Tijuana por facilitar la información que ayudaron a la realización del presente trabajo.

Referencias Bibliográficas

- Barkley, A., y Barkley, P. W. (2013). *Principles of agricultural economics*. Routledge.
- Castro, G., y 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. (2019). *Historia del agua en Tijuana*. <https://www.cespt.gob.mx/culturaagua/articulos.html>
- CESPT, Comisión Estatal de Servicios Públicos de Tijuana. (2020). *Tarifas*. <https://www.cespt.gob.mx/ServTarifas/Tarifas.aspx>
- CONAGUA, Comisión Nacional del Agua. (2015). *Actualización de la disponibilidad media anual de agua en acuífero Tijuana (0201), Estado de Baja California*. https://sigagis.conagua.gob.mx/gas1/Edos_Acuiferos_18/BajaCalifornia/DR_0201.pdf
- Gómez-Ugalde, S. G., Mora-Flores, J. S., García-Salazar, J. A., y Valdivia-Alcalá, R. (2012). Demanda de agua para uso residencial y comercial. *Terra Latinoamericana*, 30(4), 337-342. <https://www.redalyc.org/pdf/573/57325814005.pdf>



- Gujarati, D. N., y Porter, D. C. (2010). *Econometría*. McGraw-Hill.
- Guzmán, E., García, J. A., Rebollar, S., y Hernández, J. (2011). Determinantes del consumo de agua por los sectores urbanos e industriales en Guanajuato, México. *Análisis Económico*, 26(63), 199-213. <http://www.analisiseconomico.azc.uam.mx/index.php/rae/article/view/223/214>
- INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2020a). *Anuario estadístico del estado de Baja California. Varias ediciones*. <https://www.inegi.org.mx/app/buscador/default.html?q=anuario+estadistico+del+estado+de+baja+california>
- INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2020b). *Banco de Información Económica (BIE)*. <https://www.inegi.org.mx/app/indicadores/?tm=0>
- Jiménez, D. F., Orrego, S. A., Cossio, D. M., Vásquez, F. A., y 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
- 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
- Noya, E. M., y 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., y 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
- Plan Municipal de Desarrollo. (2021). *Plan Municipal de Desarrollo 2020-2021*. <https://www.tijuana.gob.mx/pmd/>
- Renzetti, S. (2015). Non-household Water Demand: The Industrial and Commercial Sectors en Grafton, Q., Daniell, K. A., Nauges, C., Jean-Daniel, R., y Chan, N. W. W. (eds.), *Understanding and Managing Urban Water in Transition* (pp. 297-310). Springer. DOI: 10.1007/978-94-017-9801-3_14
- Romano, G., Salvati, N. y 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: United States of America
- SECTUR, Secretaria de Turismo. (2018). *Programa Marco para Fomentar Acciones para Restablecer el Balance del Ciclo del Agua en Tijuana*. México, México. 90 p. <http://www.sectur.gob.mx/gobmx/wp-content/uploads/2020/02/Tijuana.pdf>
- SMN, Servicio Meteorológico Nacional. (2020). *Resúmenes Mensuales de Temperaturas y Lluvia*. <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/temperaturas-y-lluvias/resumenes-mensuales-de-temperaturas-y-lluvias>
- Torres-Sombra, J., García-Salazar, J. A., García-Mata, R., Matus-Gardea, J., González-Estrada, E., y 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. <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. Informe de las Naciones Unidas sobre los recursos hídricos en el mundo 2015*. Perusa, Italia. 12 p. http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/HQ/SC/images/WWDR2015Facts_Figures_SPA_web.pdf