



# **COLEGIO DE POSTGRADUADOS**

**INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS**

**CAMPUS MONTECILLO**

**POSTGRADO EN SOCIOECONOMÍA, ESTADÍSTICA E INFORMÁTICA  
ECONOMÍA**

## **ANÁLISIS DEL CONSUMO Y DISTRIBUCIÓN DE AGUA EN EL NORTE DE BAJA CALIFORNIA, MÉXICO**

**FIDEL BAUTISTA MAYORGA**

**T E S I S  
PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO DE:**

**DOCTOR EN CIENCIAS**

**MONTECILLO, TEXCOCO, ESTADO DE MÉXICO, MÉXICO**

2022



# COLEGIO DE POSTGRADUADOS


INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

La presente tesis titulada: **Análisis del consumo y distribución de agua en el norte de Baja California, México**, realizada por el estudiante: **Fidel Bautista Mayorga**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:


DOCTOR EN CIENCIAS  
SOCIOECONOMÍA, ESTADÍSTICA E INFORMÁTICA  
ECONOMÍA

CONSEJO PARTICULAR


CONSEJERO (A)

  
\_\_\_\_\_  
Dr. José Alberto García Salazar


ASESOR (A)

  
\_\_\_\_\_  
Dr. José Saturnino Mora Flores

ASESOR (A)

  
\_\_\_\_\_  
Dra. Sylvia Xochilt Almeraya Quintero

ASESOR (A)

  
\_\_\_\_\_  
Dra. Mercedes Borja Bravo

Montecillo, Texcoco, Estado de México, México, agosto de 2022

# ANÁLISIS DEL CONSUMO Y DISTRIBUCIÓN DE AGUA EN EL NORTE DE BAJA CALIFORNIA, MÉXICO

Fidel Bautista Mayorga, D.C.  
Colegio de Postgraduados, 2022

## RESUMEN

La presente investigación se dividió en tres capítulos, los objetivos del primer y segundo capítulo fueron estimar y analizar coeficientes de elasticidad de algunos factores que determinan el consumo de agua en los sectores residencial e industrial, y en los hoteles de Tijuana, respectivamente. El objetivo del tercer capítulo fue asignar el agua extraída de dos acuíferos ante un escenario de escasez del líquido entre los diferentes sectores consumidores de agua por municipio de Baja California y San Luis Río Colorado (Sonora) y determinar la tarifa de agua que hace posible disminuir la cantidad extraída de agua. En los tres capítulos se emplearon diferentes periodos de tiempo y metodologías para el análisis de los datos: en el primero se consideró datos anuales de 1991 a 2019 y ecuaciones simultáneas; en el segundo, se usaron datos de enero de 2016 a diciembre de 2020 y se usó una regresión lineal múltiple; en el tercero, se usó únicamente información en el año 2019 y un modelo de equilibrio espacial. Los principales resultados indicaron que la demanda de agua responde inelásticamente a las tarifas del agua, mientras que el ingreso es uno de los factores que más influyen en la demanda de agua en los hoteles de Tijuana. Asimismo, disminuir 10% la cantidad extraída de agua en los acuíferos se lograría si la tarifa del agua en el sector agrícola de Mexicali y San Luis Río Colorado aumentan en 20 y 22%, respectivamente.

**Palabras clave:** consumo y distribución de agua, elasticidades, hoteles, residencial, industrial, Baja California.

# **ANALYSIS OF WATER CONSUMPTION AND DISTRIBUTION IN NORTHERN BAJA CALIFORNIA, MEXICO**

Fidel Bautista Mayorga, D.C.  
Colegio de Postgraduados, 2022

## **ABSTRACT**

This research is divided into three chapters, the objectives of the first and second chapters were to estimate and analyze the elasticity coefficients of some factors that determine water consumption in the residential and industrial sectors and in hotels in Tijuana, respectively. The objective of the third chapter was to allocate the water extracted from two aquifers in scenarios of liquid scarcity among the different water-consuming sectors by municipality of Baja California and San Luís Río Colorado (Sonora) and determine the water tariff that makes it possible to reduce the amount of water extracted. In the three chapters, different time periods and methodologies were used for data analysis: in the first, annual data from 1991 to 2019 and simultaneous equations was considered, in the second, data from January 1992 to December 2020 and a multiple linear regression was used; in the third, only the year 2019 and a spatial balance model were used. The main results indicated that the demand for water responds inelastically to water tariffs, while income is one of the factors that most influences the demand for water in hotels in Tijuana and a 10% decrease in the amount of water extracted in aquifers would be achieved if the tariff of water in the agricultural sector of Mexicali and San Luís Río Colorado increases by 20 and 22%, respectively.

**Keywords:** consumption and distribution of water, elasticities, hotels, residential, industrial, Baja California.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por haber financiado mis estudios e investigación de doctorado en ciencias.

Al Colegio de Postgraduados Campus Montecillo y Posgrado de Socioeconomía, Estadística e Informática - Economía por haberme brindado una formación académica de excelencia en mis estudios de posgrado.

Al Dr. José Alberto García Salazar, por darme la oportunidad de realizar la práctica docente en una de sus asignaturas, por compartir sus conocimientos de calidad, por las asesorías y guía en todo momento que ayudaron a culminar la presente investigación.

Al Dr. José Saturnino Mora Flores, por las facilidades recibidas en el proceso de la realización del trabajo de tesis, y por los conocimientos invaluable transmitidos en mi paso por el postgrado de economía.

A la Dra. Silvia Xochilt Almeraya Quintero, por las facilidades y apoyo recibido en todo momento, y por las sugerencias de redacción en los artículos científicos.

A la Dra. Mercedes Borja Bravo, por las sugerencias de mejora en la tesis y todas las facilidades proporcionadas en este proceso.

A los sinodales Dr. José Miguel Omaña Silvestre y Dra. Rocío Ramírez Jaspeado por el apoyo en la revisión de la tesis y realización del examen de grado doctoral.

*A mis padres, con amor.*

*A mis hermanos, por su apoyo.*

*A mi esposa, con amor.*

*A mis profesores con afecto.*

*A mis amigos, con gratitud.*

*A Dios, por la salud.*

## CONTENIDO

RESUMEN .....	iii
ABSTRACT .....	iv
LISTAS DE CUADROS .....	ix
LISTA DE FIGURAS .....	x
INTRODUCCIÓN GENERAL .....	1
CAPÍTULO I. DEMANDA DE AGUA EN LOS SECTORES RESIDENCIAL E INDUSTRIAL EN EL NORTE DE MÉXICO: EL CASO DE TIJUANA.....	5
1.1 RESUMEN.....	5
1.2 ABSTRACT.....	6
1.3 INTRODUCCIÓN.....	7
1.4 MATERIALES Y MÉTODOS.....	11
1.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	14
1.6 CONCLUSIONES .....	22
CAPÍTULO II. FACTORES QUE DETERMINAN EL CONSUMO DE AGUA EN HOTELES DE LA FRONTERA NORTE DE MÉXICO: EL CASO DE TIJUANA .....	23
2.1 RESUMEN.....	23
2.2 ABSTRACT.....	24
2.3 INTRODUCCIÓN.....	25
2.4 MATERIALES Y MÉTODOS.....	28
2.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	32
2.6 CONCLUSIONES .....	41
CAPÍTULO III. LA DEMANDA Y DISTRIBUCIÓN DE AGUA EN LOS MUNICIPIOS DE BAJA CALIFORNIA Y SONORA, MÉXICO .....	42
3.1 RESUMEN.....	42
3.2 ABSTRACT.....	43

3.3 INTRODUCCIÓN.....	44
3.4 MATERIALES Y MÉTODOS.....	47
3.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	51
3.6 CONCLUSIONES .....	58
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES GENERALES .....	59
LITERATURA CITADA.....	61



## LISTAS DE CUADROS

Cuadro 1.1. Coeficientes estimados de la forma estructural del modelo.....	14
Cuadro 1.2. Coeficientes estimados de la forma reducida del modelo.....	15
Cuadro 1.3. Estadística descriptiva de las variables usadas, 1991-2019. ....	16
Cuadro 1.4. Elasticidades de la tarifa del agua y energía eléctrica. ....	17
Cuadro 1.5. Elasticidad cruzada de la demanda de agua en Tijuana. ....	19
Cuadro 1.6. Disminución de la demanda de agua en Tijuana.....	20
Cuadro 2.1. Consumo de agua en establecimientos hoteleros en Tijuana, 1992- 2020. ....	33
Cuadro 2.2. Resultados estructurales del modelo.....	37
Cuadro 2.3. Estadística de las variables usadas en el modelo, enero 2016 a diciembre de 2020.....	38
Cuadro 2.4. Elasticidades respecto al consumo de agua mensual de los hoteles en Tijuana.....	38
Cuadro 3.1. Validación del modelo de agua para los municipios de Baja California y Sonora, 2019. ....	52
Cuadro 3.2. Asignación del agua entre consumidores y aumentos en la tarifa ante escasez del recurso. ....	54

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1. Ubicación geográfica de Tijuana. ....	28
Figura 2.2. Número de cuartos de hotel ocupados al año en Tijuana, 1992-2020. ....	34
Figura 2.3. Estancia promedio de los turistas en hoteles de Tijuana, 1992-2020. ....	35
Figura 2.4. Consumo de agua en los hoteles de Tijuana, 1992-2020. ....	36

## INTRODUCCIÓN GENERAL

### Planteamiento del problema

A nivel mundial se estima una disponibilidad de agua promedio anual de 1386 billones de  $\text{hm}^3$ , de esta, 97.5% es agua salada (1351 billones de  $\text{hm}^3$ ) y 2.5% es agua dulce (35 billones de  $\text{hm}^3$ ). Del agua dulce, aproximadamente el 70% (24.4 billones de  $\text{hm}^3$ ) no es aprovechable para el consumo humano, porque se encuentra en glaciares, nieve y hielo; el 30% (10.5 billones de  $\text{hm}^3$ ) es agua subterránea y 0.4% (0.14 billones de  $\text{hm}^3$ ) se encuentra en lagos, ríos y humedales (CONAGUA, 2018).

México recibe anualmente 1 449 471  $\text{hm}^3$  en forma de precipitación, de esta cantidad, el 72.1% se evotranspira, el 21.4% escurre por ríos y el 6.4% recarga los acuíferos por infiltración. Considerando las importaciones y exportaciones de agua con países vecinos, México tiene un saldo positivo de 451 585  $\text{hm}^3$  de agua renovable (CONAGUA, 2018).

Sin duda el agua no solo es importante para el consumo humano directo, diversas actividades económicas dependen de ella, empezando por la agricultura, que es el sector que más agua consume, la acuicultura, la energía, la minería, las diversas industrias urbanas, los servicios recreacionales, entre otras (Zegarra, 2014).

La escasez de agua limita el crecimiento de las economías y comprometen el desarrollo futuro de la humanidad y el resto de las especies del planeta, ya que todos necesitan agua para sobrevivir (Ayala y Cabrera, 2021). En este contexto, es importante analizar la demanda y la optimización del agua en los diferentes sectores económicos, especialmente en aquellas zonas con carencia del vital líquido. Esto implica desafíos y retos como por ejemplo, gestionar el uso multifactorial del agua en una misma cuenca, el sistema de cobros por los diferentes usos puede convertirse en un instrumento importante no solo para recuperar costos, sino también de gestión del recurso hídrico, entre otros (Zegarra, 2014).

Los municipios ubicados al norte de Baja California, especialmente Tijuana y Tecate, carecen de agua, pues las fuentes locales son pocas y se encuentran contaminadas (Navarro-Chaparro *et al.*, 2016); por ello, dependen de fuentes externas para

abastecerse de agua como lo son las asignaciones de agua de los pozos de la Mesa Arenosa (Sonora), del acuífero del Valle de Mexicali y del agua que se compra anualmente a los agricultores del Distrito de Riego 014 de Mexicali (DR014), la situación para Mexicali es distinta ya que, este municipio tiene asegurado el abastecimiento de agua para las actividades que desarrolla, pues recibe agua del Río Colorado (Estados Unidos) anualmente (CEABC, 2018).

El crecimiento demográfico y económico en el norte del estado de Baja California ha ocasionado un aumento en el consumo de agua y una competencia por el recurso entre los distintos sectores consumidores. El dinamismo de la región ha originado que el abastecimiento de la demanda de agua sea cada vez más difícil.

Dada la escasez y pocas fuentes externas de suministro de agua, aunado al crecimiento poblacional y económico de la entidad, es importante gestionar la demanda y distribuir de manera óptima el agua disponible para hacer un uso racional y eficiente del recurso. En esta tónica, la información recabada del análisis de algunos factores que determinan la demanda de agua en diferentes sectores económicos puede ayudar para determinar en qué variable exógena se puede incidir con políticas económicas, por ejemplo, evaluar el aumento en el precio del agua o la energía eléctrica para disminuir la demanda de agua mediante la adopción de medidas que ayuden al ahorro del agua en las actividades productivas. Del mismo modo, analizar los efectos de reducir la disponibilidad hídrica de los acuíferos puede dar luz en que sectores el agua tiene menor valor de uso y regular mediante normativa (ley nacional de aguas) alguna posible transferencia de agua de un sector a otro.

El presente trabajo de investigación se compone de tres capítulos; el primero, aborda el tema de la demanda de agua en los sectores residencial e industrial en el norte de México: el caso de Tijuana, en este se analizan algunos factores que determinan la demanda de agua en ambos sectores y se analizan las tarifas de agua y energía eléctrica como instrumentos económicos para gestionar el agua. El segundo, trata el tema de los factores que determinan el consumo de agua en los hoteles de la frontera norte de México: el caso de Tijuana, en este primeramente se estima un consumo de agua para los hoteles y posteriormente se identifican los factores que afectan a dicho consumo. En

el tercero, se trata el tema de la demanda y distribución de agua en los municipios de Baja California y San Luís Río Colorado (Sonora), México. Así pues, se analiza la asignación óptima de dos acuíferos importantes en el norte de México para diferentes usos del agua. Finalmente, hay una sección de conclusiones y recomendaciones generales.

A continuación se presentan los objetivos e hipótesis de los capítulos antes señalados.

### **Objetivo general**

- Proporcionar recomendaciones de política, relacionadas principalmente con la tarifa del agua y energía eléctrica, que permitan disminuir la demanda de agua en los diferentes sectores consumidores en los municipios del Norte de Baja California.

### **Objetivos particulares**

- Estimar coeficientes de elasticidad de algunos factores que determinan la demanda de agua para el sector residencial e industrial de Tijuana y determinar la tarifa del agua y energía eléctrica que permitan disminuir la demanda de agua en estos sectores, mediante escenarios predictivos.
- Estimar el consumo de agua en los hoteles de Tijuana en el periodo 1992 al 2020, así como determinar y analizar los factores que afectan al consumo de agua en los establecimientos hoteleros de Tijuana considerando el periodo enero de 2016 a diciembre de 2020.
- Asignar el agua extraída de los acuíferos del Valle de Mexicali y SIrc (San Luís Río Colorado) entre los diferentes sectores consumidores de agua por municipio del estado de Baja California y Sonora ante escenarios de escasez del recurso hídrico, así como determinar la tarifa del agua que hace posible disminuir la cantidad extraída de los acuíferos.

### **Hipótesis**

- Una disminución de la demanda de agua en los sectores residencial e industrial en Tijuana se lograría si aumenta la tarifa del agua y de la energía eléctrica.

- La tarifa del agua puede ser un mecanismo eficiente para disminuir el consumo de agua en el sector hotelero de Tijuana.
- Ante escenarios de escasez, disminuirá el consumo de agua en aquellos sectores con menor valor de uso.

# CAPÍTULO I. DEMANDA DE AGUA EN LOS SECTORES RESIDENCIAL E INDUSTRIAL EN EL NORTE DE MÉXICO: EL CASO DE TIJUANA

Fidel Bautista Mayorga, D. C.  
Colegio de Postgraduados, 2022

## 1.1 RESUMEN

En Tijuana, donde la demanda supera la oferta de agua, justifica un uso adecuado del recurso hídrico. Los objetivos de este artículo fueron estimar coeficientes de elasticidad de algunos factores que determinan la demanda de agua para el sector residencial e industrial de Tijuana y determinar la tarifa del agua y energía eléctrica que permitan disminuir la demanda de agua en estos sectores, mediante escenarios predictivos. Se formuló un modelo de ecuaciones simultáneas, empleando datos anuales de 1991 a 2019. La estimación del modelo fue por mínimos cuadrados ordinarios en dos etapas, contenida en el software SAS. Los resultados indicaron que la demanda de agua en el sector residencial e industrial responde de manera inelástica a sus respectivas tarifas. Asimismo, los escenarios revelaron que la demanda disminuiría en 10% en el sector residencial, si la tarifa del agua y energía eléctrica en este sector aumentan en 35.5 y 24.1%, respectivamente, dichas tarifas en el sector industrial deben aumentar en 60.6 y 61.7%. La escasez de agua en el municipio de Tijuana justificaría el aumento de la tarifa para lograr disminuir el consumo del vital líquido.

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

# WATER DEMAND IN THE RESIDENTIAL AND INDUSTRIAL SECTORS IN NORTHERN MEXICO: THE TIJUANA CASE

Fidel Bautista Mayorga, D. C.  
Colegio de Postgraduados, 2022

## 1.2 ABSTRACT

In Tijuana, where the demand exceeds the supply of water, it justifies an adequate use of the water resource. The objectives of this article were to estimate elasticity coefficients of some factors that determine the demand for water for the residential and industrial sector of Tijuana and to determine the tariff of water and electricity that allow to reduce the demand for water in these sectors, through predictive scenarios. A model of simultaneous equations was formulated, using annual data from 1991 to 2019. The estimation of the model was by ordinary least squares in two stages, contained in the SAS software. The results indicated that the demand for water in the residential and industrial sector responds in an inelastic way to their respective tariffs. The scenarios revealed that the demand would decrease by 10% in the residential sector, if the tariff of water and electricity in this sector increase by 35.5 and 24.1%, respectively, these tariffs in the industrial sector must increase in 60.6 and 61.7%. The scarcity of water in the city of Tijuana would justify the increase in the tariff to reduce the consumption of the vital liquid.

**Keywords:** Tijuana, water demand, tariffs, predictive scenarios, residential sector, industrial sector, elasticity coefficients, simultaneous equations.



### 1.3 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 soluciones podrían estar en el modo en que se usa, se maneja y se comparte el agua (UNESCO, 2015).

La disponibilidad de agua está limitado por características geográficas e hidrológicas, en estos aspectos México es muy heterogéneo, pues dos tercios del territorio nacional es árido y semiárido, en estas zonas se concentra el 77% de la población total, y es 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 llueve diez veces más que en la zonas áridas del norte del país, pero el PIB es menor. Esta situación propicia la competencia por el agua, su contaminación y la sobreexplotación de los mantos acuíferos (SECTUR, 2018).

El municipio de Tijuana colinda al norte con los Estados Unidos 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). Por su ubicación geográfica se encuentra ubicada en un zona con alto grado de presión sobre los recursos hídricos (CONAGUA, 2016). El 95% del agua que se consume en Tijuana proviene del acueducto Río Colorado-Tijuana, pues la escasa existencia de agua subterránea en Tijuana es poco aprovechable por el deterioro en su calidad provocado por la contaminación del mismo municipio, a pesar de ello se extrae un volumen de 14.5 hm<sup>3</sup> anuales, 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 el municipio de Tijuana para abastecimiento público-urbano (SECTUR, 2018).

La población en el municipio 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 fue 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 este municipio, lo que justifica el uso racional y eficiente del agua en todos los sectores productivos (SECTUR, 2018).

Respecto al crecimiento industrial en el municipio 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 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 del 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 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.

La Encuesta Nacional de Ocupación y Empleo (ENOE), publicada en INEGI (2020a), indica que en el municipio 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 desenvolvía 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 trabajadores que no especificaron el sector de actividad económica en el que se encontraban ocupados.

Desde hace tiempo, el municipio de Tijuana ha tenido que lidiar con la problemática de abastecimiento de agua. En el periodo 1950 a 1980 se presentó una escasez de agua en este municipio, ocasionado por factores migratorios, 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 seg<sup>-1</sup>, y para 1993 a 4 000

l seg<sup>-1</sup>. En 1999 nuevamente se aumentó la capacidad a 5 300 l seg<sup>-1</sup> esperando cubrir los requerimientos hasta el año 2017 (Navarro-Chaparro *et al.*, 2016).

La demanda de agua supera la disponibilidad (oferta), anualmente se requiere de 2.4 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> para cubrir la demanda, y se dispone del Río Tijuana con 0.2 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>, de la planta potabilizadora Abelardo Rodríguez con 0.2 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> y finalmente de la planta potabilizadora el Florido, por medio del acueducto Río Colorado-Tijuana con 1.7 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>. Los datos anteriores indican que la oferta de agua es de 2.1 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>, evidenciando una falta de agua de 0.3 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup> (CESPT, 2019).

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 lo es en este caso del municipio 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 *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). El mercado del agua (oferta y demanda) ha sido analizada por Koutiva y Makropoulos (2016), Ashoori *et al.* (2017), Jiménez *et al.* (2017), Montesillo-Cedillo (2017), Noya y Hernández (2018), y la competencia por el uso del agua han sido estudiados por García-Salazar *et al.* (2006) y Torres-Sombra y García-Salazar (2015).

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

disminución de la demanda de agua en Tijuana se lograría si aumentan las tarifas del agua y de la energía eléctrica.

## 1.4 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, mismo que simbolizan los diferentes usuarios consumidores de agua (residencial e industrial) para el municipio de Tijuana. Se emplearon datos anuales de 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 a estimar es el siguiente:

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

$$QDAR_t = 385\,940 * CARP_t \quad (2)$$

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

$$QDAI_t = 2\,329 * CAIP_t \quad (4)$$

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

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;  $PARR_t$  es la tarifa real del agua potable en el sector residencial en el año  $t$ , en pesos por  $m^3$ ;  $PERR_t$  es la tarifa 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  $mm$ ;  $QDAR_t$  es la cantidad demanda de agua en el sector residencial en el año  $t$ , en  $m^3$ ;  $CAIP_t$  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 la tarifa real del agua potable para uso industrial en el año  $t$ , en pesos por  $m^3$ ;  $PEIR_{t-1}$  es la tarifa 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;  $QDAI_t$  es la cantidad demanda de agua en el sector industrial en el año  $t$ , en  $m^3$ ;  $QDARI_t$  es la cantidad demanda total de agua por los sectores residencial e industrial en Tijuana en el año  $t$ , en  $m^3$ ; 385 940 y 2 329 es el promedio de tomas de agua potable de uso residencial e

industrial en el periodo 1991 a 2019, respectivamente;  $\varepsilon_1$  y  $\varepsilon_2$  representan los términos de error aleatorios.

El modelo se justificó 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 y Barkley, 2013). Con base a ello, se consideraron las tarifas del agua, de la energía eléctrica como un bien complementario y el ingreso.

La evidencia empírica para la formulación de las distintas ecuaciones que se propusieron en el trabajo se basó en las investigaciones de otros autores. De esta manera, la Ecuación 1 contempló la tarifa 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 y Hernández, 2018). La Ecuación 2 es una identidad que indicó la cantidad demanda de agua en el sector residencial se obtiene al multiplicar el promedio del número de tomas de agua potable en el sector residencial (1991 a 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 la tarifa 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 potable en el sector industrial (Torres-Sombra *et al.*, 2013; Renzetti, 2015). La Ecuación 4 es una identidad que indicó que la cantidad demanda 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 estableció 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 estimaron 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.

Se analizaron dos escenarios que tienen por objetivo determinar la tarifa del agua y energía eléctrica al disminuir la demanda de agua en el corto plazo en 10 y 20 %; para lograr esto, se hace uso de las elasticidades estimadas y la disminución de la demanda de agua en las magnitudes señaladas. Se tomó en cuenta que sólo cambian las tarifas, dejando constantes las demás variables que afectan la demanda.

La cantidad consumida y el número de tomas de agua potable de uso residencial e industria, se solicitó 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). Las tarifas del agua por m<sup>3</sup> y de energía eléctrica por kilowatt por hora de uso residencial e industrial se obtuvieron de la CESPT (2021) e INEGI (2020b). Para obtener dicha tarifa por m<sup>3</sup> se procedió de la forma siguiente: al consumo promedio anual tanto residencial como industrial se dividió por el número de tomas de agua potable de uso residencial e industrial, respectivamente, posteriormente 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 la precipitación se obtuvo del Servicio Meteorológico Nacional (SMN, 2020). Finalmente, para deflactar la tarifa 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).

## 1.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados estadísticos se interpretaron de acuerdo al coeficiente de determinación  $R^2$ , la prueba F de Fisher y el estadístico t de Student. En el Cuadro 1.1 se observa que el coeficiente de determinación para el consumo per cápita de agua en el sector residencial fue de 0.84 y para el sector industrial fue 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 al menos uno de 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, estos resultaron significativos, ya que la mayoría de los coeficientes son mayor a la unidad en términos absolutos.

Los resultados económicos se examinaron 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.

**Cuadro 1.1.** Coeficientes estimados de la forma estructural del modelo.

Variables endógenas	Variables exógenas						$R^2$	Prob. F
	Intercepto	<i>PARR</i>	<i>PERR</i>	<i>INGR</i>	<i>TEMP</i>	<i>PP</i>		
<i>CARP</i>	174.27	-2.27	-37.92	0.02	2.93	-0.01	0.84	0.0001
Error estándar	97.60	0.77	15.19	0.01	3.64	0.04		
Estadístico t	1.79	-2.94	-2.50	1.42	0.80	-0.23		
	Intercepto	<i>PAIR</i>	<i>PEIRL</i>	<i>PIBAS</i>	<i>TEMP</i>	<i>PP</i>		
<i>CAIP</i>	933.80	-7.79	-281.68	0.0007	127.47	-0.13	0.73	0.0001
Error Estándar	1 429.01	4.72	181.83	0.0002	67.22	0.72		
Estadístico t	0.65	-1.65	-1.55	3.06	1.90	-0.18		

En el Cuadro 1.2 se presentan los coeficientes de la forma reducida restringida del modelo, los cuales indicaron la relación que existe entre las variables endógenas sólo con las variables exógenas del modelo. Esto permitió observar las interrelaciones que se derivan del sistema de ecuaciones simultáneas.



**Cuadro 1.2.** Coeficientes estimados de la forma reducida del modelo.

Variables exógenas	Variables endógenas				
	<i>CARP</i>	<i>CAIP</i>	<i>QDAR</i>	<i>QDAI</i>	<i>QDARI</i>
Intercepto	174.3	933.8	67 258 179	2 174 818	69 432 997
<i>PARR</i>	-2.27	0	-876 269	0	-876 269
<i>PERR</i>	-37.92	0	-14 640 000	0	-14 640 000
<i>INGR</i>	0.02	0	8 504.01	0	8 504.01
<i>TEMP</i>	2.93	127.47	1 131 317	296 884.90	1 428 202
<i>PP</i>	-0.01	-0.13	-3 369.27	-293.17	-3 662.44
<i>PAIR</i>	0	-7.79	0	-18 131.70	-18 131.70
<i>PEIRL</i>	0	-281.68	0	-656 026	-656 026
<i>PIBAS</i>	0	0	0	1.59	1.59

En el Cuadro 1.3 se muestra la estadística descriptiva de las variables empleadas en el modelo, estas fueron de utilidad para estimar las elasticidades de la demanda de agua en el sector residencial e industrial.

**Cuadro 1.2.** Estadística descriptiva de las variables usadas, 1991-2019.

Variable	N	Media	Error estándar	Mínimo	Máximo
<i>CARP</i>	29	173.0	35.3	132.3	236.3
<i>PARR</i>	29	21.5	6.5	12.9	33.0
<i>PERR</i>	29	1.9	0.4	1.2	2.7
<i>INGR</i>	29	2 586.7	313.2	2 332.6	3 374.3
<i>TEMP</i>	29	21.5	0.9	19.7	23.0
<i>PP</i>	29	187.2	79.4	85.0	357.0
<i>CAIP</i>	29	2 994.8	502.9	2 196.1	4 308.5
<i>PAIR</i>	29	63.4	20.8	35.8	99.5
<i>PEIRL</i>	28	1.7	0.5	1.1	2.8
<i>PIBAS</i>	29	449 409.8	317 475.0	207 811.1	1 279 958.5
<i>TOMAR</i>	29	385 939.9	162 195.7	120 103.0	619 111.0
<i>TOMAI</i>	29	2 328.7	641.5	1 022.0	3 106.0
<i>QDAR</i>	29	66 767 620.0	13 605 935.3	51 059 862.0	91 197 622.0
<i>QDAI</i>	29	6 974 800.9	1 171 148.5	5 114 716.9	10 034 496.5
<i>QDARI</i>	29	73 742 420.9	14 660 547.4	56 637 351.2	100 051 781.0

En el Cuadro 1.4 se muestran los coeficientes de elasticidad precio (tarifa) de la demanda del agua y de energía eléctrica. En el sector residencial, el coeficiente de elasticidad que relaciona la tarifa con la demanda de agua fue -0.282 y de -0.415 para la energía eléctrica. Dichos valores indicaron que ante un aumento de 10% en las tarifas reales del agua y la energía eléctrica, la cantidad demandada de agua en estos sectores disminuirá en 2.82 y 4.15%, respectivamente. Estos resultados sugirieron que el uso del agua y la energía eléctrica es esencial en las actividades residenciales, pues ante un cambio importante en las tarifas, la demanda de agua en el sector residencial responde menos que proporcionalmente al cambio en las tarifas. 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 el municipio de Cúcuta, Colombia; Castro y Sisto (2015) reportaron una elasticidad de -0.18 para México y; Jiménez *et al.* (2017) reportaron 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. Se observó 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 es más esencial y viceversa.

**Cuadro 1.3.** Elasticidades de la tarifa del agua y energía eléctrica.

Variables endógenas	Tarifa del agua		Tarifa de la energía	
	<i>PARR</i>	<i>PAIR</i>	<i>PERR</i>	<i>PEIRL</i>
<i>QDAR</i>	-0.282		-0.415	
<i>QDAI</i>		-0.165		-0.162
<i>QDARI</i>	-0.255	-0.016	-0.376	-0.015

Respecto al sector industrial, en este trabajo se encontró un coeficiente de elasticidad que relaciona la tarifa del agua y la energía eléctrica con la demanda de agua de -0.165 y -0.162, respectivamente, esto significa que un aumento de 10% en términos reales en las tarifas, ocasionará que la demanda de agua en el sector industrial disminuya en 1.65 y 1.62%, respectivamente. En este sentido, Torres-Sombra *et al.* (2013) encontró un coeficiente de elasticidad precio del agua y energía eléctrica en el sector industrial en Sinaloa de -0.82 y -0.90, respectivamente. Se puede notar que dichos coeficientes fueron superiores al encontrado, no obstante, siguen siendo inelásticos. Como se mencionó anteriormente, una elasticidad más inelástica indica que el recurso hídrico es más esencial, por los resultados mostrados, dejan ver que en Tijuana el uso del agua en el sector industrial es más importante que en Sinaloa. Cabe mencionar que 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 área de trabajo, y para regar jardines.

El aumento en la tarifa se justifica de acuerdo a la escasez y contaminación del agua en Tijuana, esto es debatible; ya que por un lado, fomenta un uso más eficiente y racional

de este recurso que permitiría una mejor planeación del servicio del agua en el municipio de Tijuana, pero, por otro lado, desataría un descontento social, debido a que afectaría a la gente con limitados recursos económicos, además se exigiría un servicio de agua continúa (sin cortes ni tandeos) y de mejor calidad.

En referencia a la cantidad demanda de agua total del sector residencial e industrial (QDARI) esta respondió de manera inelástica a las tarifas del agua correspondiente a ambos sectores, ya que los coeficientes de elasticidad fueron  $-0.255$  y  $-0.016$ , respectivamente, del mismo modo responde a las tarifas de la energía eléctrica, ya que los coeficientes fueron  $-0.376$  y  $-0.015$ , respectivamente. Dichos coeficientes indicaron que ante un aumento en términos reales en las tarifas del agua de  $10\%$ , la demanda total de agua en Tijuana caerá en  $2.55$  y  $0.16\%$ , respectivamente. Asimismo, un aumento de  $10\%$  en la tarifa de la energía eléctrica, ocasionará que la demanda total disminuya en  $3.76$  y  $0.15\%$ , respectivamente. Como se pudo observar, la caída en la demanda de agua total es más notoria cuando aumenta la tarifa del agua y energía eléctrica en el sector residencial que en el industrial, esto es atribuible al número de usuarios del agua; es decir, hay más residencias (casas) que industrias en el municipio de Tijuana, por lo que el efecto de aumento en la tarifa de agua y energía eléctrica en el sector residencial es mayor sobre la demanda de agua total (residencial e industrial). En este rubro, Guzmán *et al.* (2011) reportaron 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, los coeficientes fueron  $-0.018$  y  $-0.0082$ , respectivamente. Los resultados de Guzmán no coincidieron con los encontrados en este trabajo al ser estos muy inferiores; esto significa que la demanda de agua en Guanajuato tiene menos sensibilidad a cambios en las tarifas del agua y energía eléctrica que en Tijuana.

En el Cuadro 1.5 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 indicaron 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 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.

**Cuadro 1.4.** 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>	0.329		0.298
<i>TEMP</i>	0.364	0.914	0.416
<i>PP</i>	-0.009	-0.008	-0.009
<i>PIBAS</i>		0.102	0.010

Un aumento de 10% en el PIBAS real, originó 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 ocasionó 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. 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), indicaron 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, fue similar al encontrado por Noya y Hernández, y superior comparado con el de Guzmán, esto tiene sentido, ya que 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 ocasionó 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 percibió 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 elevadas 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, es decir que dependen de las condiciones climatológicas.

En el Cuadro 1.6, se muestra la validación del modelo, que consistió en comparar los valores observados contra lo que predice el modelo, se apreció un buen ajuste, pues existe poca diferencia porcentual entre los valores observados y estimados. En este mismo cuadro, se presentan los dos escenarios que se propusieron, de disminuir la demanda en 10 y 20%, y el cambio requerido en la tarifa para disminuir la demanda.

**Cuadro 1.5.** Disminución de la demanda de agua en Tijuana.

Escenario	Sector	
	Residencial	Industrial
miles de m <sup>3</sup>		
<i>Validación del modelo</i>		
Observado	66 768.6	6 907.7
Estimado	66 396.9	6 907.9
Diferencia	-370.7	0.2
Diferencia en %	-0.6	0.003
<i>Escenario 1 (disminución de 10% en la demanda de agua)</i>		
Demanda	59 757.2	6 217.1
Cambio	-6 639.7	-690.8
Cambio en %	-10	-10
Cambio en % requerido en la tarifa		
Tarifa de agua	35.5	60.6
Tarifa de energía	24.1	61.7
<i>Escenario 2 (disminución de 20% en la demanda de agua)</i>		
Demanda	53 117.5	5 526.3
Cambio	-13 279.4	-1 381.6
Cambio en %	-20	-20
Cambio en % requerido en la tarifa		
Tarifa de agua	70.9	121.2
Tarifa de energía	48.2	123.5

En el escenario 1 se analizaron los efectos de disminuir 10% la demanda de agua en el sector residencial e industrial sobre las tarifas de agua y energía eléctrica. En este sentido, la demanda de agua residencial pasó de 66.4 a 59.8 millones de m<sup>3</sup>, la industrial cambió de 6.9 a 6.2 millones de m<sup>3</sup>. Estas disminuciones ocasionaron que la tarifa del agua y energía eléctrica en el sector residencial deben aumentar en 35.5 y 24.1%, las tarifas mencionadas en el sector industrial deben aumentar en 60.6 y 61.7%. Los resultados mostraron que es viable implementar aumentos en las tarifas del agua y energía eléctrica para disminuir la demanda en el sector residencial e industrial, dada la escasez de agua que sufre el municipio de Tijuana.

En el escenario 2, se analizaron los efectos de disminuir 20% la demanda de agua en el sector residencial e industrial sobre las tarifas de agua y energía eléctrica. En este tenor, la demanda de agua residencial pasó de 66.4 a 53.1 millones de m<sup>3</sup>, la industrial cambió de 6.9 a 5.5 millones de m<sup>3</sup>. Estas disminuciones ocasionaron que la tarifa del agua y energía eléctrica en el sector residencial deben aumentar en 70.9 y 48.2%, las tarifas mencionadas en el sector industrial deben aumentar en 121.2 y 123.5%. Disminuir la demanda en estas magnitudes, sería benéfico para una mejor planeación del agua en Tijuana, aunado al aumento en las tarifas, este objetivo se podría complementar si se analizan los hábitos de consumo de agua, inversión en tecnología ahorradora de agua, publicidad sobre el cuidado del agua, pero claro está que todo esto requiere de más investigación.

## **1.6 CONCLUSIONES**

El modelo de sistema de ecuaciones simultáneas y los coeficientes de las elasticidades estimadas permiten observar que la demanda de agua en el sector residencial como industrial del municipio de Tijuana responde de manera inelástica a sus respectivas tarifas.

Queda en evidencia que aumentar las tarifas de agua y energía eléctrica provoca disminuciones en la demanda de agua, corroborándose de esta manera la hipótesis planteada.

El análisis de los escenarios predictivos de disminuir la demanda de agua en el sector residencial e industrial en el corto plazo, dejan ver que aumentar las tarifas del agua y energía eléctrica es factible, pues la escasez de agua en el municipio de Tijuana justificaría el aumento de las tarifas para lograr disminuir el consumo del vital líquido.



## **CAPÍTULO II. FACTORES QUE DETERMINAN EL CONSUMO DE AGUA EN HOTELES DE LA FRONTERA NORTE DE MÉXICO: EL CASO DE TIJUANA**

Fidel Bautista Mayorga, D. C.  
Colegio de Postgraduados, 2022

### **2.1 RESUMEN**

El objetivo del estudio fue estimar y analizar el consumo de agua anual y mensual en los hoteles de Tijuana, para ello, se consideraron dos periodos 1992-2020 y enero de 2016-diciembre de 2020, respectivamente. Se utilizó una fórmula para estimar y una regresión lineal múltiple para analizar los factores determinantes del consumo de agua. Los resultados indicaron un consumo de agua anual que fluctúa aproximadamente entre 460 mil m<sup>3</sup> y 300 mil m<sup>3</sup>; asimismo, el factor que más influye sobre el consumo mensual de agua es el ingreso de los turistas, si este crece 10%, el consumo aumenta 15%.

**Palabras clave:** regresión lineal múltiple, consumo de agua en hoteles, Tijuana.

# FACTORS THAT DETERMINE WATER CONSUMPTION IN HOTELS ON THE NORTHERN BORDER OF MEXICO: THE CASE OF TIJUANA

Fidel Bautista Mayorga, D. C.  
Colegio de Postgraduados, 2022

## 2.2 ABSTRACT

The objective of the study was to estimate and analyze the annual and monthly water consumption in Tijuana hotels, for this, two periods 1992-2020 and January 2016-December 2020, respectively, were considered. A formula was used to estimate and a multiple linear regression to analyze the determining factors of water consumption. The results indicated an annual water consumption that fluctuates approximately between 460 thousand m<sup>3</sup> and 300 thousand m<sup>3</sup>; likewise, the factor that most influences monthly water consumption is the income of tourists, if this grows 10%, consumption increases 15%.

**Keywords:** multiple linear regression, water consumption in Tijuana hotels, Tijuana.

## 2.3 INTRODUCCIÓN

El Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI, 2020c), apunta en términos reales que el total del Producto Interno Bruto (PIB) de Baja California en 2020 fue de 554 millones de pesos, de los cuales el sector primario aportó 2.6%, el secundario 38.6% y el terciario 58.8%; claramente, el sector predominante en la entidad es el terciario (donde se encuentran actividades asociadas al turismo). Siguiendo la misma fuente, el turismo representa para Baja California una de las actividades más productivas e importantes, aporta el 15.3% del PIB estatal y es un impulsor del crecimiento económico y generación de empleos.

En los municipios fronterizos de Baja California se ofrece una amplia gama de actividades turísticas, pero generalmente, las de sol y playa son las de mayor atractivo para los turistas. El municipio de Tijuana cuenta con las playas de Tijuana, pero al ser de mala calidad son poco visitadas por los turistas extranjeros, así que los visitantes son en su mayoría locales. El municipio se distingue por el turismo de salud, médico, de bienestar y de negocios. (SECTUR, 2018).

Los principales 70 centros turísticos de México se dividen en centros de playa, ciudades (del interior, fronterizas y grandes) y otros (SECTUR, 2021). En 2019 (previo a la Covid-19), en dichos centros se registró un total de 92.9 millones de turistas, de los cuales el 74.4% representa al turista nacional (69.1 millones) y 25.6% al turista extranjero (23.8 millones). En el mismo sentido, los centros de playa captaron el 41.1% de los turistas totales (38.2 millones), y las ciudades el 51.2% (47.6 millones), otros destinos 7.7% (7.1 millones). Desmenuzando la información, del total de los turistas que llegaron a las ciudades: las del interior acapararon el 53.5% (25.5 millones), las de la frontera el 8.3% (3.9 millones) y las grandes el 38.2% (18.2 millones). Del mismo modo, del total de turista que arribaron a las ciudades fronterizas, Tijuana captó el 29.9% (1.2 millones), ciudad Juárez el 44.7% (1.8 millones), Mexicali el 17.3% (0.7 millones) y el resto (Piedras Negras y Tecate) el 8.1% (0.3 millones) (SECTUR, 2021).

La llegada de turistas implica hospedaje en hoteles y por supuesto consumo de agua, el uso del vital líquido en los establecimientos hoteleros es muy diverso y va desde la

preparación de los alimentos, la higiene personal y el consumo en espacios públicos (Ruiz y Amador, 2018). En el año 2020, Tijuana superó los 1.9 millones de cuartos de hotel disponibles (incluyendo todas las categorías), antes y durante la pandemia de la Covid-19, de manera respectiva, la tasa de ocupación hotelera fue 58.1% y 31.6%. Para el año referido, la estadía promedio anual (tiempo que se hospeda un turista en un hotel), es de 1.1 días (SECTUR, 2021). Por lo tanto, si sube la llegada y la estadía de los turistas, la ocupación hotelera aumentará y por consecuencia el consumo de agua tendrá el mismo comportamiento.

El turismo es un cada vez más reconocido como consumidor agua dulce a nivel local, regional y mundial, depende de la disponibilidad del agua, de modo que cualquier falta de la misma puede perjudicar su desarrollo (Gabarda *et al.*, 2015). También, el cambio climático influye en el aumento de la temperatura y reduce la precipitación, estos cambios ocasionarían alteraciones en el ciclo hidrológico que podría traducirse en presiones importantes sobre la población y las actividades económicas (Olcina *et al.*, 2016a).

Dado el contexto anterior, se justifica un uso adecuado del agua en todas las actividades productivas y el turismo no queda exento. Evidencias demuestran que el consumo de recursos hídricos vinculados al turismo puede ser mayor que el consumo doméstico local. En esta línea, Gössling *et al.* (2012), señalan que las personas consumen más agua cuando están de vacaciones que cuando se encuentran en el hogar, en vacaciones se consume 300 litros por día (L/d) frente a los 160 L/d del hogar.

El crecimiento poblacional y el dinamismo económico que existe en Tijuana, provoca problemas de abastecimiento de agua en este municipio, desde 1950 a 2017 se ha seguido un modelo tradicional lineal enfocado en oferta-demanda para cubrir las necesidades de agua (Navarro-Chaparro *et al.*, 2016). Hasta el momento, el modelo tradicional no ha tenido el éxito esperado, esto de acuerdo con la Comisión Estatal de Agua de Baja California (CEABC, 2018) pues estima un déficit de agua de 44 hm<sup>3</sup>, misma que las autoridades encargadas del abastecimiento de agua en Tijuana negocian y compran anualmente a los agricultores del distrito de riego número 14 de Mexicali (DR-014).

El déficit resulta de una oferta de agua anual de 80 hm<sup>3</sup> (proviene de una asignación de agua que tiene Tijuana de los pozos de la Mesa Arenosa, Sonora y que por medio de un acuerdo se sustituye por agua del Río Colorado-Tijuana) y una demanda de 124 hm<sup>3</sup> (se cubre con el agua comprada a los agricultores de Mexicali y con el agua proveniente del Río Colorado que se transporta por el Acueducto Río Colorado-Tijuana (ARCT); reiterando, el agua transportada corresponde a la asignación de agua que tiene Tijuana de los pozos de la Mesa Arenosa, ubicadas en Sonora) (CEABC, 2018). Tijuana posee fuentes locales de agua pero son pocas y además se encuentran contaminadas (Navarro-Chaparro *et al.*, 2016), lo que impide hacer frente a la creciente demanda del recurso hídrico, por tal motivo cubrir sus requerimientos de agua depende de fuentes externas.

Contribuir con estudios sobre el consumo de agua en establecimientos hoteleros en México es importante porque permitiría derivar políticas o prácticas que coadyuven a una gestión más adecuada del agua. En el país son pocos los estudios sobre el consumo de agua en hoteles, quizá por la limitación de datos disponibles sobre el consumo en esta actividad. Al respecto, algunos trabajos que se encontraron sobre el tema se citan a continuación: Tamayo y Álamo (2016); Ruiz y Amador (2018); Santacruz y Santacruz (2019); Cruz y Agatón (2019); Santacruz y Santacruz (2020).

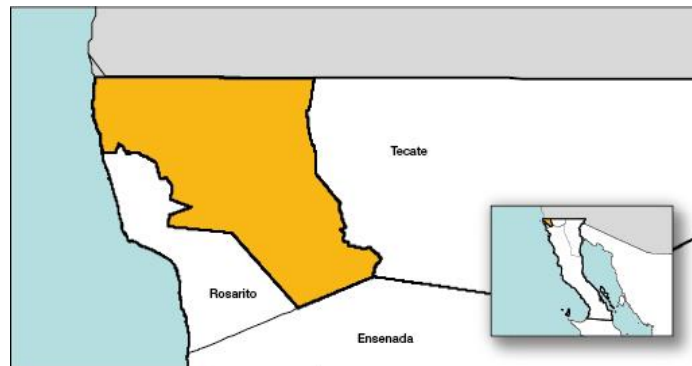
Se tiene claro que Tijuana no capta tanto turismo como las ciudades grandes y los centros de playa en México; sin embargo, se enfoca el trabajo en este lugar por varias razones, entre ellas: es una de las ciudades fronterizas de México que más turistas atrae, presenta dinamismo económico (sector terciario) y poblacional, una escasez de agua marcada, la fuerte dependencia de fuentes externas para abastecerse de agua, etcétera.

Con el objetivo de estimar y analizar el consumo de agua anual y mensual en los hoteles de Tijuana, se consideraron dos periodos 1992-2020 y enero de 2016 a diciembre de 2020, respectivamente. La hipótesis del estudio señala que la tarifa del agua y el ingreso son de los factores que más influyen en el consumo de agua en los hoteles de Tijuana.

## 2.4 MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.4.1. Ubicación del área de estudio

El Instituto Metropolitano de Planeación (IMPLAN, 2019) afirma que Tijuana se ubica al noreste del estado de Baja California, en la región norte del país y sus colindancias son al norte con Estados Unidos, al sur con los municipios de Ensenada y Playas de Rosarito, al este con el municipio de Tecate y al oeste con el Océano Pacífico (Figura 2.1).



**Figura 2.1.** Ubicación geográfica de Tijuana.

Fuente: INEGI, 2021a.

### 2.4.2. Estimación de agua en los hoteles de Tijuana

El consumo de agua en hoteles de Tijuana se estimó debido a que esta información no se dispone en las fuentes oficiales de México. Con base en Santacruz y Santacruz (2020), se empleó la siguiente fórmula:

$$CAAHT_t = (Co_t * Ep_t * Cp_t) / 1000 \quad (1)$$

Donde:  $CAAHT_t$  es el consumo de agua anual en hoteles de Tijuana en  $m^3$ ;  $Co_t$  es el número total de cuartos ocupados en el año;  $Ep_t$  es la estadía promedio (total de turistas noche entre el número de llegadas de turistas durante el período de referencia), tanto de residentes como de no residentes en el país, expresa el número de días de estancia del turista;  $Cp_t$  es el consumo promedio en litros al día por turista (para México es de 300 L/d); el 1000 indica una constante de conversión, para tener el resultado en  $m^3$  al año.

### 2.4.3. El modelo

Antes de presentar el modelo, es conveniente mencionar que primero se estimó el consumo de agua mensual, usando la fórmula correspondiente, con la diferencia que ahora los datos de  $Co_t$ ,  $Ep_t$  y  $Cp_t$  se obtienen de manera mensual y no anual.

Una vez cuantificado el consumo de agua mensual en los hoteles de Tijuana, se propuso la siguiente regresión lineal múltiple:

$$CAMHT_t = \alpha_1 + \alpha_2 PAR_t + \alpha_3 INGR_{t-1} + \alpha_4 TMAX_t + \alpha_5 PP_{t-1} + \alpha_6 D_t + \varepsilon_t \quad (2)$$

Donde:  $CAMHT_t$  es el consumo de agua mensual estimado en hoteles de Tijuana, en  $m^3$ ;  $PAR_t$  es la tarifa real mensual del agua de uso industrial en Tijuana, en pesos por  $m^3$ ;  $INGR_t$  es el PIB real per cápita usado como variable proxy del ingreso per cápita con un periodo de rezago, en miles de pesos;  $TEMP_t$  es la temperatura máxima mensual en  $^{\circ}C$ ;  $PP_t$  es la precipitación media mensual con un mes de rezago, en mm;  $D_t$  es una variable dicotómica donde  $D=1$  (enero de 2016 a febrero de 2020) indica una economía estable o normal y  $D=0$  (marzo de 2020 a diciembre de 2020) señala una economía inestable o anormal (meses con presencia de la Covid-19);  $\varepsilon_t$  es el término de error aleatorio,  $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_6$  son los parámetros de las variables explicativas incluidas en el modelo.

En teoría, los factores que determinan la demanda son el precio del bien, el precio de bienes relacionados (sustitutos o complementarios), el ingreso de los consumidores, entre otros. Con respecto al consumo del agua mensual, se espera una relación inversa o negativa con el precio (tarifa) y una relación directa o positiva con el ingreso (Barkley y Barkley, 2013). Empíricamente se demuestra que además de los factores que se indica en la teoría económica, la temperatura y la precipitación son otros factores determinantes en el consumo de agua para diferentes sectores económicos, así pues, con la temperatura se espera una relación positiva y negativa con la precipitación (Torres-Sombra *et al.*, 2013; Noya y Hernández, 2018; Huaquisto y Chambilla, 2019). Por su parte, Gujarati y Porter (2010), mencionaron que el uso de variables dicotómicas o variables ficticias indica presencia o ausencia de un atributo y se emplea en los modelos de regresión como variables explicativas de una variable dependiente.

Con base a lo anterior, en la investigación se propuso a la variable tarifa del agua que cobra la Comisión Estatal de Servicios Públicos de Tijuana (CESPT), el PIB per cápita como *proxy* del ingreso per cápita del turista, la temperatura, la precipitación y una variable de dicotómica como variables explicativas del consumo de agua.

Finalmente, el modelo se estimó en dos ocasiones, la primera por Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO) y la segunda por Mínimos Cuadrados Generalizados (MCG), esto se debe a que MCO presenta problemas de autocorrelación serial y heterocedasticidad. Regularmente, en economía se presentan dichos problemas al trabajar con datos de series de tiempo. De acuerdo con Gujarati y Porter (2010), para resolver ambos problemas se sugiere usar MCG, con la finalidad de estimar los parámetros con mayor consistencia y eficientes. Para detectar la autocorrelación de primer orden y serial se aplicaron los test de Durbin-Watson (DW), Breusch-Godfrey (BG), correspondientemente; para detectar heterocedasticidad el test de Breusch -Pagan (BP). Adicionalmente, se aplicó la prueba de Shapiro-Wilk (SW) para constatar que los errores de la regresión tienen una distribución normal.

#### **2.4.4. Datos**

La serie de datos número total de cuartos ocupados en el año, la estadía promedio del turista en los establecimientos hoteleros, se obtuvieron del Análisis Integral del Turismo (DATATUR) que pertenece a la SECTUR (2021). El dato del consumo promedio de agua por turista al día en México provino de Gössling *et al.* (2012).

El dato mensual de la tarifa del agua de uso industrial en Tijuana se obtuvo de la CESPT (2021). Se consideró al PIB per cápita de México (PIB entre la población de México) como el ingreso de los turistas; el PIB trimestral se dividió entre tres para obtener el dato mensual, los datos del PIB provinieron del INEGI (2020c) y la población de México se consiguió de la CONAPO (2018). La serie de datos de la temperatura y precipitación provinieron de Sistema Meteorológico Nacional (SMN, 2020). Las tarifas e ingresos fueron deflactados por el Índice Nacional de Tarifas al Consumidor (INPC), considerando al mes de julio de 2018 como año base. El INPC se obtuvo de INEGI (2020c).



La estimación de los parámetros se realizó a través de MCO y MCG, para tal fin se empleó el software estadístico R, versión 4.1.2. (R Core Team, 2021).

## 2.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 2.5.1. Consumo de agua en establecimientos hoteleros de Tijuana

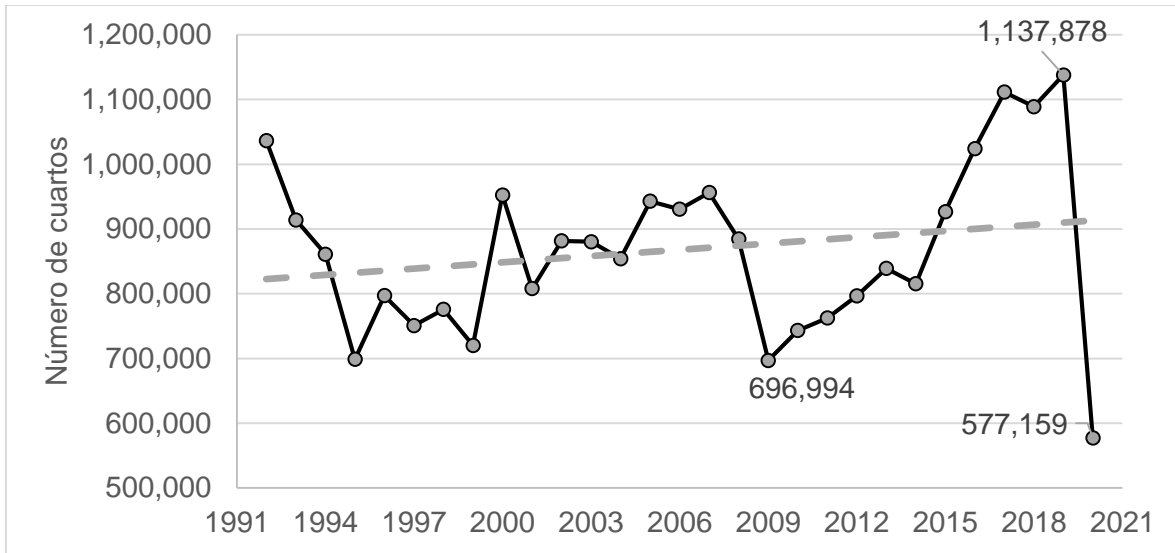
Los resultados sobre la estimación del consumo de agua en los hoteles de Tijuana se presentan en el Cuadro 2.1.

La información que proporciona el Cuadro 2.1 se analizó a través de tres figuras, abordando los aspectos número total de cuartos ocupados, la estadía promedio y el consumo de agua. Durante el periodo 1992-2019, en general, se percibió una tendencia creciente en la ocupación de hoteles en el municipio de Tijuana con un crecimiento medio anual de 0.35%. Considerando el periodo 2009-2019, se observó una tendencia creciente más marcada registrando un crecimiento medio anual de 5.02%, lo que muestra que en años recientes hay turistas que se están hospedando en los hoteles del municipio. Se notaron tres caídas en la ocupación hotelera, la primera fue de 12.32% (al pasar de 1,036,565 en 1992 a 698,594 cuartos ocupados en 1995); la segunda fue de 14.62% (al cambiar de 956,063 en 2007 a 696,994 cuartos ocupados en 2009) y la tercera fue de 49.28% (al variar de 1,137,878 en 2019 a 577,159 cuartos ocupados en 2020) fue la más drástica y podría ser atribuible a las medidas y efectos de la famosa pandemia de la Covid-19 (restricciones económicas, cuarentenas, confinamientos de las personas para evitar contagios y pérdida de empleos, etcétera) (CEPAL, 2020). Otros factores que pueden estar asociados a dichas caídas en el turismo son la devaluación del peso y a la crisis financiera mundial, además de la inseguridad que se vive en Tijuana (Aguilar, 2017) (Figura 2.2). La relación del número de cuartos ocupados (ocupación hotelera) estuvo directamente relacionada con el consumo de agua en hoteles, entre más ocupación se registre al año, el consumo se incrementa.

**Cuadro 2.6.** Consumo de agua en establecimientos hoteleros en Tijuana, 1992-2020.

Año	$Co_t$	$Ep_t$	$Cp_t$	$CAAHT_t$
1992	1,036,565	1.5	300	459,838.19
1993	914,010	1.3	300	369,109.60
1994	860,944	1.3	300	334,302.21
1995	698,594	1.5	300	306,485.53
1996	797,058	1.5	300	370,328.04
1997	750,770	1.5	300	340,903.28
1998	775,676	1.5	300	353,400.74
1999	720,302	1.4	300	307,792.53
2000	952,509	1.5	300	425,203.66
2001	807,878	1.5	300	352,177.82
2002	881,586	1.4	300	373,993.11
2003	880,314	1.4	300	369,236.06
2004	854,040	1.5	300	375,681.27
2005	942,898	1.4	300	383,573.93
2006	930,375	1.4	300	382,786.88
2007	956,063	1.4	300	391,669.08
2008	884,613	1.4	300	367,799.86
2009	696,994	1.6	300	337,337.81
2010	743,087	1.5	300	330,233.84
2011	762,379	1.5	300	333,478.43
2012	796,556	1.5	300	348,431.30
2013	838,976	1.7	300	417,002.87
2014	815,451	1.2	300	301,899.28
2015	926,792	1.1	300	303,664.19
2016	1,024,102	1.1	300	342,462.49
2017	1,111,434	1.1	300	368,659.33
2018	1,088,895	1.1	300	355,100.97
2019	1,137,878	1.1	300	384,275.95
2020	577,159	1.1	300	193,741.36

Fuente: elaboración propia con datos de la SECTUR (2021) y Gössling *et al.* (2012).



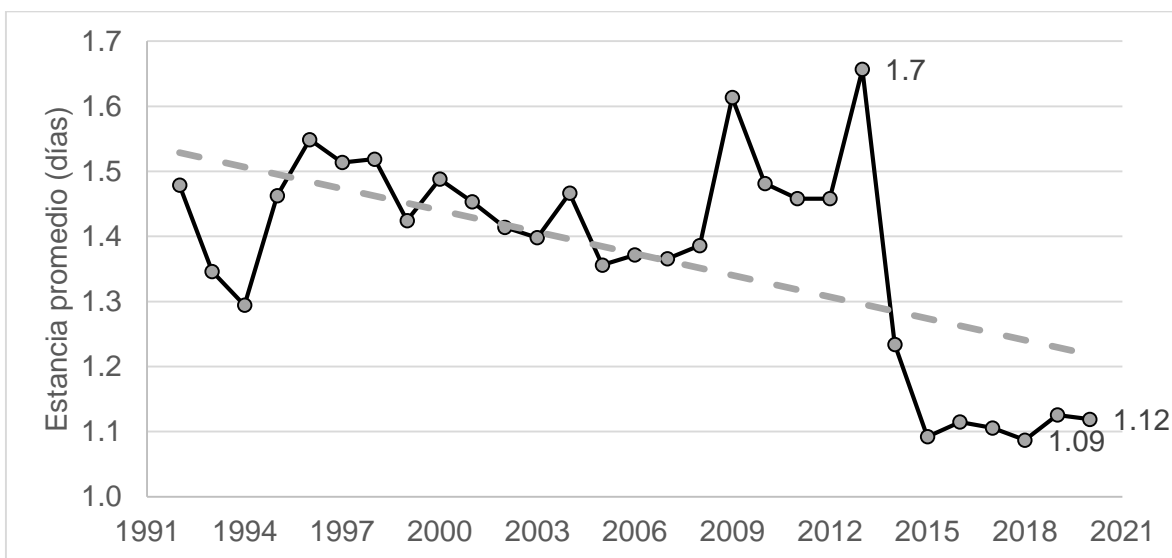
**Figura 2.2.** Número de cuartos de hotel ocupados al año en Tijuana, 1992-2020.

Fuente: elaboración propia con datos del Cuadro 2.1.

La estancia del turista es una cuestión multifactorial, depende del tipo de alojamiento elegido (número de estrellas), temporada de la visita, el número de viajes hechos por el turista al año, tipo de destino (playa y sol o de negocios), el ingreso o gasto de los turistas, la infraestructura turística, la seguridad, entre otros (Artal *et al.*, 2011; SECTUR, 2018; Aguilar 2017).

En destinos que cuentan con playas el turista se queda más tiempo que en otros lugares. En el periodo 1992-2020, el promedio de estancia en México en lugares de playa y sol fue superior a los 4.3 días, mientras que en otro tipo de lugares como los ofrecidos por Tijuana fue 1.4 días (SECTUR, 2021). Asimismo, se destaca que a partir del año 2014 hasta el 2020 la estadía se derrumbó de casi dos días registrado en 2013, hasta prácticamente un día en los últimos años (Figura 2.3). Entre otras razones, la baja estadía específicamente en Tijuana podría deberse a cuestiones de seguridad, ya que el municipio es uno de los lugares de México con más inseguridad, en los últimos años (2014-2020) el promedio de los delitos (homicidios, secuestros, robo a bancos, robo con violencia a comercios y en la vía pública, entre otros) se ha disparado hasta 23 mil casos al año (Secretaría de Seguridad Ciudadana, 2022; Aguilar, 2017). Ante la baja estadía, el gobierno de Baja California a través de la secretaría de turismo del municipio de Tijuana proponen incentivar la inversión en la infraestructura turística, facilitando el

financiamiento e inversión público-privado en nuevos proyectos, al mismo tiempo que se impulsa y se fortalece la oferta turística con el fin de generar beneficios sociales y económicos, esta medida permitirá que los turistas decidan quedarse más tiempo (SECTUR, 2018).

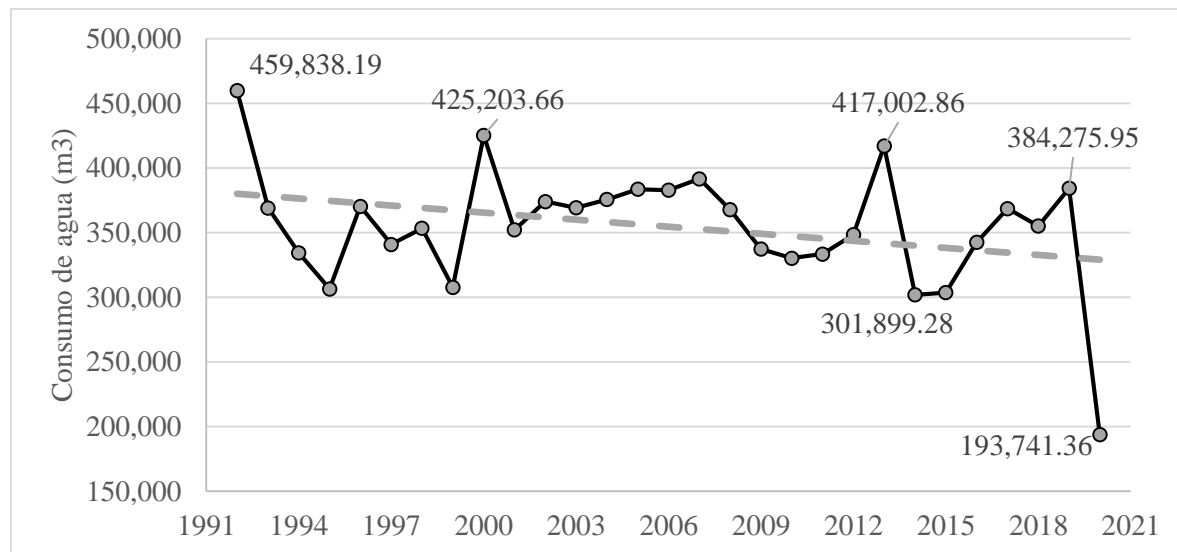


**Figura 2.3.** Estancia promedio de los turistas en hoteles de Tijuana, 1992-2020.

Fuente: elaboración propia con datos del Cuadro 2.1.

Durante el periodo 1992-2019, se puede decir que el consumo promedio de agua en los hoteles de Tijuana fluctuó aproximadamente entre 460 mil m<sup>3</sup> y 300 mil m<sup>3</sup>, la razón principal de altos y bajos consumos radica en la ocupación hotelera y a la estancia promedio del turista. Cabe destacar que entre 2019 y 2020 se registró una reducción abismal en el consumo de agua de 49.6%, la caída en el consumo podría deberse a las medidas impuestas por los gobiernos para tratar de contener la actual pandemia de la Covid-19, alguna de ellas como la restricción de actividades económicas no esenciales como el turismo, el confinamiento de las personas para evitar contagios, etcétera (Figura 2.4). Otra razón de la caída del consumo agua es la corta estadía de los turistas. Aunque, como se dijo antes, si las autoridades incentivan inversión en la infraestructura turística, podría aumentar la estadía, el consumo de agua y el déficit de agua que ya tiene el municipio de Tijuana; para evitar que esto último crezca, se recomendaría a las autoridades que toman decisiones en materia de agua, que la inversión de infraestructura turística incluya inversión en tecnología ahorradora de agua en los hoteles y campañas

masivas sobre el cuidado del agua. Contrariamente, la escasez de agua provocará daños en los sectores económicos que dependen del agua como el turismo.



**Figura 2.4.** Consumo de agua en los hoteles de Tijuana, 1992-2020.

Fuente: elaboración propia con datos del Cuadro 2.1.

### 2.5.2. Resultados estadísticos del modelo

En términos generales los coeficientes estimados de las variables explicativas en ambos modelos (MCO y MCG) fueron cercanos entre ellos y el coeficiente de determinación la  $R^2$  ajustada superó al 0.80, lo cual decir que los modelos tienen un buen ajuste entre los datos observables con los estimados. Existen diferencias respecto a los problemas de autocorrelación serial y heterocedasticidad, estos problemas surgen cuando se trabaja con datos de series de tiempo, tal como es el caso de la presente investigación. En MCO al 5% de significancia ( $P < 0.05$ ), el test de SW arrojó un coeficiente de 0.15 lo que se traduce que los errores de la regresión se distribuyen normalmente, BP resultó de 0.03, por lo tanto deja ver que hay heterocedasticidad, DW y BG tuvieron un coeficiente de 0.08 y 0.00% lo que significa ausencia de autocorrelación de primer orden y existencia de autocorrelación serial, correspondientemente. En MCG al 5% de significancia ( $P < 0.05$ ), no existieron los problemas anteriormente mencionados, porque el modelo original (MCO) es transformado de tal modo que, no presente ni autocorrelación ni heterocedasticidad (Gujarati y Porter, 2010), lo que sí existió fue una distribución normal en los errores, así lo evidenció el coeficiente de SW de 0.09. El Estadístico t fue

significativo al 5% ( $p < 0.05$ ), ya que la mayoría de los coeficientes superaron la unidad en términos absolutos (Cuadro 2.2).

**Cuadro 2.7.** Resultados estructurales del modelo.

Var. Explicativas	MCO	MCG
	Coeficiente	Coeficiente
Intercepto	-39,581.9 *** (-3.13)	-34,516.8 ** (-2.33)
PAR <sub>t</sub>	-24.3436 (-0.40)	-25.6388 (-0.31)
INGR <sub>t-1</sub>	763.565 *** (3.85)	678.425 *** (3.05)
TMAX <sub>t</sub>	494.676 *** (5.47)	493.153 *** (4.78)
PP <sub>t-1</sub>	-63.6473 ** (-2.23)	-62.8297 ** (-2.18)
D <sub>t</sub>	12,178.5 *** (7.43)	12,444 *** (6.60)
SW'	0.15	0.09
BP''	0.03	
DW'''	0.08	
BG''''	0.00	
R <sup>2</sup> Ajustado	0.81	0.82

Fuente: elaboración propia con estimaciones del software estadístico R (R Core Team, 2020). Estadístico t entre paréntesis, significancia a 10%, 5% y 1%, indicadas por \*, \*\*, y \*\*\*, respectivamente. Al 5% de significancia: 'H<sub>0</sub>: Los errores tienen una distribución normal. Rechazar la hipótesis nula significa que los errores no se distribuyen normalmente; ''H<sub>0</sub>: Ausencia de heterocedasticidad. Rechazar la hipótesis nula significa presencia de heterocedasticidad; '''H<sub>0</sub>: Ausencia de autocorrelación de primer orden. Rechazar la hipótesis nula significa presencia de autocorrelación de primer orden y ''''H<sub>0</sub>: Ausencia de autocorrelación serial. Rechazar la hipótesis nula significa presencia de autocorrelación serial.

Los valores medios de las variables que alimentan al modelo revelaron que el consumo de agua en los hoteles de Tijuana en el periodo de análisis fue de 27,400 m<sup>3</sup>, la tarifa del agua fue 84.4 pesos por m<sup>3</sup>, el ingreso per cápita fue superior a los 60 mil pesos, la temperatura máxima fue de 27.8°C, la precipitación fue de 13.1 mm, la variable dicotómica presentó un valor de 0.83, lo que señala que en el periodo considerado hay más meses con una economía estable, igualmente, las condiciones climáticas retratan

que en Tijuana llueve poco y prevalecen las altas temperaturas, característico del norte de la república mexicana (Cuadro 2.3).

**Cuadro 2.8.** Estadística de las variables usadas en el modelo, enero 2016 a diciembre de 2020.

Var. Explicativa	Media	Mediana	Desv.Típica	Mín	Máx
CAMT <sub>t</sub>	27,400	28,400	7550	4900	42,900
PAR <sub>t</sub>	84.4	87.2	6.88	75.4	95
INGR <sub>t-1</sub>	60.4	60.9	3.11	49.0	63.6
TMAX <sub>t</sub>	27.8	27.8	5.53	17.9	36.2
PP <sub>t-1</sub>	13.1	5.55	16.8	0	62.4
D <sub>t</sub>	0.833	1	0.376	0	1

Fuente: elaboración propia con estimaciones del software estadístico R (R Core Team, 2020).

### 2.5.3. Resultados económicos del modelo

El valor medio y los coeficientes estimados de las variables explicativas en el MCG, permitieron calcular las elasticidades que se muestran en el Cuadro 2.4.

**Cuadro 2.9.** Elasticidades respecto al consumo de agua mensual de los hoteles en Tijuana.

Variable Explicativa	Coefficiente Elasticidad
PAR <sub>t</sub>	-0.08
INGR <sub>t-1</sub>	1.50
TMAX <sub>t</sub>	0.50
PP <sub>t-1</sub>	-0.03
D <sub>t</sub>	0.38

Fuente: Elaboración propia con datos de los Cuadros 2.2 y 2.3.

El coeficiente de elasticidad que relaciona la tarifa del agua con el consumo de agua mensual en hoteles de Tijuana (elasticidad precio) fue de -0.08, lo que muestra que la demanda es inelástica; ante un aumento de 10% en la tarifa del agua en términos reales, el consumo disminuye en 0.8%. Deyà-Tortella *et al.* (2016), encontraron un coeficiente



de elasticidad precio de la demanda de  $-0.02$ , muy parecido al de la presente investigación. Por su parte, Olcina *et al.* (2016b), sugiere que la tarifa del agua puede ser utilizado como medida eficiente para fomentar el ahorro de agua y por consiguiente reducir el consumo y los costos operativos de un hotel. Considerando, la elasticidad precio inelástica estimada y el deseo de disminuir el consumo de agua en 10%, la tarifa debería incrementar 125%. No obstante, la medida podría ser factible tomando en cuenta la escasez de agua que padece el municipio, ya que cuando un bien es escaso su tarifa o precio adquiere relevancia.

La elasticidad que tiene que ver con el ingreso y el consumo de agua en los hoteles fue de 1.50, entonces un aumento de 10% términos reales, el consumo aumenta en 15%. Gómez-Ugalde *et al.* (2012), reportaron que ante un aumento en el ingreso de 10%, la demanda de agua incrementa en 12.2%, para el sector comercial de Texcoco, estado de México. Estas cantidades, sugirieron que el consumo de agua en hoteles como en la actividad comercial se considera como un bien superior o de lujo, porque la elasticidad fue superior a la unidad, esto tiene sentido ya que al aumentar el ingreso probablemente los turistas se hospedarían en hoteles con mayor categoría. En congruencia, Gabarda-Mallorquí *et al.* (2017) y Ruiz-Rosa *et al.* (2019), puntualizan que los hoteles con mayor número de estrellas incluyen servicios que conllevan a un mayor uso de agua, como son campos de golf, spa, y tinas de baño en las habitaciones.

La elasticidad que asocia la temperatura con el consumo de agua en hoteles de Tijuana fue de 0.50, por ende, si la temperatura incrementa en 10%, la demanda de agua aumentará en 5%, esto tiene sentido, ya que el huésped usará más agua para mitigar el calor. Huaquisto y Chambilla (2019), realizaron un estudio en 2016-2017 sobre el consumo de agua en zonas residenciales en Perú, concluyendo que en los meses de mayor temperatura ( $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), el consumo de agua aumentó de 65 a 69 L por habitante al día, tal incremento representó el 6.1%.

La elasticidad que encadena la precipitación con el consumo de agua en hoteles de Tijuana fue de  $-0.03$ , en otras palabras quiere decir que, una disminución del 10% en la precipitación, originaría que el consumo de agua aumente en 0.3%, un aumento muy conservador debido a la elasticidad inelástica y a las condiciones climáticas que

caracteriza a Tijuana, pues la región tiene temperaturas altas y precipitaciones bajas o escasas. Guzmán *et al.* (2010), estimaron un coeficiente de elasticidad de la temperatura de -0.437 para el sector agropecuario de Guanajuato, la diferencia en los coeficientes de elasticidad se debe a que la agricultura consume más agua que los hoteles.

La última elasticidad estimada que enlaza la variable dicotómica con el consumo de agua en los hoteles de Tijuana fue de 0.38, y se interpreta que ante la presencia de una economía estable el consumo de agua aumenta en 0.38%. Por otra parte, si la estabilidad económica baja, el consumo de agua en los hoteles se reduce. Así como sucedió con las medidas y efectos de la Covid-19, estos golpean a la mayoría de los sectores económicos, principalmente al turismo, de ahí que los efectos se traducen en un bajo consumo de agua en los hoteles. Es preciso mencionar que no se encontraron estudios que analicen variables dicotómicas en el consumo de agua en los hoteles; por tal razón, no hay comparación de resultados.

## 2.6 CONCLUSIONES

El consumo de agua en Tijuana podría incrementarse si la estadía promedio del turista crece, ya que la ocupación hotelera muestra una tendencia hacia la alza. El incremento de la estadía, se puede lograr con inversión en la infraestructura turística, como lo proponen las autoridades de la entidad. Ante ello, se recomienda que dicha inversión se acompañe con políticas de fomento en tecnología ahorradora de agua en los hoteles y con campañas masivas hacia el cuidado del agua; porque de lo contrario, el déficit de agua podría aumentar y provocar daño no sólo al turismo, sino a todas las actividades económicas que dependen del agua.

Es notorio que los efectos de la actual pandemia de la Covid-19 impactaron drástica y negativamente al turismo, pues desembocó en una caída abismal de la ocupación hotelera, originando una disminución del consumo de agua en los hoteles de Tijuana. Se recomendaría tanto al gobierno como a los hoteleros tomar nota de las lecciones aprendidas de la presente pandemia, para poder mitigar efectos adversos en futuros eventos imprevistos como la Covid-19.

La regresión lineal múltiple propuesta en esta investigación, para analizar los factores que determinan el consumo de agua mensual en los hoteles de Tijuana, arroja que el ingreso de los turistas influye fuertemente en el consumo y lo cataloga como un bien superior o de lujo; mientras tanto, la tarifa ejerce una influencia débil. Por lo tanto, la hipótesis formulada se cumple de manera parcial, porque sólo el ingreso tuvo una influencia fuerte.

El consumo de agua responde inelásticamente a su tarifa, lo que implica una tarifa elevada para disminuir significativamente el consumo, no obstante, la evidente escasez de agua en Tijuana acreditaría el aumento en la tarifa del vital líquido.

## CAPÍTULO III. LA DEMANDA Y DISTRIBUCIÓN DE AGUA EN LOS MUNICIPIOS DE BAJA CALIFORNIA Y SONORA, MÉXICO

Fidel Bautista Mayorga, D. C.  
Colegio de Postgraduados, 2022

### 3.1 RESUMEN

El crecimiento demográfico y económico en el norte del estado de Baja California ha ocasionado un aumento en el consumo de agua y una competencia por el recurso entre los distintos sectores consumidores. El dinamismo de la región ha originado que el abastecimiento de la demanda de agua sea cada vez más difícil. El objetivo de esta investigación fue asignar el agua extraída de los acuíferos Valle de Mexicali y San Luís Río Colorado (Slrc) entre los diferentes sectores consumidores de agua por municipio del estado de Baja California y Sonora ante escenarios de escasez del recurso hídrico, así como determinar la tarifa del agua que hace posible disminuir la cantidad extraída de los acuíferos. Se formuló y validó un modelo de equilibrio espacial que consideró funciones de demanda y ofertas fijas. Los resultados en 2019 indicaron que la asignación de agua por municipios en el sector residencial, comercial, industrial, agrícola y pecuario es de 197.2, 21.7, 16.7, 520.9 y 5.6 hm<sup>3</sup> de agua, de los cuales Tijuana destaca en los tres primeros sectores, mientras que Mexicali y Slrc sobresalen en el sector agropecuario. Del mismo modo, una disminución de 10% en la disponibilidad de agua, se lograría si la tarifa en el sector agrícola de Mexicali y Slrc aumenta en 20 y 22%, respecto al modelo base. Al subir la tarifa, la demanda en este sector para los dos municipios disminuiría en 2.6%.

**Palabras clave:** sector residencial, industria, agricultura, ganadería, modelo de equilibrio espacial.

# WATER DEMAND AND DISTRIBUTION IN THE MUNICIPALITIES OF BAJA CALIFORNIA AND SONORA, MEXICO

Fidel Bautista Mayorga, D. C.  
Colegio de Postgraduados, 2022

## 3.2 ABSTRACT

The demographic and economic growth in the north of the state of Baja California has caused an increase in the consumption of water and a competition for the resource between the different consuming sectors. The dynamism of the region has made the supply of water demand increasingly difficult. The objective of this research was to assign the water extracted from the Valle de Mexicali and Slrc aquifers among the different water-consuming sectors by municipality of the state of Baja California and Sonora in scenarios of water resource scarcity, as well as to determine the tariff of water that makes it possible to reduce the amount extracted from withdrawn from aquifers. A spatial equilibrium model was formulated and validated that considers fixed supply and demand functions. The results in 2019 indicated that the allocation of water by municipalities in the residential, commercial, industrial, agricultural and livestock sectors is 197.2, 21.7, 16.7, 520.9 and 5.6 hm<sup>3</sup> of water, of which Tijuana stands out in the first three sectors, while Mexicali and Slrc stand out in the agricultural sector. Similarly, a 10% decrease in water availability would be achieved if the tariff in the agricultural sector of Mexicali and Slrc increases by 20 and 22%, compared to the base model. By raising the tariff, the demand in this sector for the two municipalities would decrease by 2.6%.

**Keywords:** Residential sector, industry, agriculture, livestock, spatial equilibrium model.

### 3.3 INTRODUCCIÓN

A nivel mundial se estima una disponibilidad de agua promedio anual de 1386 billones de  $\text{hm}^3$ , de esta, 97.5% es agua salada (1351 billones de  $\text{hm}^3$ ) y 2.5% es agua dulce (35 billones de  $\text{hm}^3$ ). Del agua dulce, aproximadamente el 70% (24.4 billones de  $\text{hm}^3$ ) no es aprovechable para el consumo humano, porque se encuentra en glaciares, nieve y hielo; el 30% (10.5 billones de  $\text{hm}^3$ ) es agua subterránea y 0.4% (0.14 billones de  $\text{hm}^3$ ) se encuentra en lagos, ríos y humedales. Debido a la distancia entre el agua y los centros de consumo, agua subterránea poco profunda, entre otros factores, el ser humano sólo tiene acceso al 0.77% del agua dulce que existe en el mundo (CONAGUA, 2018).

México al año recibe 1 449 471  $\text{hm}^3$  en forma de precipitación, de esta cantidad, el 72.1% se evotranspira, el 21.4% escurre por ríos y el 6.4% recarga los acuíferos por infiltración. Considerando las importaciones y exportaciones de agua con países vecinos, México tiene anualmente un saldo de 451 585  $\text{hm}^3$  de agua renovable (CONAGUA, 2018).

La sobre explotación de agua subterránea acarrea diversos efectos negativos entre los que se pueden mencionar los siguientes: un descenso significativo y continuo del nivel freático que a su vez repercute directamente en la reducción de los caudales de bombeo, incremento de los costos de operación y perforación de nuevos pozos, fisuras y colapsos del suelo producto del vacío generado en los estratos superficiales, y una mayor competencia y conflictos entre los diferentes usuarios del agua (Mayta y Durán, 2015).

Los sectores consumidores de agua (agropecuario, industrial, comercial y residencial, entre otros) abonan al problema de la sobre explotación del agua, pues su crecimiento ejerce presión sobre los recursos naturales (agua, suelo, subsuelo). El agotamiento del agua y los demás recursos naturales significaría una catástrofe para la humanidad, es por esto que es urgente hacer un plan y una supervisión sobre el uso eficiente del agua (Palacios-Vélez y Escobar-Villagrán, 2016).

La Península de Baja California es la cuarta región hidrológica administrativa de las 13 que existen en el país con más acuíferos sobreexplotados, sólo por debajo de otras regiones como la de Lerma Santiago Pacífico, Cuenca Centrales del Norte y Río Bravo. En 2011, la Península reportaba 13 acuíferos sobreexplotados y 10 con intrusión marina,

para 2019 reportó 18 sobreexplotados y 11 con intrusión marina. De esta región hidrológica, destacan los municipios de Mexicali (Baja California) y San Luis Río Colorado (Slrc -Sonora) por ser grandes consumidores de agua en el sector agrícola, ya que pertenecen al distrito de riego 014 (CONAGUA, 2019). En ese mismo año, de los 602 hm<sup>3</sup> de agua extraída del acuífero Valle de Mexicali (sobre explotado), el sector agrícola de Mexicali consumió 588 hm<sup>3</sup> y de los 263.5 hm<sup>3</sup> de agua extraída del acuífero Valle de Slrc (cerca de la sobre explotación), el sector agrícola de Slrc consumió 170 hm<sup>3</sup> (CONAGUA, 2020).

Tijuana sobresale por el dinamismo demográfico, comercial e industrial. En 2019, Baja California tenía una población total aproximada de 3.6 millones de personas, de los cuales el 49% (1.8 millones de personas) se concentraba en Tijuana y 30% en Mexicali. Se proyecta que la población de Tijuana crecerá 19.5% en el periodo 2019-2030 (CONAPO, 2018). El INEGI (2020a) evidenció el dinamismo en el sector comercial e industrial en Tijuana, ya que el 97.2% de la Población Económicamente Activa se encontraba ocupada y 2.8% desocupada durante el segundo trimestre de 2019. De la población ocupada, el 59.4% se desenvolvía dentro del sector terciario (comercio, restaurantes y servicios de alojamiento, entre otros), y 34.3% laboró en el sector secundario (industrias extractiva, eléctrica y manufacturera, entre otros). El 6.2% de los trabajadores no especificaron la actividad económica en el que se encontraban ocupados.

Cabe mencionar que Tijuana (incluye Playas de Rosarito), Tecate y una parte de Ensenada abastecen su demanda de agua gracias a las concesiones que tienen asignadas de los acuíferos antes mencionados y el agua es transportada por el Acueducto Río Colorado-Tijuana (ARCT) hasta llegar a las presas el Carrizo y las Auras (CEABC, 2018). Como se dijo anteriormente, el crecimiento de la población y los sectores económicos implica mayor demanda de agua y un aumento en la sobre explotación de los acuíferos. Ante tal situación, se vislumbran probables soluciones; por un lado, aumentando el consumo de agua para satisfacer las crecientes demandas, y, por otro lado, administrando la demanda para lograr un uso eficiente del recurso.

En este mismo tenor de ideas, Palacios-Vélez y Escobar-Villagrán (2016) propusieron las siguientes medidas que ayudan a minimizar la sobre explotación de los acuíferos: actualizar el censo de pozos de bombeo, estimar el volumen extraído de manera clandestina, realizar estudios sobre los componentes del balance hídrico, promover la formación de un comité técnico de aguas subterráneas que se encargue del manejo del acuífero, fomentar una cultura de pago por los servicios de agua tanto en ciudades como en las zonas de riego, reducción de los subsidios a los servicios de agua de riego y de abastecimiento urbano, entre otros.

Existen estudios que han determinado que se puede usar la tarifa del agua como mecanismo para disminuir la demanda y hacer un uso más eficiente del recurso en diferentes sectores consumidores (Gómez-Ugalde *et al.*, 2012; Torres-Sombra *et al.*, 2013; Cota-Verdugo *et al.*, 2013; Romano *et al.*, 2016). Otros estudios se han enfocado en asignar el agua de manera espacial e inter-temporal entre los sectores consumidores ante una situación de escasez y competencia por el recurso (García *et al.*, 2006; Torres-Sombra y García-Salazar, 2015; Miranda-Trejo *et al.*, 2015; Ghosh *et al.*, 2017; Castro *et al.*, 2017).

Dado el contexto anterior, el presente estudio tiene como objetivo asignar el agua extraída de los acuíferos Valle de Mexicali y Slrc entre los diferentes sectores consumidores de agua por municipio del estado de Baja California y San Luís Río Colorado (Sonora) ante un escenario de escasez del recurso hídrico, así como determinar la tarifa que hace posible disminuir la cantidad extraída de los acuíferos. La hipótesis establece que ante escenarios de escasez, disminuirá el consumo de agua en aquellos sectores con menor valor de uso.



### 3.4 MATERIALES Y MÉTODOS

El modelo de programación cuadrática maximiza el Valor Social Neto (VSN), que es igual a la suma de las áreas bajo la curva de demanda, menos los costos de extracción de agua subterránea, valor de la cantidad disponible de agua para envío en la presa y costos de distribución.

Suponiendo  $r$  regiones consumidoras de agua del sector residencial ( $r=1\dots R=5$ ),  $c$  regiones consumidoras de agua del sector comercial ( $c=1\dots C=4$ ),  $i$  regiones consumidoras de agua del sector industrial ( $i=1\dots I=4$ ),  $f$  regiones consumidoras de agua del sector agrícola ( $f=1\dots F=2$ ),  $g$  regiones consumidoras de agua del sector pecuario ( $g=1\dots G=2$ ),  $s$  son las fuentes de agua subterránea ( $s=1\dots S=2$ ),  $p$  son las presas ( $p=1\dots P=2$ ). El modelo que se propuso es el siguiente:

$$\begin{aligned}
 MAXVSN = & \sum_{r=1}^R \left[ \lambda_r y_r + \frac{1}{2} \omega_r y_r^2 \right] + \sum_{c=1}^C \left[ \lambda_c y_c + \frac{1}{2} \omega_c y_c^2 \right] + \sum_{i=1}^I \left[ \lambda_i y_i + \frac{1}{2} \omega_i y_i^2 \right] \\
 & + \sum_{f=1}^F \left[ \lambda_f y_f + \frac{1}{2} \omega_f y_f^2 \right] + \sum_{g=1}^G \left[ \lambda_g y_g + \frac{1}{2} \omega_g y_g^2 \right] + \sum_{p=1}^P [PAPY_p] \\
 & - \sum_{s=1}^S [PASX_s] - \sum_{p=1}^P [PAPX_p] \\
 & - \sum_{s=1}^S \sum_{r=1}^R [D_{sr} X_{sr}] - \sum_{s=1}^S \sum_{c=1}^C [D_{sc} X_{sc}] - \sum_{s=1}^S \sum_{i=1}^I [D_{si} X_{si}] \\
 & - \sum_{s=1}^S \sum_{f=1}^F [D_{sf} X_{sf}] - \sum_{s=1}^S \sum_{g=1}^G [D_{sg} X_{sg}] - \sum_{s=1}^S \sum_{p=1}^P [D_{sp} X_{sp}] \\
 & - \sum_{p=1}^P \sum_{r=1}^R [D_{pr} X_{pr}] - \sum_{p=1}^P \sum_{c=1}^C [D_{pc} X_{pc}] - \sum_{p=1}^P \sum_{i=1}^I [D_{pi} X_{pi}] \tag{1}
 \end{aligned}$$

Sujeto a:

$$X_s \geq \sum_{r=1}^R X_{sr} + \sum_{c=1}^C X_{sc} + \sum_{i=1}^I X_{si} + \sum_{f=1}^F X_{sf} + \sum_{g=1}^G X_{sg} + \sum_{p=1}^P X_{sp} \tag{2}$$

$$X_p \geq \sum_{r=1}^R X_{pr} + \sum_{c=1}^C X_{pc} + \sum_{i=1}^I X_{pi} \tag{3}$$

$$\sum_{s=1}^S X_{sr} + \sum_{p=1}^P X_{pr} \geq y_r \tag{4}$$

$$\sum_{s=1}^S X_{sc} + \sum_{p=1}^P X_{pc} \geq y_c \quad (5)$$

$$\sum_{s=1}^S X_{si} + \sum_{p=1}^P X_{pi} \geq y_i \quad (6)$$

$$\sum_{s=1}^S X_{sf} \geq y_f \quad (7)$$

$$\sum_{s=1}^S X_{sg} \geq y_g \quad (8)$$

$$\sum_{s=1}^S X_{sp} \geq y_p \quad (9)$$

$$y_r, y_r, y_r \dots X_{sr}, X_{sc}, X_{si} \dots X_{sp}, X_s, X_p \geq 0 \quad (10)$$

Donde,  $\lambda_r, \lambda_c, \lambda_i, \lambda_f, \lambda_g$  son las ordenadas de las funciones inversas de la demanda en las regiones  $r, c, i, f, g$ ;  $y_r, y_c, y_i, y_f, y_g$  son las cantidades consumidas de agua en los sectores  $r, c, i, f, g$ ;  $\omega_r, \omega_c, \omega_i, \omega_f, \omega_g$  son las pendientes de las funciones inversas de la demanda de agua en las regiones  $r, c, i, f, g$ ;  $y_p$  es la cantidad de agua disponible total en la presa  $p$ ;  $PAS$  es el costo de extracción de agua subterránea en la región  $s$ ;  $PAP$  es la tarifa del agua a la salida de la presa  $p$ ;  $X_s$  es la cantidad de agua extraída en la región  $s$ ;  $X_p$  es la cantidad de agua disponible para envío en la presa  $p$ ;  $D_{sr}, D_{sc}, D_{si}, D_{sf}, D_{sg}, D_{sp}$  son los costos de distribución del agua de  $s$  a  $r, c, i, f, g, p$ ;  $D_{pr}, D_{pc}, D_{pi}$  son los costos de distribución del agua de  $p$  a  $r, c, i$ ;  $X_{sr}, X_{sc}, X_{si}, X_{sf}, X_{sg}, X_{sp}$  son las cantidades de agua subterránea enviada de  $s$  a  $r, c, i, f, g, p$ ;  $X_{pr}, X_{pc}, X_{pi}$  son las cantidades de agua enviada de  $p$  a  $r, c, i$ .

La función objetivo (Ecuación 1) está sujeta a restricciones de balance de oferta y demanda de agua (Ecuaciones de la 2 a la 9). La condición de no negatividad de las variables está representada en la Ecuación 10.

La solución del modelo se obtuvo usando funciones de demanda para las regiones consumidoras residencial, comercial, industrial, agrícola y pecuaria. Usando la elasticidad precio de la demanda, las tarifas y las cantidades demandadas, se estimaron en total 17 funciones de demanda considerando los cinco municipios (Tijuana, Tecate,

Ensenada, Mexicali y Slrc) y las 5 regiones consumidoras (residencial, comercial, industrial, agrícola y pecuaria) (Kawaguchi *et al.*, 1997). Las elasticidades se estimaron vía regresión lineal múltiple (se consideró como variable endógena al consumo per cápita de agua y como variables exógenas se consideraron la tarifa del agua y energía eléctrica, ingreso, precipitación y temperatura) para el municipio de Tijuana, municipio representativo de Baja California, los datos de las variables empleadas en la regresión abarcó el periodo 2006 al 2019. Los coeficientes de elasticidad estimados fueron -0.23 para el sector residencial, -0.04 para el sector comercial, -0.07 para el sector industrial y de Torres-Sombra y García-Salazar (2015) se obtuvo la elasticidad para el sector agrícola de -0.125 y -0.065 para el sector pecuario.

El consumo de agua residencial, comercial e industrial para los municipios Tijuana y Slrc se obtuvieron de la Comisión Estatal de Servicios Públicos de Tijuana (CESPT, comunicación personal, 2020) y del Organismo Operador Municipal de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento de San Luis Río Colorado (OOMAPAS, comunicación personal, 2021). Para los municipios Tecate, Ensenada y Mexicali el consumo residencial se estimó del siguiente modo, número de viviendas por el consumo promedio per cápita de agua residencial, esta información provino de la Comisión Estatal del Agua de Baja California (CEABC, 2017) e INEGI (2021a). El consumo de agua comercial e industrial para Tecate y Mexicali se multiplicó el número de comercios e industrias (en Tecate), así como el número de tomas de agua potable de uso comercial e industrial (en Mexicali), por el consumo promedio per cápita de agua comercial e industrial, respectivamente, la información se obtuvo de la CEABC (2017) e INEGI (2021b).

El consumo de agua agrícola en los municipios de Mexicali y Slrc se obtuvo multiplicando la superficie sembrada de riego por el promedio de la lámina de riego de cada cultivo, se consideró para el cálculo el ciclo agrícola 2018-2019 (Primavera-Verano, Otoño-Invierno y Perennes). La información provino de Camacho (2010) y SIACON-SIAP (2020). En 2019, el consumo de agua pecuario en los municipios de Mexicali y Slrc, se obtuvo multiplicando el número de cabezas por especie pecuaria por el promedio del consumo per cápita de agua de cada especie, la información provino de FAO (2013) y SIACON-SIAP (2020). Es importante recalcar que en los municipios Tijuana, Tecate y una parte

de Ensenada no se tomó en cuenta el consumo de agua para el sector agropecuario, porque el que llega a estos municipios provenientes de las presas (el Carrizo y las Auras) y que a la vez estas reciben agua de las fuentes subterráneas (acuífero Valle de Mexicali y Slrc) tienen un uso exclusivo residencial, comercial e industrial.

Para los sectores que se abastecen directamente de las fuentes subterráneas (Mexicali y Slrc), los costos de distribución se calcularon mediante una diferencia de precios (tarifas que pagan los usuarios finales menos los costos de extracción), dicha diferencia representa todos los costos que involucra el abastecimiento de agua. De manera similar, para los sectores que son abastecidos con el agua disponible en las presas (Tijuana, Tecate y parte de Ensenada), se calculó la diferencia de precios con las tarifas pagadas por los consumidores finales y los costos del agua a la salida de la presa (incluye los costos de extracción de agua, de energía eléctrica, mantenimiento y operación para conducir el agua desde los puntos de extracción a las presas); la información provino de la CEABC (2018), Periódico Oficial de Baja California (2021) y CONAGUA (2021).

### 3.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La validación del modelo tanto de consumo como de tarifa del agua en los municipios de Baja California y Sonora (Slrc), así como para los distintos sectores consumidores de agua residencial, comercial, industrial, agrícola y pecuario (R, C, I, F, G) se presentan en el Cuadro 3.1. El signo positivo y negativo en las diferencias porcentuales, significó que el modelo base sobre o subestimó los valores observados; aun así, la diferencia es mínima lo que permitió realizar escenarios predictivos.

En 2019, el consumo total de agua en el sector residencial fue 197.2 hm<sup>3</sup>, de los cuales Tijuana y Mexicali consumieron 98.5 y 63.4 hm<sup>3</sup>. El consumo total en el sector comercial fue 21.9 hm<sup>3</sup>, de los cuales Tijuana y Mexicali demandaron 15.5 y 4.2 hm<sup>3</sup>, respectivamente. Del mismo modo, el consumo total en el sector industrial fue 16.7 hm<sup>3</sup>, de esta cantidad, Tijuana y Mexicali demandaron 10 y 4.7 hm<sup>3</sup>, respectivamente. En esta tónica, el sector agrícola demandó en total 536.6 hm<sup>3</sup> de agua, de los cuales Mexicali es por mucho el mayor consumidor con 436 hm<sup>3</sup> de agua, el restante es lo que consume Slrc (Sonora). De igual manera, el consumo total de agua en el sector pecuario fue ligeramente superior a los 5.7 hm<sup>3</sup>, de esta cantidad, Mexicali consumió la mayor parte 5.7 hm<sup>3</sup>, el restante fue el consumo de Slrc (Cuadro 3.1). El consumo exorbitante de agua en el sector agropecuario por estos municipios, se debe a que ambos pertenecen al distrito de riego 014.

Con referencia a las tarifas de agua, se apreció que los municipios Tijuana, Tecate y parte de Ensenada son los municipios que pagan las tarifas más elevadas en el sector residencial, comercial e industrial en el estado de Baja California, por ejemplo las tarifas que paga Tijuana en estos sectores fueron 19.5, 80 y 83.8 pesos por m<sup>3</sup>, respectivamente. Mientras que Mexicali y Slrc son los que pagan tarifas de agua más bajas; Mexicali pagó 7.2, 51.2 y 59.8 pesos por m<sup>3</sup> para uso residencial, comercial e industrial y Slrc para estos mismos sectores pagó 8.3, 6.7, 9.7 pesos por m<sup>3</sup>, siendo evidente que este último municipio perteneciente al estado de Sonora es el que pagó menos por el uso del agua (Cuadro 3.1).

**Cuadro 3.10.** Validación del modelo de agua para los municipios de Baja California y Sonora, 2019.

Municipio	R <sup>†</sup>	C <sup>‡</sup>	I <sup>§</sup>	F <sup>¶</sup>	G <sup>■</sup>	R <sup>†</sup>	C <sup>‡</sup>	I <sup>§</sup>	F <sup>¶</sup>	G <sup>■</sup>
	Millones de m <sup>3</sup>					Pesos por m <sup>3</sup>				
	<i>Consumo observado</i>					<i>Tarifa observado</i>				
Tijuana	98.5	15.5	10.0			19.5	80.0	83.8		
Tecate	1.8	0.2	1.4			13.9	66.9	64.5		
Ensenada	9.0					14.2				
Mexicali	63.4	4.2	4.7	436.0	5.7	7.2	51.2	59.8	0.19	0.19
Slrc	24.6	2.0	0.7	100.5	0.0	8.3	6.7	9.7	0.19	0.19
Total	197.2	21.9	16.7	536.6	5.7					
	<i>Consumo modelo base</i>					<i>Tarifa modelo base</i>				
Tijuana	98.5	15.4	10.0			19.5	80.0	83.8		
Tecate	1.8	0.2	1.4			13.9	66.8	64.5		
Ensenada	9.0					14.2				
Mexicali	63.4	4.2	4.7	434.3	5.7	7.2	51.2	59.8	0.20	0.19
Slrc	24.6	2.0	0.7	100.7	0.0	8.3	6.7	9.7	0.19	0.19
Total	197.2	21.7	16.7	534.9	5.7					
	<i>Diferencia respecto al observado</i>					<i>Diferencia respecto al observado</i>				
Tijuana	0.0	-0.2	0.0			0.0	0.0	0.0		
Tecate	0.0	0.0	0.0			0.01	-0.02	0.01		
Ensenada	0.0					0.0				
Mexicali	0.0	0.0	0.0	-1.7	0.0	0.01	0.0	0.0	0.01	0.0
Slrc	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.01	0.0	0.0
Total	0.0	-0.2	0.0	-1.6	0.0					
	<i>Diferencia % respecto al observado</i>					<i>Diferencia % respecto al observado</i>				
Tijuana	0.0	-1.16	0.0			-0.01	0.0	0.0		
Tecate	-0.02	0.0	0.0			0.08	-0.03	0.01		
Ensenada	0.0					0.00				
Mexicali	-0.04	0.0	0.0	-0.4	-0.01	0.17	0.01	0.01	3.2	0.1
Slrc	0.0	0.0	-0.01	0.14	0.01	0.02	0.02	0.09	-1.1	-0.1
Total	-0.01	-1.16	0.0	-0.3	0.0					

R<sup>†</sup>: sector residencial; C<sup>‡</sup>: sector comercial; I<sup>§</sup>: sector industrial; F<sup>¶</sup>: sector agrícola; G<sup>■</sup>: sector pecuario.

Pagar tarifas bajas por el uso del agua fomenta un mal uso del recurso e implica un mayor uso de agua de acuíferos sobre explotados poniendo en riesgo una crisis hídrica en corto, mediano y largo plazo, para evitar esta situación es importante que se pague una tarifa justa por el agua, ya que esto permitiría un uso más eficiente del vital líquido y menos presión para acuíferos sobreexplotados. Las tarifas altas y bajas que existen en los municipios de Baja California, están estrechamente relacionados a dos cuestiones; la primera, la distancia entre las fuentes de origen y los centros de consumo del agua, en otras palabras a mayor distancia mayor es la tarifa del agua por los gastos de conducción y mantenimiento del agua en las presas, etc. La segunda, una alta dependencia de fuentes externas de agua para abastecer la demanda interna, debido a escasez de agua local.

Los efectos sobre el consumo y tarifa del agua al reducir 10% la disponibilidad de agua en los acuíferos Valle de Mexicali y Slrc se muestra en el Cuadro 3.2. El consumo de todos los sectores consumidores de todos los municipios más el agua disponible en las presas es igual al agua extraída de ambos acuíferos, entonces en el modelo base se estimó una extracción de 776.3 hm<sup>3</sup>, al contraerse la oferta de agua en la magnitud indicada pasó a 698.7 hm<sup>3</sup>, esta medida trajo como consecuencia que la demanda disminuya y la tarifa del agua aumente.

La disminución en el consumo de agua en el sector residencial de todos los municipios osciló entre 0.05 y 0.12%, el comercial e industrial entre 0 y 0.03%, como se puede percibir la disminución es bastante moderada, en otras palabras, el consumo en estos sectores no sufre cambios. Contrariamente, el consumo en el sector agrícola sí sufre cambios notorios, en Mexicali se derrumbó de 434.3 a 422.9 hm<sup>3</sup> (2.6% respecto al modelo base), y en Slrc bajó de 100.7 a 98 hm<sup>3</sup> (2.6% respecto al modelo base). En el caso del sector pecuario de Mexicali y Slrc experimentaron una caída en el consumo considerando el modelo base de 1.4%, respectivamente (Cuadro 3.2).

**Cuadro 3.11.** Asignación del agua entre consumidores y aumentos en la tarifa ante escasez del recurso.

Municipio	R <sup>†</sup>	C <sup>‡</sup>	I <sup>§</sup>	F <sup>¶</sup>	G <sup>‡</sup>	R <sup>†</sup>	C <sup>‡</sup>	I <sup>§</sup>	F <sup>¶</sup>	G <sup>‡</sup>
	Millones de m <sup>3</sup>					Pesos por m <sup>3</sup>				
	<i>Consumo modelo base</i>					<i>Tarifa modelo base</i>				
Tijuana	98.5	15.4	10.0			19.5	80.1	83.8		
Tecate	1.8	0.2	1.4			13.9	66.8	64.5		
Ensenada	9.0					14.1				
Mexicali	63.4	4.2	4.7	434.3	5.7	7.1	51.2	59.8	0.19	0.19
Slrc	24.6	2.0	0.7	100.7	0.0	8.3	6.7	9.7	0.19	0.19
Total	197.2	21.7	16.7	534.9	5.7					
	<i>La disponibilidad disminuye en 10%</i>					<i>La disponibilidad disminuye en 10%</i>				
Tijuana	98.5	15.4	10.0			19.6	80.1	83.8		
Tecate	1.8	0.2	1.4			14.0	66.9	64.6		
Ensenada	9.0					14.2				
Mexicali	63.3	4.2	4.7	422.9	5.6	7.2	51.2	59.9	0.22	0.22
Slrc	24.5	2.0	0.7	98.0	0.0	8.3	6.7	9.7	0.20	0.22
Total	197.1	21.7	16.7	520.9	5.6					
	<i>Diferencia respecto al escenario base</i>					<i>Diferencia respecto al escenario base</i>				
Tijuana	0.0	0.0	0.0			0.04	0.04	0.04		
Tecate	0.0	0.0	0.0			0.04	0.10	0.05		
Ensenada	0.0					0.04				
Mexicali	-0.1	0.0	0.0	-11.4	-0.1	0.04	0.05	0.05	0.04	0.04
Slrc	0.0	0.0	0.0	-2.6	0.0	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
Total	-0.2	0.0	0.0	-14.1	-0.1					
	<i>Diferencia % respecto al escenario base</i>					<i>Diferencia % respecto al escenario base</i>				
Tijuana	-0.05	0.00	0.00			0.22	0.06	0.05		
Tecate	-0.07	-0.01	-0.01			0.31	0.15	0.07		
Ensenada	-0.07					0.30				
Mexicali	-0.12	0.00	-0.01	-2.63	-1.37	0.51	0.09	0.09	20.32	21.03
Slrc	-0.11	-0.03	-0.03	-2.63	-1.37	0.48	0.59	0.40	21.31	21.12
Total	-0.08	0.00	-0.01	-2.63	-1.37					

R<sup>†</sup>: sector residencial; C<sup>‡</sup>: sector comercial; I<sup>§</sup>: sector industrial; F<sup>¶</sup>: sector agrícola; G<sup>‡</sup>: sector pecuario.



Los resultados de la investigación concuerdan con Torres-Sombra y García-Salazar, (2015) quienes hallaron que ante una disminución de 10% del agua disponible en las presas del norte de Sinaloa, el sector más afectado fue la agricultura, pues la demanda de agua en este sector disminuyó en 10.5 y 8.7% para los distritos de riego DR075 y DR076. Los demás sectores considerados en su estudio (residencial, industrial, comercial y pecuario) no tuvieron cambios significativos. La diferencia en magnitudes podría deberse a que Sinaloa tiene mayor producción agrícola y por ende el uso de agua es más intensivo en este sector.

La declinación del consumo de agua por sector consumidor y por municipio, obedeció a un incremento en la tarifa del agua, por ejemplo, en el residencial osciló entre 0.22 y 0.51%, en el comercial de 0.06 y 0.59% y en el industrial de 0.05 y 0.40%, es por eso que el consumo en estos sectores casi permaneció constante ante una reducción en la oferta de agua del 10%. Mientras que en el sector agrícola del municipio de Mexicali la tarifa subió de 0.20 a 0.24 pesos por m<sup>3</sup> (20% respecto al modelo base) y en Slrc el cambio fue de 0.19 a 0.23 pesos por m<sup>3</sup> (21% respecto al modelo base). Similarmente, para el sector pecuario de Mexicali y Slrc la tarifa aumentó de 0.19 a 0.23 pesos por m<sup>3</sup> (23% respecto al modelo base) (Cuadro 3.2).

Los resultados encontrados indicaron que ante una reducción en la oferta de agua, el sector agrícola y pecuario son los más afectados tanto en consumo como en tarifa, pues el consumo bajó en mayor proporción que en resto de los sectores analizados a causa de un incremento en la tarifa. Esto es así, porque el agua en el sector agropecuario tiene menor valor de uso como lo confirman otros autores (Torres-Sombra y García-Salazar, 2015; Ghosh *et al.*, 2017).

El PIB del estado de Baja California en 2019 fue de 575.8 mil millones de pesos constantes de 2013, de los cuales las actividades primarias, secundarias y terciarias aportaron 15.5, 221.2 y 339.1 mil millones, respectivamente (INEGI, 2020c). De acuerdo al consumo de agua, el sector primario es el sector que más agua consume pero es el que menos aporta al PIB de la entidad, los otros sectores no agrícolas consumen menos agua pero son los de mayor participación en el PIB, por lo tanto, en una situación de

escasez o reducción de agua de los acuíferos, el agua extraída se asignaría en aquellos sectores con mayor valor de uso del agua (Ghosh *et al.*, 2017).

Siguiendo esta línea, en el caso de los municipios de Baja California, es posible que haya una transferencia de agua del municipio de Mexicali con vocación agrícola hacia Tijuana por el dinamismo en actividades del sector comercial, industrial y residencial. La reasignación de agua entre sectores, puede beneficiar algunos y perjudicar a otros (Miranda-Trejo *et al.*, 2015; Elbakidze *et al.*, 2018). En los municipios analizados, el beneficiado podría ser Tijuana y el perjudicado sería Mexicali y Slrc, para evitar esta situación se recomendaría a los que toman decisiones que tienen que ver con el agua considerar regulaciones y restricciones para transferir el agua de un sector a otro, también se podría realizar un estudio que determine el consumo óptimo de agua en el sector agrícola de Mexicali y ese sería el límite de la transferencia de agua hacia los sectores residencial, comercial e industrial de Tijuana. Dado lo anterior, es evidente entonces que faltaría más investigación al respecto.

Disminuir la sobre explotación de los acuíferos o aguas subterráneas es deseable por un lado para evitar problemas como los que describieron Mayta y Durán (2015) y por otro lado, poner en riesgo el crecimiento de sectores económicos que sostienen a un país o un estado. Por lo tanto, lograr disminuir la demanda de agua en los sectores con mayor consumo de agua como el agrícola en los municipios de Mexicali y Slrc es un camino viable, dado que dichos municipios fueron los que más agua consumen, los que menos abonan al PIB y además pagan un tarifa baja por el agua, así pues, es factible aumentar la tarifa en 21% como se indicó en este trabajo e incluso el porcentaje podría ser mayor, considerando la sobre explotación de los acuíferos.

De acuerdo con García-Salazar *et al.* (2006), el aumento de tarifa en el sector agrícola podría lograrse eliminando o reduciendo los subsidios que tienen en este sector, por ejemplo, aumentar la tarifa de la energía eléctrica principal insumo para bombear agua; por el lado de la demanda, se podría modificar el patrón de cultivos por otros menos demandantes de agua, debido al aumento en la tarifa se fomentaría un ahorro de agua por parte de los agricultores, ya que introducirían tecnología en los cultivos y en su riego. En este rubro, García-Salazar *et al.* (2006) y Torres-Sombra y García-Salazar (2015)

indicaron aumentos en la tarifa en el sector agrícola de 98.6% para disminuir 10% las extracciones de agua en el caso de la Comarca Lagunera y de 70 y 82.7% en el norte de Sinaloa, respectivamente. Estos porcentajes son superiores al encontrado, probablemente por la grave escasez de agua que tiene la Comarca Lagunera y Sinaloa. Por los beneficios de ahorro de agua que se tienen al aumentar la tarifa de agua, es recomendable aumentar la tarifa en los municipios analizados, esto para disminuir de manera significativa las extracciones de agua en los acuíferos del Valle de Mexicali y Slrc.

### **3.6 CONCLUSIONES**

El análisis de una reducción de la oferta de agua de los acuíferos analizados provoca aumentos en la tarifa del agua, por ende, el sector agrícola de los municipios de Mexicali y Slrc reduce el consumo en mayor proporción que en los sectores residencial, comercial e industrial del resto de los municipios de Baja California, esto se debe a que el sector agrícola tiene menor valor de uso del agua.

Dada la sobre explotación de los acuíferos de la región y las tarifas bajas que pagan los diferentes usuarios del agua en Mexicali y Slrc, se recomienda emplear la tarifa del agua como mecanismo para disminuir la demanda del recurso y con ello impactar en la disminución del agua extraída.

Considerando la reasignación y el valor de uso del agua entre los sectores consumidores a causa de una disminución en la oferta de dicho recurso, generaría beneficio para los sectores residencial, comercial e industrial de Tijuana, pero perjudicaría al sector agropecuario de Mexicali y Slrc, por tal razón, es recomendable que los tomadores de decisiones en materia de agua consideren alguna regulación o restricción al respecto para no perjudicar al sector agrícola principalmente.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES GENERALES

1. El modelo de ecuaciones simultaneas propuesto para analizar la demanda de agua en el sector residencial como industrial del municipio de Tijuana, permiten observar que la demanda de agua en estos sectores responden de manera inelástica a sus respectivas tarifas, lo que implica aumentar de manera importante las tarifas para poder disminuir la demanda; no obstante, por la escasez de agua presente en el municipio, se recomienda utilizar la tarifa del agua y de la energía eléctrica como medida para disminuir la demanda de agua.
2. La fórmula para estimar el consumo anual de agua en los hoteles de Tijuana, revela que el consumo de agua en Tijuana oscila entre 300 y 460 mil m<sup>3</sup> anuales; sin embargo, un cambio en la estadía de los turistas podría provocar un incremento en la ocupación hotelera y por ende el consumo de agua en estos establecimientos. Por lo tanto, se recomienda al gobierno y a las autoridades encargadas de la gestión del agua en Tijuana, acompañar las inversiones en infraestructura turística con políticas que fomenten la tecnología ahorradora de agua en hoteles y con campañas masivas sobre el cuidado del agua, esto para evitar que la escasez del recurso hídrico provoque daños a los sectores que dependen del agua como el turismo.
3. La regresión lineal múltiple propuesta para analizar qué factores determinan el consumo de agua mensual en los hoteles de Tijuana, indica que la demanda responde de manera inelástica a su respectiva tarifa y que el ingreso de los turistas es el factor que más influye en dicho consumo. Lo anterior implica que, un aumento en el ingreso provocará un mayor consumo de agua en los hoteles, ya que los turistas probablemente emigren de hoteles sencillos a otros con mayor categoría, y pues estos incluyen servicios que conllevan mayor consumo de agua.
4. El análisis de una reducción de la oferta de agua en los acuíferos analizados en este trabajo, arroja una disminución en la demanda y un aumento en la tarifa del agua, el sector agropecuario, especialmente la agricultura es la más afectada al disminuir el consumo de agua en mayor proporción que los sectores residencial, comercial e industrial, atribuible a que el sector agrícola tiene un menor valor de uso del agua.

5. Debido a la sobre explotación de los acuíferos en la región analizada, se recomendaría emplear la tarifa del agua como mecanismo para disminuir la demanda y por ende impactar en la disminución del agua extraída.

6. La reasignación y el valor de uso del agua entre los diferentes sectores consumidores de agua a causa de una disminución de la oferta hídrica, genera beneficios para los sectores residencial, comercial e industrial, pero perjudica al sector agropecuario, por tal razón, es recomendable que los tomadores de decisiones en materia de agua consideren alguna regulación o restricción para no afectar al sector agrícola, por ejemplo, no transferir fuera de la unidad de riego ni a fuentes distintas de las concesiones de origen, es decir, se debe respetar la normatividad de los derechos de explotación, uso o aprovechamiento del agua que están amparados por un certificado. En caso de transferir los derechos del uso del agua a terceros, debe hacerse con apego a lo que dictan las leyes de aguas nacionales y su reglamento.

## LITERATURA CITADA

Aguilar, Z. J. 2017. *El papel de la violencia y de la inseguridad como ralentizadores de la actividad turística en la ciudad de Tijuana, Baja California*. (tesis de maestría). Universidad Autónoma de Baja California, Tijuana, Baja California. 140 p. Disponible en: <https://repositorioinstitucional.uabc.mx/bitstream/20.500.12930/5588/1/TIJ129442.pdf>

Artal, T. A., García, S. A., Navarro, A. J. M. 2011. Duración de la estancia, características del destino y perfil del turista de litoral: análisis mediante modelos de regresión de Poisson. *Papers de Turisme*. 49-50: 105-119. Disponible en: <http://www.papersdeturisme.gva.es/ojs/index.php/Papers/issue/view/27>

Ashoori, N., Dzombak, D. A., Small, M. J. 2017. Identifying water tariff and population criteria for meeting future urban water demand targets. *Journal of Hydrology*. 555: 547-556. doi: 10.1016/j.jhydrol.2017.10.047

Ayala, E. B. D., Cabrera, T. C. F. 2021. La importancia de la economía del agua. *RD-ICUAP*. 7(21): 78-91. Disponible en: <http://rd.buap.mx/ojs-dm/index.php/rdicuap/article/view/630>

Barkley, A., Barkley, P. W. 2013. *Principles of agricultural economics*. Routledge. United States of America. 351 p. Available in: [https://zalamasyah.files.wordpress.com/2018/02/2-principles-of-agricultural-economics\\_andrew-barkley-paul-w-barkley.pdf](https://zalamasyah.files.wordpress.com/2018/02/2-principles-of-agricultural-economics_andrew-barkley-paul-w-barkley.pdf)

Camacho, M. P. 2010. *Los sistemas de información geográfica como herramientas para el diagnóstico integral y el mejoramiento de la operación del distrito de riego 014 Río Colorado, B. C. y Son.* (Tesis de maestría). Colegio de Postgraduados, Montecillo, Texcoco, Estado de México. 133 p. Disponible en: <http://colposdigital.colpos.mx:8080/xmlui/handle/10521/216>

Castro, R. J. C., Cruz, G. F. V., Magaña, Z. J. D., Martínez, A. G., Reyes, M. A., Sainz, Z. R. O. 2017. La demanda del agua y su asignación eficiente en la agricultura: un caso en Guanajuato, México. *Economía Coyuntural*. 2: 145-180. Disponible en: [http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S2415-06222017000200005&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S2415-06222017000200005&script=sci_arttext)

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

CEABC (Comisión Estatal del Agua de Baja California). 2017. Informe mensual diciembre 2017. Disponible en: <http://www.cea.gob.mx/documents/indicadores/CIERRE%20DE%20INDICADORES%202017.pdf>

CEABC (Comisión Estatal del Agua de Baja California). 2018. Programa hídrico del Estado de Baja California. Disponible en: <http://www.cea.gob.mx/phebc/resejec/RESUMEN%20EJECUTIVO%20PHEBC.pdf>

CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe). 2020. Evaluación de los efectos e impactos de la pandemia de COVID-19 sobre el turismo en América Latina y el

Caribe: aplicación de la metodología para la evaluación de desastres (DaLA). Disponible en: <https://www.cepal.org/es/publicaciones/46551-evaluacion-efectos-impactos-la-pandemia-covid-19-turismo-america-latina-caribe>

CESPT (Comisión Estatal de Servicios Públicos de Tijuana). 2019. Historia del agua en Tijuana. Disponible en: <https://www.cespt.gob.mx/culturaagua/articulos.html>

CESPT (Comisión Estatal de Servicios Públicos de Tijuana). 2020. Tarifas. Disponible en: <https://www.cespt.gob.mx/ServTarifas/Tarifas.aspx>

CESPT (Comisión Estatal de Servicios Públicos de Tijuana). 2021. Tarifas. Disponible en: <https://www.cespt.gob.mx/servicioscespt/tarifas.aspx>

CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). 2015. Actualización de la disponibilidad media anual de agua en acuífero Tijuana (0201), Estado de Baja California. Disponible en: [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. Disponible en: <https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2017/05/atlas-del-agua-en-mexico-2016.pdf>

CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). 2018. Estadísticas del agua en México, edición 2018. Disponible en: [http://sina.conagua.gob.mx/publicaciones/EAM\\_2018.pdf](http://sina.conagua.gob.mx/publicaciones/EAM_2018.pdf)

CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). 2019. Acuíferos por región hidrológico-administrativa. Disponible en: <http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=acuiferos&ver=reporte>

CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). 2020. Disponibilidad por acuíferos. Disponible en: [https://sigagis.conagua.gob.mx/gas1/sections/Disponibilidad\\_Acuiferos.html](https://sigagis.conagua.gob.mx/gas1/sections/Disponibilidad_Acuiferos.html)

CONAGUA (Comisión Nacional del Agua). 2021. Recaudación de la conagua. Disponible en: <http://sina.conagua.gob.mx/sina/tema.php?tema=recaudacion&ver=mapa&o=0&n=nacional>

CONAPO (Consejo Nacional de Población). 2018. Proyecciones de la Población de México y de las Entidades Federativas, 2016-2050. Disponible en: <https://datos.gob.mx/busca/dataset/proyecciones-de-la-poblacion-de-mexico-y-de-las-entidades-federativas-2016-2050>

Cota-Verdugo, L. F., Beltrán-Morales, A., Troyo-Diéguez, E., García-Hernández, J. L., Beltrán-Morales, L. F., Hernández-Trejo, V. Á., Ortega-Rubio, A., Navarro, B. A. 2013. Mercado de derechos de agua para uso agrícola en el noroeste de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 4: 63-75. Disponible en: <https://cienciasagricolas.inifap.gob.mx/index.php/agricolas/article/view/1259/1111>

Cruz, V. M. Á., Agatón, L. D. 2019. La economía circular y el suministro de agua para las empresas de hospedaje en Acapulco, Guerrero; México. *Revista Observatorio de la*



*Economía Latinoamericana*. 2019: 1-15. Disponible en: <https://www.eumed.net/rev/oel/2019/08/empresas-hospedaje-mexico.html>

Deyà-Tortella, B., Garcia, C., Nilsson, W., Tirado, D. 2016. The effect of the water tariff structures on the water consumption in Mallorcan hotels. *Water Resources Research*. 52 (8): 6386-6403. doi: 10.1002/2016WR018621

Elbakidze, L., Vinson, H., Cobourn, K., Taylor, R. G. 2018. Efficient groundwater allocation and binding hydrologic externalities. *Resource and Energy Economics*. 53: 147-161. doi: 10.1016/j.reseneeco.2018.05.002.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2013. Captación y almacenamiento de agua de lluvia: opciones técnicas para la agricultura familiar en América Latina y el Caribe. Disponible en: [http://www.fao.org/fileadmin/user\\_upload/AGRO\\_Noticias/docs/captacion\\_agua\\_de\\_lluvia.pdf](http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/AGRO_Noticias/docs/captacion_agua_de_lluvia.pdf)

Gabarda, M. A., Ribas, P. A., Daunis-i-Estadella, J. 2015. Desarrollo turístico y gestión eficiente del agua. Una oportunidad para el turismo sostenible en la Costa Brava (Girona)". *Investigaciones Turísticas*, 9: 50-69. doi: 10.14198/INTURI2015.9.03

Gabarda-Mallorquí, A., Garcia, X., Ribas, A. 2017. Mass tourism and water efficiency in the hotel industry: A case study. *International Journal of Hospitality Management*. 61: 82-93. doi: 10.1016/j.ijhm.2016.11.006

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. Disponible en: <http://www.colpos.mx/agrocien/Bimestral/2006/mar-abr/art-12.pdf>

Ghosh, S., Ibararán, M. E., Willett, K. D., Sanchez T, E., G. 2017. Water allocation and management along the Santa Cruz border region. *Water Resources and Economics*. 19: 1-17. doi: 10.1016/j.wre.2017.09.004.

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: 337-342. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/573/57325814005.pdf>

Gössling, S., Peeters, P., Hall, C. M., Ceron, Jean-Paul., Dubois, G., Lehmann, L. V., Scott, D. 2012. Tourism and water use: Supply, demand, and security. An international review. *Tourism Management*. 33(1): 1-15. doi: 10.1016/j.tourman.2011.03.015

Gujarati, D. N. y Porter, D. C. 2010. *Econometría*. (5ta. Ed.), McGraw-Hill. Distrito Federal. 921 p.

Guzmán, S. E., De la Garza, C. M. T., Hernández, M. J., Rebollar, R. S., González, R. F. J., García, S. J. A. 2010. Análisis econométrico sobre el consumo de agua subterránea por el sector agropecuario en Guanajuato, México. *CIENCIA ergo sum*. 17(2): 159-164. Disponible en: <https://cienciaergosum.uaemex.mx/article/view/7428/5980>

- Guzmán, S. E., García, S. J. A., Rebollar, R. S., Hernández, M. J. 2011. Determinantes del consumo de agua por los sectores urbanos e industriales en Guanajuato, México. *Análisis Económico*. 26(63): 199-213. Disponible en: <http://www.analisiseconomico.azc.uam.mx/index.php/rae/article/view/223/214>
- Huaquisto, C. S., Chambilla, F. I. G. 2019. Análisis del consumo de agua potable en el centro poblado de Salcedo, Puno. *Investigación & Desarrollo*. 19(1): 133-144. doi: 10.23881/idupbo.019.1-9i
- IMPLAN (Instituto Metropolitano de Planeación). 2019. Tijuana ¿Cómo estamos? Disponible en: <https://implan.tijuana.gob.mx/indicadores/territorio.aspx>
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2020a. Encuesta Nacional de Ocupación y Empleo (ENOE), Población de 15 años y más de edad. Disponible en: <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. Disponible en: <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). Disponible en: <https://www.inegi.org.mx/app/indicadores/?tm=0>
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2021a. México en cifras. Disponible en: <https://www.inegi.org.mx/app/areasgeograficas/?ag=02>
- INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía). 2021b. Censos económicos 2019. Disponible en: [https://www.inegi.org.mx/programas/ce/2019/#Datos\\_abiertos](https://www.inegi.org.mx/programas/ce/2019/#Datos_abiertos)
- 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
- Kawaguchi, T., Suzuki, N., Kaisier, H. M. 1997. A Spatial Equilibrium Model for Imperfectly Competitive Milk Markets. *American Journal of Agricultural Economics*. 79: 851-859. doi: 10.2307/1244426.
- 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
- Mayta, A., Durán, A. 2015. Sobre-explotación de aguas subterráneas en Punata: causas y efectos. Reporte de investigación. Disponible en:

<https://dokumen.tips/documents/sobre-explotacion-de-aguas-subterrneas-en-punata-causas-punata-con.html>

Miranda-Trejo, M., Ocampo-Fletes, I., Escobedo-Castillo, J. F., Hernández-Rodríguez, M. L. 2015. La distribución del agua potable en Tepexi de Rodríguez, Puebla. *Agricultura, sociedad y desarrollo*. 12: 261-277. Disponible en: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1870-54722015000300001](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-54722015000300001)

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. Disponible en: <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*. 17(33): 53-82. doi: 10.21670/ref.2016.33.a03

Noya, D. E. M., Hernández, P. N. J. 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

Olcina, J., Saurí, D., Vera-Rebollo, J. F. 2016a. Turismo, cambio climático y agua: escenarios de adaptación en la costa mediterránea española. En Olcina, C. J., Rico, A. A. M. (Coords.). *Libro Jubilar en Homenaje al Profesor Antonio Gil Olcina. Edición Ampliada*. Instituto Interuniversitario de Geografía y Universidad de Alicante, Universidad de Alicante, San Vicent del Raspeig. 171-193 p. doi: 10.14198/LibroHomenajeAntonioGilOlcina2016-13

Olcina, C. J., Baños, C. C. J., Rico, A. A. M. 2016b. Medidas de adaptación al riesgo de sequía en el sector hotelero de Benidorm (Alicante, España). *Revista de Geografía Norte Grande*. 65: 129-153. doi: 10.4067/S0718-34022016000300007

Palacios-Vélez, O. L., Escobar-Villagrán, B. S. 2016. La sustentabilidad de la agricultura de riego ante la sobreexplotación de acuíferos. *Tecnología y Ciencias del Agua*. 7: 5-16. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/tca/v7n2/2007-2422-tca-7-02-00005.pdf>

Periódico Oficial de Baja California. 2021. Portal de Gobierno del Estado de Baja California. Disponible en: [https://www.bajacalifornia.gob.mx/Gobierno/Periodico\\_Oficial](https://www.bajacalifornia.gob.mx/Gobierno/Periodico_Oficial)

R Core Team. 2021. *R: a language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Viena. Disponible en: <https://www.R-project.org/>

Renzetti, S. 2015. Non-household Water Demand: The Industrial and Commercial Sectors. En: 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: 237-310 p. Springer, London, England. 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

Ruiz, L. A., Amador, B. J. E. 2018. El consumo de agua de turistas en hoteles comparado con el consumo de agua de residentes en hogares caso: Guanajuato, México. *Revista Turismo y Desarrollo*. 11(24): 1-11. Disponible en: <https://www.eumed.net/rev/turydes/24/agua-turismo.html>

Ruiz-Rosa, C. I., García, R. J. L., Castilla, G. C., Santamarta, C. J. C., Antonova, N. 2019. *Agua y turismo en Tenerife: producción, gestión y consumo*. Universidad de la laguna, Tenerife. 99 p. doi: 10.25145/b.Agua.2020

Santacruz, D. L. E. E., Santacruz, D. L. G. 2020. Consumo de agua en establecimientos hoteleros de México. *Estudios y Perspectivas en Turismo*. 29(1): 120-136. Disponible en: <https://www.estudiosenturismo.com.ar/>

Santacruz, D. L., E. E., Santacruz, D. L. G. 2019. Análisis crítico del consumo de Agua en establecimientos hoteleros de México. *Rosa dos Ventos- Turismo e Hospitalidade*. 11 (3): 664-678. doi: 10.18226/21789061.v11i3p664

SAS (Statistical Analysis System Institute). 2013. *SAS/ETS user's guide, version 9.2*. SAS. North Carolina, United States of America.

Secretaria de Seguridad Ciudadana. 2022. Descarga de incidencia delictiva. Disponible en: <https://www.seguridadbc.gov.mx/contenidos/estadisticas5.php>

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

SECTUR (Secretaría de Turismo). 2021. Compendio estadístico 2020 de la actividad hotelera. Disponible en: <https://datatur.sectur.gob.mx/SitePages/ActividadHotelera.aspx>

SIACON-SIAP (Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta-Sistema de Información Agropecuaria y Pesquera). 2020. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola. Disponible en: <https://www.gob.mx/siap/documentos/siacon-ng-161430>

SMN (Servicio Meteorológico Nacional). 2020. Resúmenes Mensuales de Temperaturas y Lluvia. Disponible en: <https://smn.conagua.gob.mx/es/climatologia/temperaturas-y-lluvias/resumenes-mensuales-de-temperaturas-y-lluvias>

Tamayo, G., J. F., Álamo, B. V. 2016. Mejores prácticas para el uso racional del agua en la industria hotelera de la Riviera Maya, Quintana Roo, México. *Revista Turismo y Desarrollo*. 9(20): 1-15. Disponible en: <https://www.eumed.net/rev/turydes/20/agua.html>

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. Disponible en: <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. Disponible en: <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. Disponible en: [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)

Zegarra, M. E. 2014. *Economía del agua: conceptos y aplicaciones para una mejor gestión*. GRADE. Lima. 221 p. Disponible en: <https://www.grade.org.pe/wp-content/uploads/LIBROGRADEECONOMIAAGUA.pdf>