UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE COAHUILA

CENTRO DE INVESTIGACIONES SOCIOECONÓMICAS

TESIS

TESIS

2014

GREGORIO CASTRO ROSALES

"OFERTA Y DEMANDA DE AGUA URBANA EN MÉXICO: TENDENCIAS Y PATRONES RECIENTES"

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE COAHUILA

CENTRO DE INVESTIGACIONES SOCIOECONÓMICAS

DOCTORADO EN ECONOMÍA REGIONAL

TESIS

OFERTA Y DEMANDA DE AGUA URBANA EN MÉXICO: TENDENCIAS Y PATRONES RECIENTES

Que se presenta como requisito parcial para obtener el grado de Doctor en Economía Regional

Gregorio Castro Rosales

Director:

Dr. Nicholas Philip Sisto X.

Codirector:

Dr. Ismael Aguilar Barajas

Comité Evaluador:

Dr. Alejandro Brugués Rodríguez

Dr. Luis Gutiérrez Flores

Dr. David Castro Lugo

Saltillo, Coahuila, México, Mayo de 2014.

CONTENIDO

ÍNDICE DE CUADROS ..... **iii**

ÍNDICE DE GRÁFICAS ..... **v**

ÍNDICE DE FIGURAS ..... **vii**

1. INTRODUCCIÓN **1**

2. ANÁLISIS ESPACIAL DE LA OFERTA **11**

2.1. Introducción 11

2.2. Revisión de literatura 14

2.3. Metodología 20

2.3.1. La econometría espacial 21

2.3.2. Matriz de contigüidad 22

2.3.3. Análisis exploratorio de datos espaciales 27

2.3.4. Estimación de los determinantes de la oferta 31

2.4. Datos y análisis preliminar 36

2.4.1. Fuentes de información 36

2.4.2. Análisis preliminar 38

2.5. Resultados 47

2.5.1. Análisis exploratorio de datos espaciales 47

2.5.2. Estimación econométrica de los determinantes de la oferta 51

2.6. Análisis e interpretación 57

2.7. Conclusiones 62

3. DEMANDA DE AGUA URBANA **66**

3.1. Introducción 66

3.2. Revisión de literatura 67
3.3. Metodología 73
3.4. Datos y análisis preliminar 81
3.4.1. Fuentes de información 81
3.4.2. Análisis preliminar 82
3.5. Resultados 95
3.5.1. Determinantes de la demanda 96
3.5.2. Determinantes del precio 106
3.6. Análisis e interpretación 112
3.7. Conclusiones 115
4. CONCLUSIONES 120
ANEXOS 129
REFERENCIAS 137

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. 1. Volúmenes de agua destinados a usos consuntivos en el 2013. 4

Cuadro 2. 1. Niveles de acceso al agua, necesidades satisfechas y su relación con la salud... 13
Cuadro 2. 2. Resumen de literatura sobre análisis espacial de la gestión del agua. 19
Cuadro 2. 3. Definición de las variables del modelo de oferta. 32
Cuadro 2. 4. Resumen estadístico de las variables..... 39
Cuadro 2. 5. Matriz de correlación de las variables del modelo de oferta..... 42
Cuadro 2. 6. Índice Global de Moran. 48
Cuadro 2. 7. Resultados de regresión por MCO. Variable dependiente dotación media por habitante al día (l/h/d). 52
Cuadro 2. 8. Diagnóstico de dependencia espacial de los residuos de MCO. 53
Cuadro 2. 9. Coeficientes de los determinantes de la dotación media de agua urbana..... 56

Cuadro 3. 1. Resumen de la literatura sobre demanda de agua. 71
Cuadro 3. 2. Definición de las variables del modelo de demanda total. 76
Cuadro 3. 3. Definición de las variables del modelo de demanda por toma. 78
Cuadro 3. 4. Definición de las variables de la función del precio. 80
Cuadro 3. 5. Resumen estadístico de las variables de los modelos de demanda total y por toma. 83
Cuadro 3. 6. Matriz de correlación entre las variables de los modelos de demanda. 84
Cuadro 3. 7. Resumen estadístico de las variables del modelo del precio. 91
Cuadro 3. 8. Matriz de correlación de las variables del modelo del precio. 93
Cuadro 3. 9. Resultados de regresión por MCO, variable dependiente volumen facturado, forma funcional lineal (véase ecuación (3.2)). 97
Cuadro 3. 10. Resultados de regresión por MCO, variable dependiente volumen facturado, forma funcional lineal logarítmica (véase ecuación (3.3)). 98
Cuadro 3. 11. Resultados de regresión por MCO, variable dependiente volumen facturado, forma funcional logarítmica lineal (véase ecuación (3.4)). 99
Cuadro 3. 12. Resultados de regresión por MCO, variable dependiente volumen facturado, forma funcional doble logarítmica (véase ecuación (3.5)). 100

Cuadro 3. 13. Resultados de regresión por MCO, variable dependiente volumen facturado por toma, forma funcional lineal (véase ecuación (3.6)). 102
Cuadro 3. 14. Resultados de regresión por MCO, variable dependiente volumen facturado por toma, forma funcional lineal logarítmica (véase ecuación (3.7)). 103
Cuadro 3. 15. Resultados de regresión por MCO, variable dependiente volumen facturado por toma, forma funcional logarítmica lineal (véase ecuación (3.8)). 104
Cuadro 3. 16. Resultados de regresión por MCO, variable dependiente volumen facturado por toma, forma funcional doble logarítmica (véase ecuación (3.9)). 105
Cuadro 3. 17. Resultados de regresión por MCO, variable dependiente precio, forma funcional lineal (véase ecuación (3.10)). 108
Cuadro 3. 18. Resultados de regresión por MCO, variable dependiente precio, forma funcional lineal logarítmica (véase ecuación (3.11)). 109
Cuadro 3. 19. Resultados de regresión por MCO, variable dependiente precio, forma funcional logarítmica lineal (véase ecuación (3.12)). 110
Cuadro 3. 20. Resultados de regresión por MCO, variable dependiente precio, forma funcional doble logarítmica (véase ecuación (3.13)). 111
Cuadro 3. 21. Escenarios del consumo de agua en México para el año 2050. 114

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 2. 1. Diferencia entre la dotación media de cada OOAP con respecto a los promedios subregionales y el promedio muestral. 41
Gráfica 2. 2. Diferencia entre la dotación media de cada OOAP perteneciente a la subregión de planeación I.1 con respecto a los promedios subregionales y el promedio muestral. 41
Gráfica 2. 3. Relación entre la dotación media per cápita diaria con la temperatura media anual. 43
Gráfica 2. 4. Relación entre la dotación media per cápita diaria con el nivel de aridez media anual. 44
Gráfica 2. 5. Relación entre la dotación media per cápita diaria con el índice de agua no contabilizada. 45
Gráfica 2. 6. Relación entre la dotación media per cápita diaria con el porcentaje de población atendida. 45
Gráfica 2. 7. Relación entre la dotación media per cápita diaria con el gasto promedio por metro cúbico. 46
Gráfica 2. 8. Relación entre la dotación media per cápita diaria con el nivel de ingreso per cápita. 46

Gráfica 3. 1. Relación entre el volumen facturado y el precio. 85
Gráfica 3. 2. Relación entre el volumen facturado y el ingreso de la localidad. 86
Gráfica 3. 3. Relación entre el volumen facturado y el número de tomas. 86
Gráfica 3. 4. Relación entre el volumen facturado y la temperatura. 87
Gráfica 3. 5. Relación entre el volumen facturado y la aridez. 87
Gráfica 3. 6. Distribución de frecuencias del volumen facturado por toma. 88
Gráfica 3. 7. Relación entre el volumen facturado por toma y el precio. 89
Gráfica 3. 8. Relación entre el volumen facturado por toma y el ingreso anual por toma. 89
Gráfica 3. 9. Relación entre el volumen facturado por toma y la temperatura. 90
Gráfica 3. 10. Relación entre el volumen facturado por toma y la aridez. 90
Gráfica 3. 11. Distribución de frecuencias del precio. 92
Gráfica 3. 12. Relación entre el precio y el gasto por metro cúbico. 93
Gráfica 3. 13. Relación entre el precio y el número de tomas. 94
Gráfica 3. 14. Relación entre el precio y la cobertura de micro-medición. 94
Gráfica 3. 15. Relación entre el precio y el índice de agua no contabilizada. 95

Gráfica 3. 16. Relación del precio promedio por metro cúbico de agua con el nivel de utilidades generadas en los OOAP. 115

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. 1. Localidades urbanas con acuíferos sobreexplotados, 2010. 6
Figura 1. 2. Delimitación geográfica de las RHA. 8

Figura 2. 1. Dotación media de agua urbana (l/h/d) en las localidades urbanas de México, 2010. 12
Figura 2. 2.Criterios de contigüidad física. 23
Figura 2. 3. Diagrama de dispersión de Moran a nivel univariante. 29
Figura 2. 4. Proceso de decisión para la regresión espacial. 35
Figura 2. 5. Diagrama de dispersión de Moran univariante para LHD. 48
Figura 2. 6. Aleatorización del diagrama de dispersión de Moran para LHD. 49
Figura 2. 7. Distribución espacial del contraste local de Moran para la dotación media de agua urbana en México, 2010. 50
Figura 2. 8. Diagrama de dispersión de Moran univariante para los residuos de la estimación por MCO. 54
Figura 2. 9. Aleatorización del diagrama de dispersión de Moran para los residuos de MCO. 54

Figura 3. 1. Demanda y oferta de agua urbana. 74

1. INTRODUCCIÓN

La relevancia de analizar el uso público urbano del agua radica, por un lado, en el hecho de que el crecimiento poblacional de México ha pasado de 81 millones de habitantes en 1990 a 112 millones en 2010. Un incremento absoluto de 31 millones de habitantes en solo 20 años. Es una cantidad de población que es apenas menor que la de Canadá y mayor que las poblaciones actuales de países como Chile, Perú, Australia, Holanda, Suiza y Uruguay, entre otros (Garrocho Rangel, 2013). Esto dimensiona el enorme reto de proporcionar los servicios básicos, como el acceso al agua, que implica este vertiginoso aumento poblacional del país (CONAGUA, 2011). Por otro lado, la distribución geográfica de la población ha pasado de una proporción urbana del 43% en 1950 (INEGI, 1953), a una del 77% en el 2010 (INEGI, 2011). Esto habla de una importante concentración de la población en las ciudades. Al respecto, el Consejo Nacional de Población (CONAPO, 2012a) ha identificado 384 ciudades de más de 15 mil habitantes que concentran el 72% de la población total del país, de las cuales 59 son consideradas zonas metropolitanas y dentro de estas existen once que rebasan el millón de habitantes (CONAPO, 2012b). Esto muestra evidencia de la eminente estructura urbana que predomina en el país y las consecuentes dificultades que conlleva para la gestión del agua.

El crecimiento y concentración de la población en las ciudades es un fenómeno inevitable, por diversas razones, pero la principal radica en el hecho de que las ciudades son los motores de crecimiento económico (BM, 2010). En ellas se ejercen las denominadas economías de aglomeración y sus consecuentes mecanismos que propician el desarrollo. Sin embargo, se debe tener en cuenta que los beneficios de esta concentración poblacional tienen un límite (Garrocho Rangel, 2013), lo que implica la necesidad de pensar en un umbral óptimo del tamaño de las ciudades para garantizar, tanto la dinámica creciente de la economía, así como el bienestar de sus habitantes (Richardson, 1986). No obstante, como lo señala el Banco Mundial (2010), el paradigma actual no consiste en tratar de detener la urbanización, al contrario, se trata de hacer sinergia para aprovechar las oportunidades que brinda este fenómeno, para tratar de abatir los rezagos que perjudican el bienestar social.

En este contexto el agua urbana se vuelve, además de un recurso vital, un recurso estratégico para la economía y el bienestar social. Como señala Aguilar Benítez (2011), una adecuada infraestructura del agua favorece las oportunidades de inversión y desarrollo en las ciudades, así como también contribuye a reducir los problemas de salud asociados a la falta de acceso en cantidades suficientes para cubrir las necesidades principales.

Por otra parte, la dinámica poblacional representa impactos significativos en la gestión ambiental e institucional del agua. Por un lado, el simple aumento de la población implica una mayor demanda de agua y aunado a una creciente concentración en las ciudades –las que por cierto, como lo señala Bunge (2010a), en su mayoría se localizan en las zonas norte y centro del territorio mexicano que se caracterizan por ser las zonas de menor disponibilidad natural de agua– se hace cada vez más complicado contar con la infraestructura física e institucional suficiente para brindar el servicio. Además, señala que aumenta la falta de coordinación por parte de las autoridades encargadas de dicha gestión, como consecuencia de la aparición de zonas metropolitanas derivadas de este crecimiento de las ciudades.

Mientras que por otro lado, como lo señala Ruiz Bedolla (2010), existen otros factores inherentes a la población y que pueden incidir en los niveles de consumo de agua. Principalmente, el nivel de riqueza y la cultura representada por los patrones de consumo de este recurso, que pueden ayudar a explicar por qué existen regiones que enfrentan problemas de acceso al agua cuando el crecimiento de la población no es la respuesta más lógica.

Otro factor que limita la disponibilidad del agua es la contaminación de los cuerpos de agua, pues de acuerdo con Bunge (2010a) gran parte de las fuentes superficiales, que representan el 82% del agua renovable total del país, es de mala calidad debido a las descargas residuales sin tratamiento que se depositan en ellas. Es por ello que el agua para el uso urbano proviene mayormente de fuentes subterráneas, que son de mejor calidad, sin embargo, el resto de usos consuntivos también recurren a esta fuente, ejerciendo así una mayor presión sobre los acuíferos.

Los diversos usos del agua se pueden agrupar en consuntivos y no consuntivos. Los primeros implican la alteración tanto de su calidad como de su cantidad, mientras que los segundos no involucran ninguna modificación. En México, la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) a través del Registro Público de Derechos de Agua (REPDA) los agrupa en doce categorías (ver Anexo 1). Solamente la generación de energía eléctrica representa un uso no consuntivo. Los consuntivos, a su vez, se clasifican en tres grandes grupos: el agrícola; el de abastecimiento público; y el de la industria autoabastecida. Entre éstos se reparten cinco, dos y cuatro clases de uso, respectivamente.

Todos los usos son importantes, sin embargo, el uso público urbano es el que posee una relación más directa con los usuarios. La Ley de Aguas Nacionales (2011) se refiere a éste como *"la aplicación de agua nacional para centros de población y asentamientos humanos a través de la red municipal"* y que tiene por objetivo abastecer a los usuarios domésticos, industriales, comerciales y demás servicios conectados a dicha red (CONAGUA, 2011a). Es decir, se trata de abastecimiento para las necesidades más vitales y cotidianas de la población. El acceso al agua para cubrir dichas necesidades se convierte, respecto a los demás usos, en un objetivo primordial en el manejo del recurso.

Es necesario subrayar que éste se refiere a diversos tipos de consumo y no sólo al residencial. Dado que muchos de los trabajos previos se han concentrado principalmente sobre éste último, ello podría dar lugar a la confusión de que ambos usos son uno sólo. El residencial es parte del uso público urbano. También es importante señalar que el carácter urbano se refiere a la asignación de agua para localidades mayores a 2,500 habitantes, de conformidad con el criterio de clasificación de localidades urbanas del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI).

En el Cuadro 1.1 se observa que del volumen concesionado para usos consuntivos proveniente de fuentes subterráneas, el destinado al uso público urbano (23.3%) es prácticamente una cuarta parte del total, que a su vez representa el 61% del agua destinada a éste. Esto quiere decir que el uso público urbano representa un

volumen significativo de consumo respecto al total y más relevante aún es su alta dependencia de las condiciones naturales y de gestión de los acuíferos.

Cuadro 1. 1. Volúmenes de agua destinados a usos consuntivos en el 2013.

Uso	Volúmenes de extracción concesionados							
	Aguas superficiales		Aguas subterráneas		Porcentaje por tipo de fuente		Total	
	Millones de m3/año	%	Millones de m3/año	%	Superficial	Subterránea	Millones de m3/año	%
Agrícola	39,937	80.78	21,620	69.25	64.88	35.12	61,557	76.32
Público Urbano	4,704	9.52	7,277	23.31	39.26	60.74	11,981	14.85
Otros	4,796	9.70	2,324	7.44	67.36	32.64	7,121	8.83
Total	**49,437**	**100.00**	**31,222**	**100**	**61.29**	**38.71**	**80,659**	**100**

Fuente: Información al 31 de enero del 2013 del Registro Público de Derechos de Agua (REPDA).

Bunge (2010a) y la CONAGUA (2011a) señalan la gran disparidad existente en la disponibilidad natural del agua en el territorio de México. Hay lugares en los que la precipitación media anual es menor a 500 mm y otras en las que es superior a los 2,000 mm. En este contexto, Garrocho Rangel (2013) plantea que se dan dos paradojas. Una económica, porque en las zonas de baja precipitación y por ende de baja disponibilidad natural, es donde se concentra el mayor número de ciudades, población y actividades económicas, que además tienen una cobertura de acceso al servicio muy alta. La otra es la social, debido a que en las regiones de mayor abundancia natural es donde se registra un mayor número de personas sin acceso al servicio de agua potable. A pesar de ser zonas de baja densidad poblacional. De esto extrae dos importantes conclusiones. Primero, señala que la magnitud poblacional no se relaciona con la disponibilidad del agua. Segundo, que la abundancia de agua tampoco está relacionada con la disponibilidad social al agua potable.

En este contexto, resulta importante analizar la condición de sobreexplotación en la que se encuentran los acuíferos de los que se abastecen las localidades urbanas del país. Pare ello se considera que si el valor de la razón entre volumen de extracción y el volumen de recarga del acuífero es mayor a uno, el acuífero está siendo

sobreexplotado, en tanto que un valor inferior significa lo contrario y un valor igual a uno implica un manejo equilibrado (Bunge, 2010b).

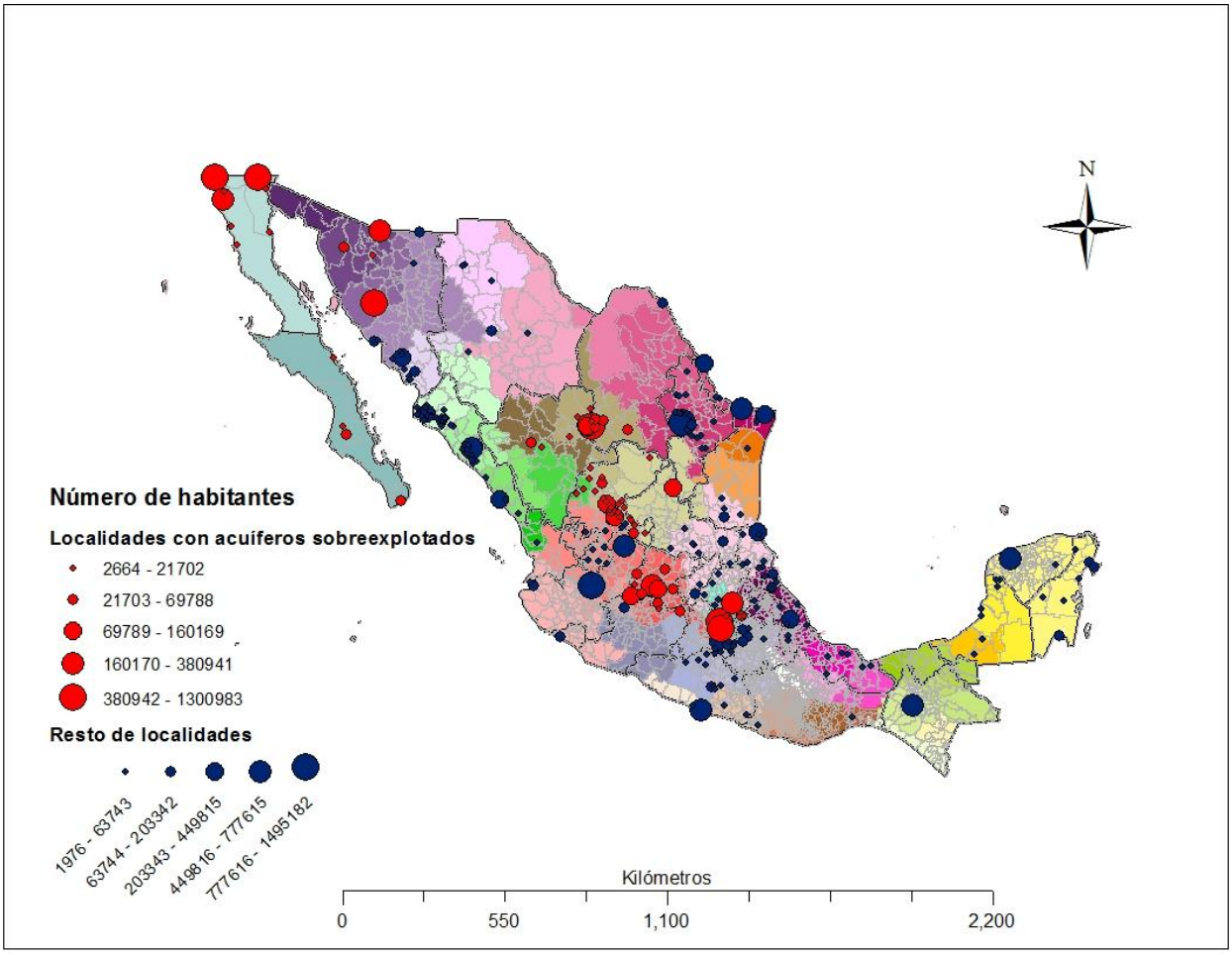
En el mapa de la Figura 1.1 se puede observar una muestra de localidades urbanas simbolizadas por círculos, cuya dimensión es proporcional a cada uno de los cinco rangos de población en que se estratificó el número de habitantes. Las de color rojo representan las localidades urbanas que se abastecen de acuíferos sobreexplotados. Las de color azul, consecuentemente, representan aquellas localidades que se abastecen de acuíferos subexplotados o en equilibrio. De esta manera, el mapa muestra que efectivamente las ciudades más pobladas y con mayores problemas en el manejo de sus respectivos acuíferos, se ubican en la parte norte y centro del territorio nacional.

Por otra parte, se debe tener en cuenta que este mapa es solo una muestra de 232 ciudades provenientes de la base de datos que se va a utilizar en este trabajo, de manera que puede haber un mayor número de ciudades en condiciones de sobrexplotación de sus acuíferos. Asimismo, también se debe señalar que en este mapa no se registran los casos de localidades que enfrentan problemas de intrusión marina en sus acuíferos. De manera que el problema de disponibilidad de agua subterránea puede ser peor para algunas localidades, o puede haber localidades que, bajo los criterios de este mapa, muestran buenas condiciones de sus acuíferos, cuando en realidad pueden estar enfrentando problemas de intrusión marina. No obstante estas limitaciones de representación, su alcance es ampliamente suficiente para ilustrar la situación general de las fuentes subterráneas de abastecimiento para las ciudades, pues coincide ampliamente con lo descrito en los estudios que se han citado al respecto.

El número importante de localidades urbanas en condiciones de sobreexplotación de sus acuíferos, no indica otra cosa más que en México la provisión del servicio de agua potable, en general, se encuentra en crisis (Barkin, 2006, Consejo Consultivo del Agua, 2010). Esto puede ser por la falta de visión de las autoridades encargadas de proveerlo y gestionarlo, ya que ante el inminente desarrollo urbano del país, aún no se cuenta con una adecuada planeación de las ciudades (Garrocho Rangel, 2013). Por lo que Satterthwaite (2007) señala que los problemas asociados al

crecimiento de las ciudades no se derivan del crecimiento *per se*, sino por la falta de capacidad de las instituciones locales, regionales y nacionales para afrontar los retos del rápido proceso de urbanización.

Figura 1. 1. Localidades urbanas con acuíferos sobreexplotados, 2010.



Nota: los colores delimitan las 61 subregiones de planeación que conforman las 13 regiones hidrológico administrativas en que se divide el territorio.
Fuente: elaboración propia con base en la información de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) y la cartografía de la Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad (CONABIO), así como la del Marco Geoestadístico Nacional. Disponibles en:
http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/?vns=gis_root/hidro/chidro/rha250kgw
http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/geoestadistica/M_Geoestadistico.aspx.

A partir de lo expuesto hasta aquí se puede conjeturar que uno de los principales problemas que enfrenta el país, en materia de agua urbana, está en la estructura y

eficiencia del aparato institucional, responsable de llevar a cabo las acciones encaminadas para brindar el servicio.

Institucionalmente, en México, el agua es un recurso propiedad de la nación. La autoridad encargada de su administración es el poder ejecutivo federal, quien ejerce esta responsabilidad de manera directa o a través de la CONAGUA, que es un órgano administrativo desconcentrado de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). La CONAGUA tiene como objetivo, entre otros, formular la política hídrica nacional y proponerla al ejecutivo federal a través de la SEMARNAT, así como ponerla en marcha y evaluar el desempeño de dicha política. Para ejercer estas atribuciones la CONAGUA se organiza en dos niveles, el nacional y el regional hidrológico administrativo (RHA).

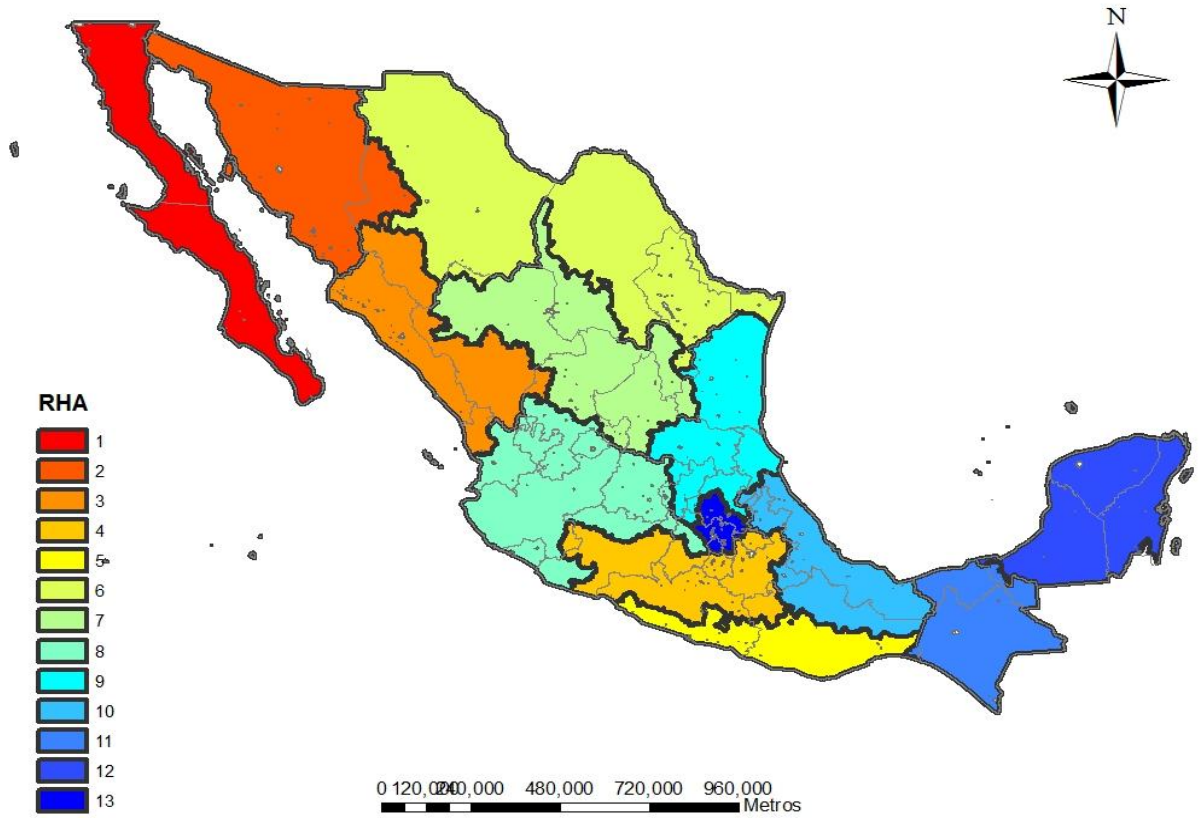
Según la Ley de Aguas Nacionales una RHA es un *"Área territorial definida de acuerdo con criterios hidrológicos, integrada por una o varias regiones hidrológicas, en la cual se considera a la cuenca hidrológica como la unidad básica para la gestión de los recursos hídricos y el municipio representa, como en otros instrumentos jurídicos, la unidad mínima de gestión administrativa"*. Las RHA en que se ha dividido el territorio mexicano son trece y tal como lo señala su definición, éstas se someten a los límites municipales con la finalidad de relacionar la información socioeconómica con la situación de los recursos hídricos. En la Figura 1.3 se puede observar la delimitación geográfica de las RHA en el territorio nacional.

El aprovechamiento del agua se lleva a cabo mediante títulos de concesión o asignación autorizados por el ejecutivo federal a través de la CONAGUA. Las concesiones se le otorgan tanto a personas físicas o morales y a dependencias descentralizadas de los tres niveles de gobierno. Mientras que las asignaciones se dan solamente a los municipios o entidades federativas, con el propósito de atender el uso público urbano y el doméstico (hay que recordar las categorías de usos establecidas en el REPDA). Estos títulos de aprovechamiento que se entregan a los distintos usuarios sugieren un pago por concepto de derechos de extracción. El cobro está estipulado en la Ley Federal de Derechos (LFD), donde se establecen los montos de acuerdo al volumen y a la zona de extracción. Para establecer el monto del cobro, la LFD estipula nueve zonas que agrupan a la totalidad de municipios del país, estableciendo

generalmente un precio mayor, por metro cúbico, en las zonas de menor disponibilidad natural.

De esta manera, en el artículo 115 de la constitución de los Estados Unidos Mexicanos está establecido que la provisión del servicio de agua potable, alcantarillado y saneamiento es responsabilidad de los municipios de manera autónoma, pero sin dejar de apegarse a las leyes estatales y federales. Los municipios crean los Organismos Operadores de Agua Potable (OOAP) para atender el servicio de abasto, saneamiento y alcantarillado. Pueden formar parte completamente del gobierno municipal o estar concesionados parcialmente a empresas privadas con fines de lucro (Fondo para la Comunicación y la Educación Ambiental A. C.).

Figura 1. 2. Delimitación geográfica de las RHA.



Fuente: elaboración propia con base en la cartografía de la Comisión Nacional para el Conocimiento y uso de la Biodiversidad (CONABIO), así como la cartografía del Marco Geoestadístico Nacional, disponibles en:
http://www.conabio.gob.mx/informacion/gis/?vns=gis_root/hidro/chidro/rha250kgw
http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/geoestadistica/M_Geoestadistico.aspx .

Es importante mencionar que si bien los OOAP son entidades paramunicipales, su alcance en la práctica no necesariamente es municipal, ya que generalmente un organismo se limita a atender una sola localidad o asentamiento humano, por lo que puede haber más de un organismo dentro de un municipio, o al contrario, puede haber organismos que atiendan localidades de más de un municipio, como es el caso de la zona metropolitana de Monterrey, que son atendidos por Servicios de Agua y Drenaje de Monterrey, es decir, por un sólo organismo.

Dadas estas condiciones y características del manejo institucional del agua, los OOAP son el objeto de estudio de este trabajo, ya que son las entidades que se encargan de extraer el agua del medio ambiente y entregarla mediante una red de distribución a los diferentes usuarios. De modo que su desempeño y su entorno determinan, en gran medida, los problemas de escasez que pudieran presentarse en las localidades que atienden.

Desde el punto de vista económico, la visión del agua como un recurso escaso es un paradigma relativamente reciente. Como señala Aguilera Klink (2006), en un principio, el manejo de los recursos hídricos fue orientado hacia la oferta, es decir, el reto principal para el abasto era mejorar la infraestructura de aprovechamiento y explotación. Esta tendencia fue haciendo que cada vez se recurriera a fuentes de abastecimiento más lejanas y de difícil acceso. Ahora el enfoque se ha centrado sobre el análisis de la demanda, tratando de entender el comportamiento de los usuarios y evaluando diversos instrumentos económicos que pudieran ayudar al diseño de políticas que contribuyan a un uso más eficiente.

A partir de esta tendencia reciente de los estudios económicos sobre el agua, se ha desarrollado una amplia literatura tanto teórica como empírica acerca de los instrumentos económicos que pueden ayudar a un mejor manejo del agua urbana. La mayoría de estos trabajos se han centrado en el análisis de la demanda de agua residencial, poniendo énfasis en las elasticidades precio e ingreso de la demanda. En el caso de México también ha habido un amplio desarrollo de estudios al respecto. Sin embargo, existen pocos trabajos que han analizado la oferta y más concretamente, trabajos que hayan analizado tanto la oferta como la demanda de agua urbana de manera conjunta. De modo que en este trabajo se propone hacer ambos análisis.

La hipótesis que rige a este trabajo es que tanto la oferta como la demanda de agua urbana tienen estructuras y regularidades que se pueden identificar mediante el análisis estadístico de los datos que publica la CONAGUA acerca del desempeño de los OOAP. A partir de esto, los objetivos son los siguientes. Para la oferta se pretende averiguar acerca de los factores que la determinan, así como evaluar si existe autocorrelación espacial entre los distintos organismos operadores. Mientras que para la demanda se pretende estimar una función de demanda total y una función de demanda por toma. Además, se pretende explorar acerca de los determinantes del precio promedio que cobra cada organismo.

La justificación para este análisis se basa en dos aspectos, las implicaciones de política pública y el académico. En cuanto al primero, identificar estadísticamente las tendencias y patrones que guardan los OOAP permitirá tener una mayor perspectiva sobre la problemática que se tiene en materia del manejo del agua urbana, por lo que para el diseño de políticas referentes al tema se podrán tomar decisiones de manera más informada. En cuanto al segundo aspecto resulta importante evaluar lo que se ha hecho previamente en la literatura sobre el tema, como los es el análisis de la demanda normalizada por el número de tomas, así como proponer nuevas vías de análisis, en este caso la estimación de una función de demanda total, el análisis espacial de la oferta y sus determinantes y la propuesta de una función del precio, para la que por cierto no hay evidencia teórica ni empírica de una propuesta previa a la expuesta en este trabajo.

El trabajo queda organizado de la siguiente manera. En el capítulo 2 se hace un análisis espacial de la oferta, y sus determinantes. Se verifica la presencia de patrones y efectos espaciales en la determinación de la misma, con lo que se logra una aportación importante a los trabajos empíricos sobre el tema. En el capítulo 3 se analizan los determinantes de la demanda, tanto a nivel total como a nivel de toma. Además se exploran los determinantes del precio promedio por metro cúbico que cobran los organismos. En esta parte, el aporte consiste en la estimación de la función de demanda total y la de los determinantes del precio, además del planteamiento de algunas proyecciones para distintos escenarios de crecimiento poblacional en el país para el año 2050. Finalmente, la sección 4 son las conclusiones generales del trabajo.

2. ANÁLISIS ESPACIAL DE LA OFERTA

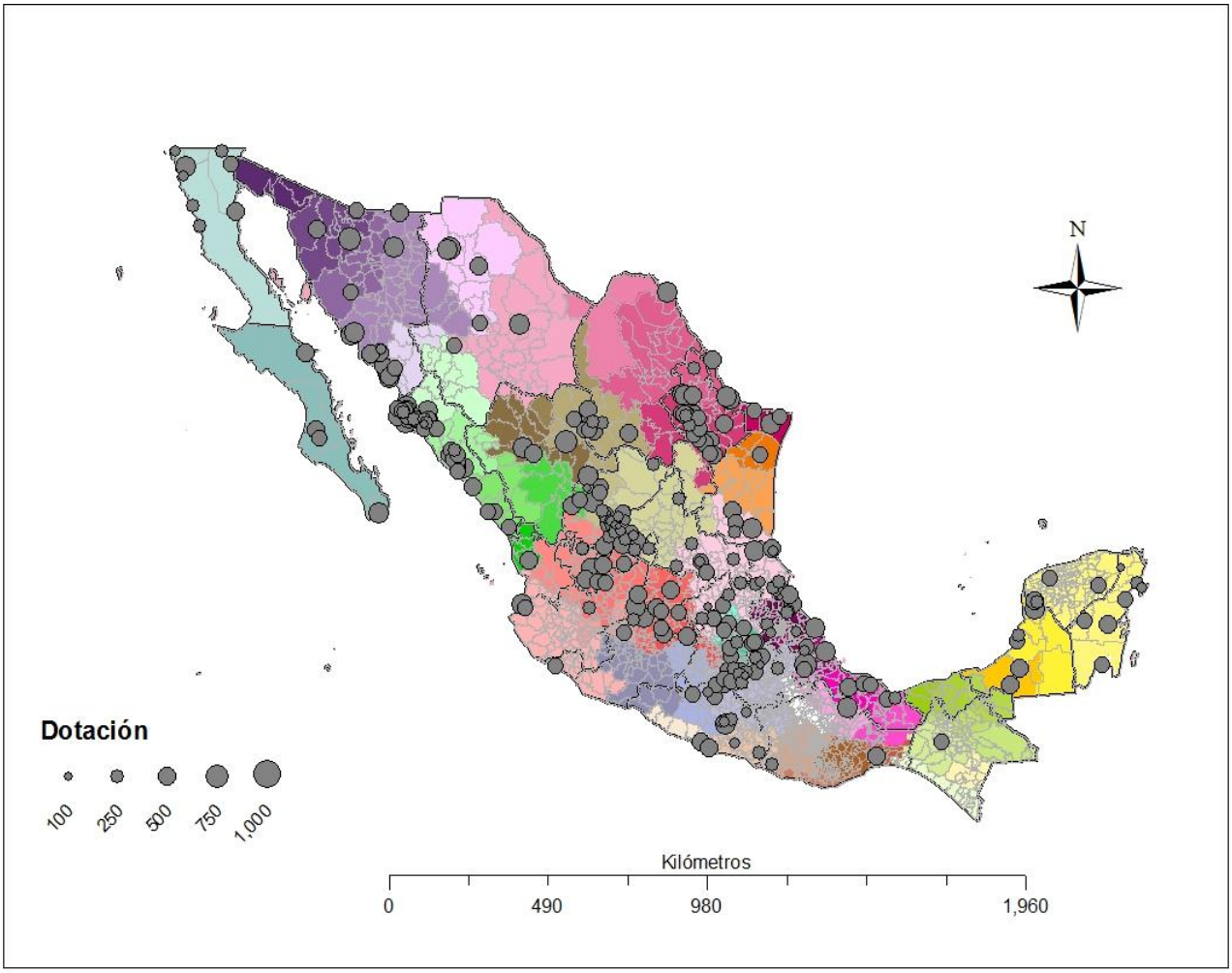
2.1. Introducción

En este capítulo el propósito es analizar los determinantes de la oferta de agua urbana en México. Para ello, la atención se centra en los efectos espaciales. Lo que permite, por un lado, confirmar estadísticamente la presencia de una estructura espacial de la oferta y por otro, definir la necesidad de plantear un modelo econométrico que ajuste tales efectos espaciales, siempre y cuando éstos incidan en el comportamiento de las variables del modelo (en la dependiente, las independientes o en ambas). La justificación para este análisis estriba en el hecho de que los datos acerca del nivel de dotación promedio de agua per cápita al día, como una proxy de la oferta, muestran una importante variación tanto en los niveles *per se*, como entre las distintas regiones, tal como puede apreciarse en el mapa de la Figura 2.1.

En dicho mapa se muestran los distintos niveles de dotación de agua per cápita diaria, de una muestra de 273 Organismos Operadores de Agua Potable (OOAP) ubicados en 45 de 61 subregiones de planeación, que son el nivel inmediato inferior que conforman las 13 Regiones Hidrológico Administrativas (RHA) del país.

A primera vista, se observa que los mayores niveles de oferta se registran en la parte norte del país, que de acuerdo con Bunge (2010a), es la zona más árida y con menos disponibilidad natural de agua. En zonas como el sur, la dotación es significativamente menor, siendo lugares que contrastan por su abundante disponibilidad natural. No obstante, habrá que analizar si esta estructura geográfica, que se observa *a priori*, mantiene validez estadística al aplicarse las pruebas que tiene por objetivo evaluar este trabajo. También se observa que todos los OOAP de esta muestra mantienen un nivel de dotación media per cápita diaria mayor a los 50 litros, siendo un nivel cercano al óptimo –incluso superior– en relación a los niveles de requerimiento mínimo sugerido por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y autores como Gleick (1998) y Howard y Bartram (2003), quienes coinciden en que el nivel óptimo debe ser entre 50 y 100 litros diarios por habitante al día.

Figura 2. 1. Dotación media de agua urbana (l/h/d) en las localidades urbanas de México, 2010.



Nota: los colores delimitan las 61 subregiones de planeación que conforman las 13 regiones hidrológico administrativas en que se divide el territorio.

Fuente: Elaboración propia con base al marco geoestadístico nacional del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) y los datos estadísticos de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) 2011.

En el Cuadro 2.1 se pueden observar los distintos niveles críticos de dotación y las necesidades que se cubren, en general, con los respectivos niveles de dotación. Con base en ello, cabe reiterar que en México, al menos para esta muestra de OOAP's, los niveles de dotación garantizan la cobertura de todas las necesidades de agua. En ningún caso se muestran condiciones de dotación que pongan en riesgo la salud de la población.

Cuadro 2. 1. Niveles de acceso al agua, necesidades satisfechas y su relación con la salud.

Nivel de Servicio	Accesibilidad	Necesidades satisfechas	Nivel de amenaza para la salud
Sin acceso (menos de 5 lhd).	Recorrer más de un kilómetro o 30 minutos para colectar el agua.	No garantiza la higiene y compromete el consumo básico.	Muy alta
Acceso básico (hasta 20 lhd).	Recorrer de cien metros a un kilómetro (5 a 30 minutos) para colectar el agua.	Este nivel debe garantizar la higiene, pero puede comprometer necesidades como el lavado de ropa.	Alta
Acceso intermedio (50 lhd).	Suministro por medio de una toma o recorrer unos cien metros (5 minutos) para la recolección.	Todas las necesidades de higiene y preparación de alimentos de deben estar satisfechas.	Baja
Acceso óptimo (más de 100 lhd).	Suministro a través de múltiples tomas de forma continua.	Todas las necesidades deben satisfacerse.	Muy baja

Fuente: Howard y Bartram (2003).

El análisis estadístico para determinar la existencia de asociación espacial, permite identificar la existencia de efectos regionales en la gestión del agua urbana. En caso de encontrar evidencia de asociación espacial, el procedimiento es la contrastación de los resultados que se obtienen con modelos que ajustan la asociación espacial *versus* los de modelos tradicionales que no incorporan dichos efectos. Este contraste permite identificar el modelo que ofrece los resultados más robustos.

La lógica de una posible asociación espacial radica en la probabilidad de que las localidades cercanas pueden estar compartiendo condiciones naturales muy similares, e incluso las mismas fuentes de abastecimiento. Esto puede condicionar la disponibilidad del agua entre los usuarios contiguos. De la misma manera, cabe la posibilidad de que las acciones de tipo *Benchmarking* se desarrollen entre los organismos de mayor proximidad y que comparten todos o algunos de estos elementos mencionados. Es lo que pudiera considerarse como efectos tipo *spillover* en la gestión del agua.

Este trabajo tiene como objetivo realizar dos aportaciones. Por un lado, el aspecto metodológico que pretende dar evidencia de la estructura espacial de la oferta

de agua urbana, e incorporar dichos efectos en las estimaciones econométricas de los determinantes de dicha variable. Por otro lado, identificar los factores que inciden en la oferta de agua de los OOAP's. Estos hallazgos podrán generar información que pueda ser considerada en el diseño de políticas de gestión del agua urbana en México.

Así pues, la estructura de este capítulo consta de siete secciones. La primera es esta introducción. En la segunda se hace la revisión de literatura que sirve para posicionar la aportación de este trabajo. En la tercera se detallan todos los procedimientos metodológicos que se siguieron para el análisis espacial de la oferta y la estimación de los modelos econométricos. En la cuarta se describen los procedimientos de la construcción y obtención de los datos, así como un análisis preliminar de los mismos. En la quinta sección se presentan los resultados del análisis espacial de la oferta y los coeficientes estimados para los determinantes de la oferta. En la sexta sección se discuten las implicaciones de los resultados obtenidos. En la séptima se desarrollan las conclusiones.

2.2. Revisión de literatura

A continuación se presenta una serie de trabajos que han incorporado el análisis espacial al estudio de la gestión del agua. La mayoría de ellos se han realizado para ciudades y regiones de Estados Unidos, aunque hay al menos dos trabajos para el caso de México. Asimismo, el enfoque es principalmente hacia la demanda, sin embargo, la relación con los propósitos de este capítulo es la manera en que incorporan el espacio. En este sentido, algunos contrastan los resultados obtenidos por Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO) contra los obtenidos en modelos que incorporan los efectos espaciales. En general encuentran evidencia de patrones espaciales y un mejor ajuste de los resultados de los modelos de econometría espacial.

En el trabajo de Chang *et al.* (2010) se analizan los determinantes de la demanda de agua residencial en la ciudad de Portland, Oregón. Su planteamiento se basa en los patrones de urbanización y de concentraciones espaciales de los niveles de algunas variables socioeconómicas. Corroboran estadísticamente la existencia de una asociación espacial en dichas variables. En este sentido, contrastan los resultados de un modelo de MCO con los obtenidos en un modelo de error espacial. Encuentran que

el ajuste de los resultados es mejor con la especificación espacial del modelo. Esto da evidencia de la importancia que tiene considerar los efectos espaciales en el análisis del consumo de agua residencial.

House-Peters *et al*. (2010) analizan los patrones espaciales y los determinantes de la demanda de agua residencial para la ciudad de Hillsboro, Oregón. Encuentran evidencia de asociación espacial en el consumo de agua residencial, es decir, patrones de aglomeración espacial de altos y bajos consumos de agua, respectivamente. A partir de esto contrastan los resultados de un modelo por MCO y un modelo de rezago espacial en la variable dependiente. Encuentran que el modelo econométrico espacial tiene mejor ajuste que el de MCO, mostrando evidencia que el espacio debe ser un factor a tomar en cuenta en este tipo de estudios.

Balling *et al.* (2007) y Balling *et al.* (2008) analizan la sensibilidad de la demanda de agua ante las condiciones del clima en la ciudad de Phoenix, Arizona. Encuentran que el consumo de agua sí es sensible a los cambios en la temperatura y los niveles de precipitación a lo largo del año. Sin embargo, este resultado no es consistente en todo el territorio de la ciudad. Existen patrones espaciales que indican que las zonas más sensibles a dichas variables son donde se ubican las residencias de la población con mayores ingresos (casas con amplios jardines y piscinas, por ejemplo). Las zonas con las residencias de la población de menores ingresos muestran una menor sensibilidad, quizá porque los usos que ellos realizan son los más básicos. En este sentido, lo relevante es el hallazgo de efectos espaciales en el consumo de agua residencial.

Franczyk y Chang (2009) analizan los determinantes de la cantidad de agua extraída para el total de usos y como caso particular, para el riego agrícola en los condados del estado de Oregón, durante el periodo 1985-2005. Asocian los respectivos niveles de extracción con variables explicativas como las condiciones climáticas y socioeconómicas. Su principal aportación es que verifican la existencia de asociación espacial entre los niveles de extracción de agua de los condados, con un nivel moderado de dicha asociación. A partir de ello contrastan los resultados de los modelos de regresión obtenidos por MCO con los obtenidos con modelos de error espacial, mostrando un mejor ajuste estos últimos.

Wentz y Gober (2007) realizan un modelo de regresión geográficamente ponderada (RGP) para encontrar los determinantes del consumo de agua en la ciudad de Phoenix, Arizona. Sus hallazgos dan evidencia de que más allá de las variables explicativas existe una relación geográfica en el comportamiento de la variable dependiente. Al contrastar los resultados por MCO contra los de la estimación RGP, estos últimos muestran una mejora sustancial en la calidad de los resultados.

Cheruseril (2007) analizó los patrones de consumo de agua en la zona metropolitana de Melbourne, Australia, durante el periodo 2000-2005, a un nivel de desagregación geográfica de códigos postales. Sus resultados muestran evidencia de la existencia de patrones espaciales en los niveles de consumo de agua entre los códigos postales contiguos.

Lee *et al.* (2010) realizan modelos de demanda de agua espacio-temporales para pronosticar los patrones de la demanda de agua en la ciudad de Phoenix, Arizona. Asocian el consumo de agua con variables como el crecimiento económico y la densidad poblacional. Con ello obtienen mapas que permiten ubicar geográficamente las zonas de la ciudad que demandarían una determinada cantidad de agua, lo que puede ayudar a los proyectos de políticas encaminadas a rediseñar el uso de suelo de esa ciudad.

Sohn (2011) analiza los patrones espaciales del consumo de agua urbana en la región sureste de Estados Unidos. Encuentra evidencia de asociación espacial entre los condados de mayor uso de agua, principalmente en las zonas metropolitanas. Contrasta los resultados de una estimación por MCO con los de un modelo con ajuste espacial en el término de error, conocido como modelo de error espacial. Obtiene mejores resultados con este último.

Abildtrup *et al*. (2011) realizan un modelo econométrico con rezagos espaciales en las variables independientes, donde la variable dependiente es el precio del agua. El estudio se realiza para el departamento de Vosgos, Francia. Utiliza una muestra de 232 organismos operadores que abastecen a 459 localidades del departamento. Los objetivos de su trabajo son dos: primero verificar si el precio del agua es sensible al uso forestal del suelo; y segundo verificar la presencia de efectos spillover entre los organismos operadores. Para ello recurren a la especificación espacial del modelo.

Encuentran que efectivamente el precio del agua es sensible al uso forestal del suelo con una relación inversa, es decir, a mayor uso forestal del suelo, el precio del agua se reduce. Por otra parte, no encuentran evidencia de asociación espacial tipo spillover entre los organismos operadores, pero sí en otras variables que también fueron evaluadas espacialmente, como los factores de escasez y de organización entre las localidades abastecidas por un mismo organismo.

En el caso de México, en el trabajo de Ojeda-Bustamante *et al.* (2007) se analiza el uso de información espacial para optimizar la asignación del agua a las distintas juntas de riego del país. Toman en cuenta las características particulares del territorio en el que se desempeña cada una de ellas. Con ello muestran evidencia de que se deben considerar las condiciones geográficas en el manejo del agua. Si bien este trabajo sale un poco del contexto que se ha venido desarrollando, sirve para dar evidencia de los primeros intentos que se están dando en México sobre el uso de información espacial en la gestión del agua.

Un trabajo más apegado a los planteamientos que se han venido realizando, también para el caso de México, es el de Scott *et al.* (2010) quienes realizan un análisis exploratorio de datos espaciales de los títulos de derechos de agua para la agricultura otorgados a 2,429 municipios en 2006 –de acuerdo con los datos del REPDA–. Dan énfasis al uso de fuentes subterráneas, por lo que la variable de análisis es la razón entre el agua subterránea y la superficial destinada al uso agrícola. Sus resultados muestran evidencia de la existencia de dependencia espacial entre los municipios en el uso de agua para la agricultura. Los municipios que mayor presión ejercen sobre los acuíferos son los ubicados en la parte noroeste del país, la más árida del territorio mexicano.

Por otra parte, el reciente interés por averiguar las interacciones espaciales en los estudios sobre la gestión del agua tiene un amplio horizonte, pues existen algunos esfuerzos por analizar cuestiones de la calidad del agua. Por ejemplo en el trabajo de Tong y Chen (2002), analizan la manera en que el uso de suelo influye en la calidad de agua de las cuencas del estado de Ohio, Estados Unidos. Logran identificar patrones de contaminación del agua en las distintas cuencas, lo que puede ser una variable a considerar en los modelos de demanda de agua que se han venido mencionando.

Otro cuerpo de literatura que da un mayor soporte a los objetivos planteados en este capítulo es sobre el análisis espacial de variables asociadas con el manejo del agua. Por ejemplo las externalidades ocasionadas por las iniciativas de política que se implementan en las diferentes escalas regionales y urbanas. Al respecto, en el trabajo de Yu et al (2011) se analizan los determinantes del gasto de los gobiernos locales de China en infraestructura. Encuentran evidencia de autocorrelación espacial significativa en los términos de error, por lo que utilizan un modelo de error espacial para obtener mejor ajuste de los resultados. Esto les permite mostrar que los gastos en infraestructura a nivel local o regional están influenciados por lo que hagan los gobiernos de las regiones o localidades contiguas. De modo que esto ayuda a dar soporte a la hipótesis de la existencia de dependencia espacial en la realización de algunas obras de infraestructura, como pudiera ser el caso de las que realizan los OOAP.

Por otra parte, en el trabajo de Carvalho *et al.* (2012) hacen un meta análisis para identificar las variables significativas en las economías de escala de los servicios de agua urbana. Encuentran que en la mayoría de los estudios al respecto, los OOAP más grandes se enfrentan a las deseconomías de escala, lo que es relevante para este trabajo en el sentido de que quizá el desempeño de algunos OOAP esté siendo afectado por el tamaño del mismo, principalmente en aquellos que abastecen zonas metropolitanas.

El Cuadro 2.2 muestra un resumen de estos trabajos, que son el precedente de los esfuerzos por mejorar la comprensión de la manera en que se gestiona el agua urbana. Incorporando técnicas de análisis que buscan contribuir al diseño de modelos cada vez más apegados a la realidad. En este contexto, el trabajo que aquí se realiza se posiciona dentro de la tendencia reciente de averiguar los efectos espaciales en el comportamiento para la gestión del agua urbana. En este caso sobre los niveles de dotación de agua en las localidades urbanas de México. Queda de manifiesto el aporte que se hará al respecto, ya que como se pudo constatar, la mayoría de los trabajos se han centrado en la demanda de uso residencial o agrícola. Por lo que este trabajo busca generar así un panorama distinto que permita brindar mayor información acerca de la oferta de agua urbana.

Cuadro 2. 2. Resumen de literatura sobre análisis espacial de la gestión del agua.

Referencia	Tipo de análisis	Dimensión espacial	¿Asociación espacial?	Mejor ajuste econométrico
Chang et al (2010)	Determinantes de la demanda de agua residencial.	Ciudad de Portland, Oregón.	Encontraron asociación espacial en algunas variables socioeconómicas.	Modelo de error espacial.
House-Peters et al. (2010)	Determinantes de la demanda de agua residencial.	Ciudad de Hillsboro, Oregón.	Encontraron patrones de aglomeración de los niveles altos de demanda, así como en los niveles bajos.	Modelo de rezago espacial.
Balling et al (2007)	Demanda de agua.	Ciudad de Phoenix, Arizona.	Encontraron que el consumo de agua es sensible a la temperatura y a la precipitación. Pero dicha sensibilidad no es uniforme en el territorio. Existen patrones espaciales.	NA
Franczyck y Chang (2009).	Determinantes de la cantidad extraída de agua para el total de usos.	Condados del estado de Oregón.	Encontraron relación con variables climáticas y socioeconómicas, así como asociación espacial en los niveles de extracción de agua.	Modelo de error espacial.
Wentz y Gober (2007).	Demanda de agua.	Ciudad de Phoenix, Arizona.	Encontraron relación geográfica en los niveles de consumo de agua.	Modelo de Regresión Geográficamente Ponderada.
Cheruseril (2007).	Demanda de agua.	Zona metropolitana de Melbourne, Australia.	Encontró evidencia de patrones espaciales en los niveles de consumo de agua.	NA
Lee et al. (2010).	Demanda de agua.	Ciudad de Phoenix, Arizona.	Encontraron patrones geográficos de la demanda de agua.	NA

Cuadro 2.2. (Continuación). Resumen de literatura sobre análisis espacial de la gestión del agua.

Referencia	Tipo de análisis	Dimensión espacial	¿Asociación espacial?	Mejor ajuste econométrico
Sohn (2011).	Demanda de agua urbana.	Región Sureste de Estados Unidos.	Encontró asociación espacial entre los condados de mayor uso de agua, principalmente en las zonas metropolitanas.	Modelo de error espacial.
Abildtrup et al. (2011).	Sensibilidad del precio al tipo de uso de suelo. Efectos Spillover entre los organismos operadores.	Departamento de Vosgos, Francia.	Encontraron sensibilidad inversa del precio con el uso forestal del suelo. No encontraron evidencia de asociación espacial entre organismos operadores, pero sí en otras variables como los factores de la escasez y de la organización entre las localidades abastecidas por un mismo organismo.	NA
Ojeda-Bustamante et al. (2007).	Uso de información espacial para la asignación de agua de riego.	Juntas de Riego en México.	Encontraron que el análisis espacial es útil para una mejor asignación del agua de riego, ya que así se tienen en cuenta las peculiaridades geográficas de cada región.	NA
Scott et al. (2010)	Análisis Exploratorio de Datos Espaciales de los títulos de derechos de agua subterránea para la agricultura.	Municipios de México.	Encontraron asociación espacial entre los municipios en el uso agrícola del agua. Los municipios con mayor presión sobre los acuíferos son los del Noroeste.	NA

NA: No Aplica.

Fuente: elaboración propia.

2.3. Metodología

En esta parte del trabajo se describirá la metodología que se siguió para la estimación del modelo de oferta de agua urbana en México. Se comienza con la exposición acerca de la econometría espacial y las diferentes pruebas que se realizan para identificar estadísticamente la presencia de autocorrelación espacial. Luego se describe el proceso que se sigue para realizar las estimaciones del modelo. En todos los casos se presentan sucintamente los elementos técnicos generales, acompañados por una descripción detallada de su implementación en este trabajo.

2.3.1. La econometría espacial

La econometría espacial surgió en los años 70, cuando Jean Paelinck utilizó el término para referirse a los aspectos metodológicos asociados con la incorporación de la interdependencia regional en los modelos econométricos (Anselin, 2007). Se define, según Moreno Serrano y Vayá Valcarce (2000), como la colección de técnicas que tratan las peculiaridades causadas por el espacio en el análisis estadístico de los modelos tradicionales de la ciencia regional. Estos mismos autores señalan que el surgimiento de estas técnicas obedece a que en la ciencia regional, por naturaleza, existe la necesidad de usar datos de corte transversal con los que suelen aparecer los llamados efectos espaciales, que son la heterogeneidad y la dependencia espacial.

La heterogeneidad espacial surge cuando se utilizan datos de unidades espaciales muy distintas para explicar un mismo fenómeno. Con ello se presentan los problemas de heteroscedasticidad o de inestabilidad estructural, que pueden ser resueltos mediante las técnicas econométricas existentes para series de tiempo. Mientras que la dependencia o autocorrelación espacial aparece cuando el valor de una variable en un lugar del espacio está relacionado con su valor en otro u otros lugares del espacio, lo que no puede ser resuelto por los métodos econométricos estándar, principalmente porque la dependencia es multidireccional, recurriendo en este caso a las técnicas que se han desarrollado en el campo de la econometría espacial.

Queda claro que la autocorrelación espacial es el efecto principal en el análisis econométrico espacial, un problema que ocasiona el incumplimiento del supuesto de independencia entre las observaciones de la muestra. La autocorrelación espacial puede ser positiva cuando la presencia de un fenómeno determinado en una región provoca que se extienda dicho fenómeno hacia el resto de las regiones contiguas, ayudando así a la concentración del mismo. Mientras que puede ser negativa cuando la presencia de un fenómeno en una región impida su aparición en las regiones que la rodean, conduciendo a que las regiones contiguas sean más disímiles entre sí que con las regiones más lejanas.

Las causas que pueden generar la aparición de dependencia espacial son dos. Una son los errores de medida, cuando la dimensión espacial del fenómeno económico en cuestión no corresponde con la extensión de las unidades espaciales de

observación. La segunda pueden ser los fenómenos de interacción espacial, por ejemplo las externalidades de la inversión en infraestructura o la difusión tecnológica entre economías. En la primera, la dependencia espacial suele ser espuria, mientras que en la segunda puede ser más verídica. En el caso particular de este trabajo se plantea que la dependencia espacial obedece a fenómenos de interacción entre los distintos organismos operadores contiguos.

Hasta aquí la definición de autocorrelación espacial guarda semejanza con la temporal, ya que en ambos casos no se cumple con la hipótesis de independencia entre las observaciones de la muestra. Sin embargo, la diferencia estriba en el hecho de que la dependencia temporal es unidireccional, es decir, el pasado explica el presente; mientras que en la dependencia espacial una unidad espacial puede influir en una o más unidades espaciales contiguas, al mismo tiempo que éstas pueden influir en la primera, siendo entonces una relación multidireccional. Esto imposibilita el uso del operador de retardos que recoge solamente una relación unidireccional, por lo que en su lugar se ha propuesto el uso de una matriz de pesos espaciales.

2.3.2. Matriz de contigüidad

De acuerdo con Acevedo Bohórquez y Velásquez Ceballos (2008) una matriz de contigüidad o de pesos espaciales es un arreglo matricial W donde cada una de las filas y las columnas representa una región en el espacio objeto de estudio, representando la interacción existente entre cada una de las regiones. Existe una infinidad de formas de representar dicha interacción, siendo la más usual y sencilla, la notación binaria. Así, se asigna valor de 1 para representar la contigüidad entre dos unidades espaciales y 0 en donde hay ausencia de contigüidad, por lo que la matriz deberá ser simétrica. Formalmente la matriz sería:

$$W = \begin{bmatrix} 0 & w_{12} & . & w_{1N} \\ w_{21} & 0 & . & w_{2N} \\ . & . & . & . \\ w_{N1} & w_{N2} & . & 0 \end{bmatrix} \qquad (2.1)$$

Los elementos de la matriz w_{ij} reflejan la intensidad de la interdependencia entre cada par de regiones i y j. Al no existir una definición unánimemente aceptada de los valores que debe contener esta matriz, debe cumplir al menos con las condiciones de que las ponderaciones o pesos sean no negativos y finitos.

Los criterios de contigüidad que se deben tener en cuenta para los valores que tomarán los elementos w_{ij} están en función del fenómeno económico que se vaya a analizar. Generalmente, los criterios se refieren a la contigüidad física de primer orden, que implica que se consideran vecinas sólo aquellas unidades espaciales que compartan un segmento de frontera física. Mientras que se consideran como vecinas de segundo orden, aquellas que compartan un segmento de frontera física con las vecinas de primer orden de la unidad espacial de referencia, además de los de primer orden. En la Figura 2.2 se muestran de manera gráfica algunos de los criterios de contigüidad física.

Figura 2. 2.Criterios de contigüidad física.

		b		
	b	**a**	**b**	
		b		

a) Torre

	c		**c**	
		a		
	c		**c**	

b) Alfil

	c	**b**	**c**	
	b	**a**	**b**	
	c	**b**	**c**	

c) Reina

		d		
	c	**b**	**c**	
d	**b**	**a**	**b**	**d**
	c	**b**	**c**	
		d		

d) Segundo orden

Fuente: (Anselin, 1988).

En la contigüidad tipo torre se consideran vecinas de la unidad de referencia aquellas unidades que compartan un lado de su frontera. En la de tipo alfil serán vecinas sólo las unidades que compartan un vértice de sus respectivas fronteras con la unidad de referencia. En la de tipo reina son vecinas aquellas unidades que compartan ya sea un lado o un vértice de sus respectivas fronteras con la unidad de referencia. Y finalmente, en la de segundo orden se plantea que además de las unidades vecinas de tipo reina, la unidad de referencia tendrá como vecinas a las unidades que comparten, en primer lugar, un lado con sus vecinos de primer orden, ya luego también se pueden considerar los que comparten un vértice (Chasco Yrigoyen, 2002).

Alternativamente se han desarrollado otros criterios para definir la vecindad de las unidades espaciales en función de la naturaleza del fenómeno a investigar. Como lo señalan Moreno Serrano y Vayá Valcarce (2000) y los demás autores citados en esta sección, existen criterios basados en la intensidad de interacción entre unidades que no necesariamente mantienen una frontera física común, por lo que pueden estar distantes pero con una fuerte interdependencia. Señalan también otros criterios basados en la distancia, que también puede ser física u otro tipo de distancia, como por ejemplo la económica, basada en la comparación de variables socioeconómicas.

En cuanto a los criterios de distancia física entre regiones Anselin (1980) propone el uso de una matriz inversa de distancias al cuadrado, permitiendo así que la intensidad de la interacción entre dos regiones disminuya con la distancia que separa sus centros respectivos. Formalmente esto sería:

$$w_{ij} = d_{ij}^{-2} \qquad (2.2)$$

Donde w_{ij} es la ponderación que representa la influencia de la región j sobre la región i; y d_{ij} es la distancia euclídia entre las regiones i, j. El énfasis a este criterio obedece a que en este trabajo se propone el uso de una matriz de ponderaciones espaciales basada en él, debido a que la naturaleza del fenómeno que se está analizando así lo requiere. Más adelante se expondrá a detalle la construcción de la matriz utilizada aquí.

Antes de entrar a describir los criterios utilizados para la construcción de la matriz utilizada en este trabajo, es importante advertir que la calidad de los resultados del análisis espacial depende sustancialmente del criterio que se elija para establecer las ponderaciones de interacción espacial (Stakhovych y Bijmolt, 2009) pues como se verá en la siguiente sección, la matriz de pesos espaciales es el instrumento que permite incorporar al espacio en el análisis estadístico.

Para la construcción de la matriz de ponderaciones espaciales que se utilizará en este trabajo se debe tener en cuenta que el territorio mexicano se ha dividido en trece RHA para la gestión del agua por parte de la CONAGUA, que a su vez se dividen en subregiones de planeación, siendo un total de 61 de estas últimas (en el mapa de la Figura 2.1, se puede observar la división geográfica de estas subregiones).

Las RHA siguen los límites municipales para su delimitación, por lo tanto, para las subregiones de planeación se aplica esa misma norma. Lo más relevante en este contexto es que la mayor desagregación geográfica permitirá hacer una modelación más precisa de las interacciones espaciales en la dotación de agua urbana, aunque tal vez una mayor desagregación, como por ejemplo a nivel de cuenca, termine por ser contraproducente, toda vez que la muestra de OOAP analizados se reduce sustancialmente, lo que aumentaría las probabilidades de registrar en la matriz una nula interacción espacial entre distintas unidades espaciales, al quedar muchas de ellas aisladas, es decir, sin vecinos o sin contigüidad con otras.

En este caso la matriz de ponderaciones espaciales que se consideró fue con base en la distancia inversa entre las localidades pertenecientes a una misma subregión de planeación, tal como se plantea en (2.2), lo que significa que un OOAP i será vecino de otro OOAP j siempre y cuando ambos pertenezcan a la misma subregión de planeación.

La elección de este criterio se basa en la premisa de que las interacciones entre los OOAP son más fuertes a medida que se reduce la distancia que los separa, como consecuencia de un aumento en la probabilidad de compartir características más similares inherentes al medio ambiente en el que operan, llegando incluso a compartir las mismas fuentes de abastecimiento. Evidentemente, esto sugiere que algunas obras de infraestructura puedan ser compartidas, ya sea de manera directa o a través de

externalidades, así como algunas técnicas de gestión comercial, administrativa o de cualquier otra parte del proceso de la prestación del servicio. Ocurriendo lo contrario en la medida que se van alejando dichos organismos, pues al estar más distantes aumenta la probabilidad de que se desempeñen en condiciones ambientales distintas, lo que significaría una reducción en las posibilidades de interactuar mediante los mecanismos mencionados.

En cuanto a la muestra utilizada se consideran 273 OOAP, que fueron los que contenían información completa sobre las variables que se han propuesto para el análisis de los determinantes de la oferta. Si bien este número de observaciones puede ser menor dependiendo del paquete de variables que se vayan a manejar en cada modelo econométrico.

Con esta muestra se tiene cobertura sólo en 45 subregiones de planeación. Sin embargo, esta distribución muestra algunos organismos aislados, por lo que se hace un ajuste para garantizar que al menos cada uno tenga un vecino. Se toma como primer criterio de decisión la pertenencia a la misma RHA. Si con ese criterio sigue habiendo organismos aislados se toma un segundo, que consiste en el hecho de pertenecer a una misma cuenca. Si aún así no se logra el objetivo, un tercer criterio que se toma es la distancia más corta con cualquier OOAP. Así se logra finalmente que todos tengan vecindad con al menos un organismo.

Los ajustes sobre las subregiones de planeación fueron los siguientes: se unieron las subregiones VI.3 Alto Bravo y VI.4 Medio Bravo[1]. Otra unión fue entre las subregiones V.1 Costa Grande, V.2 Costa Chica y V.5 Complejo Lagunar. La siguiente fusión fue la de las regiones II.3 Río Sonora y II.4 Río Yaqui. Otra fue entre las subregiones III.4 Valle de Guadiana y III.5 Tuxpan. VII.1 Nazas con VII.4 Comarca Lagunera. VIII.2 Medio Lerma y VIII.3 Bajo Lerma. IX.1 San Fernando con IX.3 Pánuco. De esta manera quedaron 36 subregiones consideradas en la matriz de ponderaciones espaciales que se utilizó para los distintos análisis, si bien se hicieron algunos ajustes de la matriz de acuerdo a las necesidades de los respectivos análisis que se realizaron, los cuales en su debido momento serán señalados.

[1] La clave de las subregiones de planeación tienen dos componentes, el primero es un número romano que enumera las RHA separado por un punto del número arábigo que enumera a la subregión dentro de su respectiva RHA.

2.3.3. Análisis exploratorio de datos espaciales

El análisis exploratorio de datos es un conjunto de técnicas que sirven para resumir las propiedades de los datos, es decir, la estadística descriptiva que ayuda a detectar patrones en los datos y formular hipótesis a partir de ellos. El Análisis Exploratorio de Datos Espaciales (AEDE) consiste en una serie de técnicas que permiten resumir las propiedades espaciales de los datos, lo que lo hace diferente del primero, ya que en éste los mapas juegan un papel importante, pues permiten visualizar la ubicación geográfica de los datos, sus patrones y asociaciones espaciales (Acevedo Bohórquez y Velásquez Ceballos, 2008). De este modo, el AEDE es descriptivo más que confirmatorio, ayudando a formular hipótesis para la modelación econométrica del fenómeno analizado (Chasco Yrigoyen, 2002).

Una de las técnicas del AEDE que se van a utilizar en este trabajo es el índice I de Moran, propuesto por Moran (1948) y modificado por Anselin (1995), quedando de la siguiente forma:

$$I = \frac{N}{S_0} \frac{\sum_{ij}^{N} w_{ij}(x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_{i=1}^{N}(x_i - \bar{x})^2} \qquad i \neq j \qquad (2.3)$$

Donde:

x_i representa el valor de la variable cuantitativa x en la región i.

$\bar{X}$ es la media muestral de la variable cuantitativa.

w_{ij} son las ponderaciones de la matriz W.

N es el tamaño muestral.

$S_0 = \sum_i \sum_j W_{ij}$

Los valores del índice de Moran están dentro del siguiente rango $-1 \leq I \leq 1$, donde el primer valor extremo significa una autocorrelación negativa perfecta y el segundo valor extremo significa una autocorrelación positiva perfecta, mientras que el valor de cero expresa un patrón espacial completamente aleatorio (Góngora Gómez, 2007).

En cuanto a la significancia estadística del índice de Moran, de acuerdo con Cliff y Ord (1981), cuando la muestra es suficientemente grande este índice sigue una distribución asintótica normal:

$$Z(I) = \frac{I - E(I)}{[V(I)]^{1/2}} \qquad (2.4)$$

Donde $E(I)$ y $V(I)$ son la esperanza y la varianza del índice respectivamente.

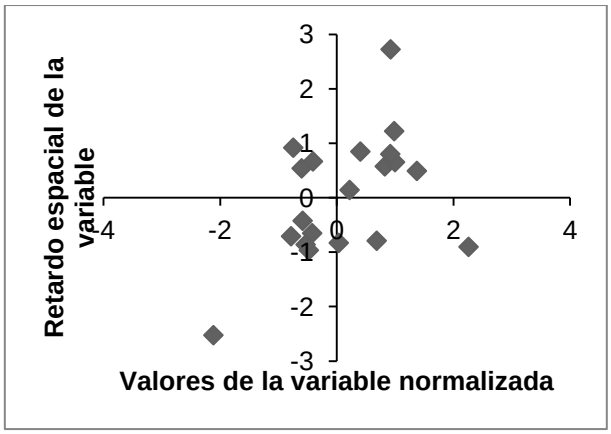
Un valor no significativo de $Z(I)$ conducirá a no rechazar la hipótesis nula de no existencia de autocorrelación espacial, mientras que un valor significativo positivo o negativo indicará la presencia de autocorrelación espacial positiva o negativa, respectivamente.

Para complementar la estimación del índice de Moran se los diagramas de dispersión de Moran, a nivel univariante, que representan en el eje de las abscisas las observaciones de la variable normalizada y en el de las ordenadas el retardo espacial normalizado de la misma variable (que se obtiene al premultiplicar la variable por la matriz de pesos espaciales).

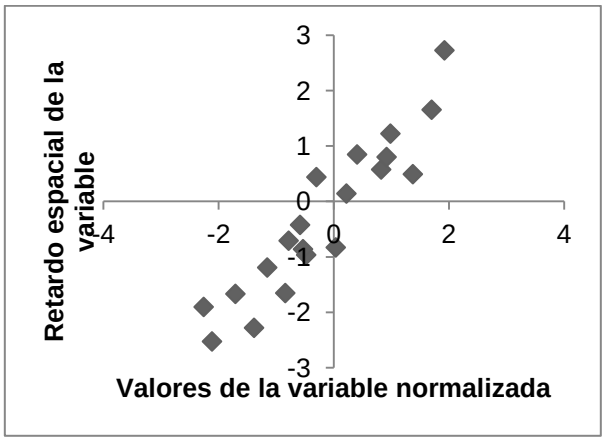
El diagrama de dispersión de Moran consta de cuatro cuadrantes enumerados a la inversa de las manecillas del reloj. Si la nube de puntos se encuentra dispersa en los cuatro significa que hay ausencia de autocorrelación espacial. Por otra parte, si la nube de puntos se concentran en la diagonal que cruza los cuadrantes I y III, significa que hay una elevada autocorrelación espacial positiva de la variable, de forma que su pendiente es igual al valor obtenido para el índice de Moran. De igual forma, si los valores de la variable se concentran en la diagonal que cruza los cuadrantes II y IV, entonces la autocorrelación espacial será negativa (ver Figura 2.3).

Figura 2. 3. Diagrama de dispersión de Moran a nivel univariante.

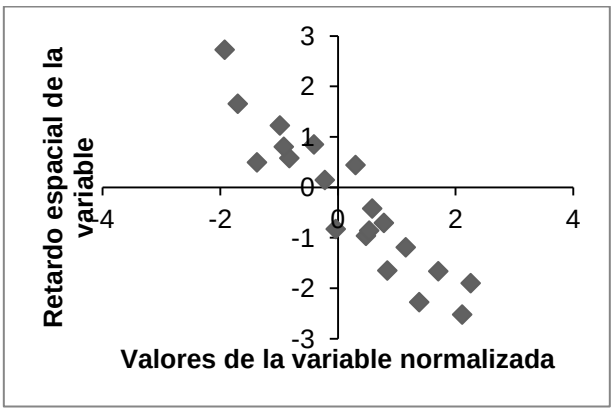
a) Ausencia de autocorrelación espacial.



b) Autocorrelación espacial positiva.



c) Autocorrelación espacial negativa.



Fuente: elaboración propia.

Una de las limitantes del índice de Moran es que sólo es válido para contrastar la existencia de autocorrelación espacial global, dado que se analiza el total de unidades espaciales de la muestra de manera conjunta, por lo que no es sensible a la posible inestabilidad en la distribución espacial de la variable estudiada. De modo que no contempla la posibilidad de que la dependencia espacial detectada a nivel global, no se mantenga en todas las unidades espaciales analizadas (Moreno Serrano y Vayá Valcarce, 2000).

La limitación del índice global de Moran se supera fácilmente con la estimación de los contrastes locales de dependencia espacial de Moran, que tienen la siguiente expresión:

$$I_i = \frac{z_i}{\sum_i z_i^2 / N} \sum_{j \in J_i} w_{ij} z_j \qquad (2.5)$$

Donde z_i es el valor de la variable normalizada en la región i y J_i es el conjunto de regiones vecinas a i.

De igual manera, la distribución del indicador local de Moran se asume como normal. De modo que un valor positivo de I_i indica la presencia de un clúster de valores similares de la variable de análisis, mientras que un valor negativo significaría la existencia de un clúster de valores disímiles de dicha variable.

Este indicador local forma parte del conjunto de los denominados Indicadores Locales de Autocorrelación Espacial (LISA por sus siglas en inglés). Este tipo de análisis a nivel local, consiste en la comparación de la diferencia existente entre la media de cada observación con la media del total de observaciones, así como de la diferencia de la media de las observaciones vecinas.

En este trabajo se estimarán ambos indicadores (global y local) de Moran para analizar la oferta de agua urbana en México. Esto permitirá identificar la presencia de autocorrelación espacial para los valores de esta variable, ayudando a que en el

planteamiento del modelo econométrico de la oferta se tengan en cuenta los efectos espaciales, en caso de que tengan presencia.

2.3.4. Estimación de los determinantes de la oferta

Los procedimientos metodológicos previos representan un conjunto de análisis estadístico descriptivo de la oferta de agua en México, de modo que ahora el siguiente paso es realizar un análisis econométrico de los determinantes de dicha variable. Para ello se propone estimar el siguiente modelo econométrico:

$$\begin{aligned} DOT_LHD = \beta_0 &+ \beta_1 TEM_MED + \beta_2 ARIDEZ + \beta_3 ANC + \beta_4 POBATEN_P + \\ &+ \beta_5 PRESION + \beta_6 ING + \beta_7 GAS_PM3 + \beta_8 PIB_INDPC + \varepsilon \end{aligned} \quad (2.6)$$

La definición y unidades de medida de las variables del modelo de la expresión (2.6) se muestran en el Cuadro 2. 3. Es importante mencionar que la elección de este grupo de variables explicativas tiene una base netamente empírica. No existe ninguna referencia teórica que indique sobre la especificación adecuada de un modelo de oferta de agua urbana. No obstante, su incorporación está, en gran parte, inspirada en los trabajos previos sobre la demanda. Sin embargo, el objetivo es identificar las tendencias y patrones de la oferta de los OOAP, por lo que se busca averiguar cuál es la relación precisamente con estas variables y con ello dar luz acerca de los elementos que determinan su comportamiento.

La relación de la dotación con la temperatura se espera que sea directa, pues a mayor temperatura los OOAP deberán proveer mayor cantidad de agua para satisfacer las necesidades de los usuarios. También con la aridez la relación sería directa, pues en los lugares más áridos los OOAP deberán suministrar mayor cantidad de agua. La relación con el índice de agua no contabilizada se espera que sea positiva, ya que un mayor nivel de ineficiencia en la facturación puede derivar en un mayor volumen extraído. La relación con el costo por metro cúbico se espera que sea negativa, ya que ante un mayor costo, los OOAP ofrecerán menos cantidad de agua. La cobertura

(porcentaje de población con servicio) evidentemente implicará la necesidad de aumentar el volumen de extracción. Por otra parte, la relación con el grado de presión se espera que sea negativa, pues ante un mayor agotamiento de las fuentes subterráneas de abastecimiento, se espera que la oferta se vea reducida, suponiendo que se considera el manejo sostenible de las fuentes. Con respecto al ingreso promedio per cápita, la relación se espera positiva, así como con la estructura económica (el PIB industrial), pues una mayor actividad industrial requerirá mayor abasto de agua.

Cuadro 2. 3. Definición de las variables del modelo de oferta.

DOT_LHD	Es la dotación media de agua urbana, medida en litros por habitante al día.
TEM_MED	Temperatura promedio anual (grados centígrados).
PIB_INDPC	PIB industrial estatal per cápita (miles de pesos).
ARIDEZ	Evaporación menos precipitación (mm).
GAS_PM3	Gastos por metro cúbico que reporta cada OO (pesos).
POBATEN_P	Porcentaje de población con servicio de agua potable.
PRESION	Hectómetros de extracción del agua de los acuíferos entre los hectómetros de recarga.
ING	Ingreso promedio per cápita (pesos).
ANC	Índice de agua no contabilizada (porcentaje).
ε	Término de error.

Fuente: elaboración propia.

La estimación del modelo de regresión se realizará de acuerdo al procedimiento sugerido por Anselin (2004), mostrado en la Figura 2.4. El procedimiento inicia con una estimación del modelo por el método de Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO), luego se hacen las pruebas de los multiplicadores de Lagrange para verificar la existencia de asociación espacial. La contrastación a través de los multiplicadores de Lagrange se hará bajo dos enfoques, uno para ver si la dependencia espacial está presente sistemáticamente en la variable dependiente y el otro para verificar la presencia de autocorrelación espacial en el término de perturbación.

En este sentido, las opciones son tres: una es que ninguno de los dos contrastes de los multiplicadores de Lagrange salga significativo, en cuyo caso la estimación deberá quedarse con los resultados de MCO. Otra opción es que alguno salga significativo y por consecuencia deberá estimarse un modelo que ajuste

adecuadamente tales efectos. La tercera opción es que ambos contrastes salgan significativos, lo que conducirá a realizar las pruebas de los multiplicadores de Lagrange robustos. Esta segunda prueba deberá mostrar la significancia de alguno de los dos tipos de dependencia espacial y a partir de ello deberá tomarse la decisión de la estimación más adecuada del modelo.

Uno de los modelos para incorporar los efectos espaciales, propuestos en el procedimiento de la Figura 2.4, es el denominado modelo de error espacial, cuya taxonomía es la siguiente:

$$y = X\beta + \varepsilon \qquad (2.7)$$

Con:

$$\varepsilon = \lambda W\varepsilon + u \qquad (2.8)$$

Donde:

y = un vector de observaciones de la variable dependiente.

W = es la matriz de ponderaciones espaciales.

X = es una matriz de observaciones de las variables exógenas.

ε = es un vector de los términos de error espacialmente autocorrelacionados.

u = un vector de términos de error i.i.d.

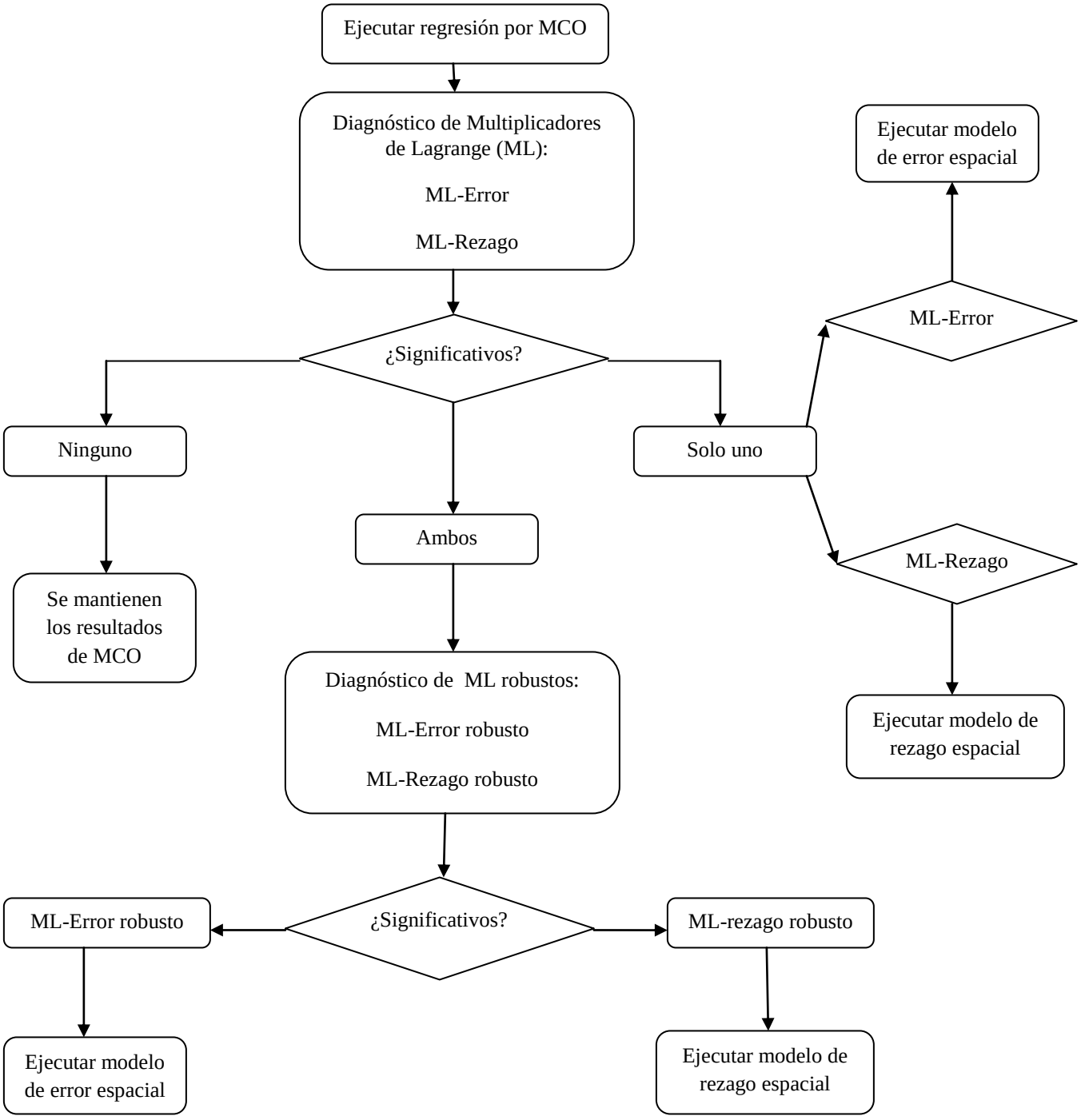
β y λ = son parámetros.

Otro modelo sugerido en el procedimiento es el de rezago espacial, cuya forma general es la siguiente:

$$y = \rho Wy + X\beta + u \qquad (2.9)$$

Donde Wy es el rezago espacial de la variable y con su respectivo parámetro ρ, mientras que el resto de la nomenclatura de las variables y parámetros es similar a la expuesta para el modelo de error espacial. Estos modelos econométricos que incorporan los efectos espaciales, serán las opciones consideradas a la hora de realizar las estimaciones para el modelo de oferta planteado.

Figura 2. 4. Proceso de decisión para la regresión espacial.



Fuente: Anselin (2004).

2.4. Datos y análisis preliminar

En esta sección se exponen los procedimientos y fuentes de información que se consultaron para la obtención y manejo de los datos necesarios para la estimación empírica del modelo de oferta de agua urbana en México. De la misma forma, se realiza un análisis preliminar de los datos considerados para las estimaciones, tratando de verificar su consistencia y plantear algunas hipótesis o pronósticos de la relación entre las variables.

2.4.1. Fuentes de información

La información sobre la oferta de agua urbana proviene de los anexos del documento "*Situación del subsector agua potable y alcantarillado (2011b)*", publicado anualmente por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), cuya base de datos completa constaba de 868 observaciones, con información acerca de 71 variables agrupadas en ocho anexos, referentes a indicadores de gestión del agua urbana de OOAP que atienden a localidades con población mayor a 2,500 habitantes.

Concretamente, una de las variables obtenidas de esta fuente de información fue la dotación media de agua urbana, que se define como la razón de la extracción anual de agua de un OOAP y la población, en unidades de Litros por Habitante al Día (LHD). De manera formal sería:

$$LHD = \left[\frac{\left(V^{E} / 365 \right)}{POB} \right] 1{,}000 \qquad (2.10)$$

Donde:

$LHD =$ Litros por Habitante al Día.

$V^{E} =$ Volumen extraído anual medido en metros cúbicos.

$POB =$ Población total de la localidad urbana.

Esta dotación, según la literatura, se puede considerar como la variable proxy del nivel de oferta de un OOAP. Su principal característica es que se calcula como una

razón de la cantidad de agua extraída y la población total en lugar de la población atendida, lo que se puede interpretar como el comportamiento natural de la oferta, donde no todos los demandantes tienen acceso pleno al bien, o en este caso al recurso que se está ofertando. Al mismo tiempo, se debe reconocer que también posee algunas características que impiden que se reconozca plenamente como la oferta de agua. En efecto, el nivel de dotación parece no obedecer a un precio de mercado, parece más bien responder a cuestiones técnicas y de sostenimiento o ampliación del nivel de consumo del periodo de tiempo previo. Tal vez por eso los OOAP tienden a no operar como empresas maximizadoras de ganancias.

Otra variable obtenida de esta fuente fue la del el índice de Agua no Contabilizada (ANC), que es un porcentaje registrado por cada organismo como resultado de dividir la diferencia del volumen extraído de agua y el volumen facturado entre el volumen extraído, midiendo así la eficiencia en el abastecimiento a los usuarios, por lo que un valor cercano a cero indicará un mejor nivel de eficiencia.

Dos variables más fueron también obtenidas de esta fuente, el porcentaje de población atendida y el gasto en el que incurre cada OOAP por metro cúbico de agua ofertado. Al incorporar los datos de esta última variable, la muestra se redujo hasta 159 observaciones. Sin embargo, para el resto de variables la muestra sigue siendo de 273 OAAP quedando aún sujeta a variación en función de la disponibilidad del resto de información.

En efecto, la información disponible de las variables climáticas supuso una reducción de la muestra, ya que en el caso de la evaporación media anual sólo hubo información disponible para 232 OOAP, siendo este el tamaño definitivo de la misma, a pesar de que para las variables promedio anual de temperatura y precipitación sí había información para todas las localidades de los OOAP.

La obtención de los datos de las variables climáticas se hizo mediante las respectivas estaciones climatológicas del Servicio Meteorológico Nacional (SMN). Se accedió a las normales climatológicas registradas, por cada una de ellas, en el periodo comprendido entre los años 1951 y 2010. El acceso se realizó vía Internet en el respectivo portal de la institución. A través del sitio se hizo la vinculación al mapa geográfico del software Google Earth, mediante una extensión KML. Esto permitió

ubicar geográficamente cada estación, con lo que se garantizó la recolección más precisa de los datos.

Los datos del ingreso per cápita provienen de las estimaciones hechas por el Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL) a nivel municipal para el año 2010. Mientras que los datos del Producto Interno Bruto (PIB) industrial, se obtuvieron del Banco de Información Económica (BIE) perteneciente al Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), que corresponden al PIB del sector 3 de actividad económica del Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte (SCIAN) por entidad federativa.

Los datos de la variable presión se obtuvieron de la CONAGUA (2009), una base con información sobre las condiciones de los acuíferos a nivel de RHA. Ahí se muestran los niveles de extracción y de recarga de dichos acuíferos. Para determinar el grado de sobreexplotación se calcula la razón dada por el volumen de extracción y el volumen de recarga, de modo que un valor mayor a 1 indica que el acuífero está sobreexplotado, lo contrario si el valor de la razón es menor a la unidad, en tanto que un valor igual a 1 indicará un acuífero en equilibrio. De esta manera se construyó la base de datos que se utilizó para la estimación de los determinantes de la oferta y para el análisis espacial que se ha planteado.

2.4.2. Análisis preliminar

En esta parte se realiza un análisis preliminar de los datos. Incluye desde los estadísticos descriptivos básicos, hasta un análisis más exhaustivo donde se pretende dar evidencia de la consistencia de los datos utilizados para la estimación del modelo de oferta.

En el Cuadro 2.4 se observa que la oferta toma valores que van desde los 53 hasta los 679 LHD, lo que significa que existe una disparidad importante en los niveles de dotación per cápita que ofrece cada OOAP –tal como se pudo apreciar previamente en el mapa de la Figura 2.1–. En este sentido, la cuestión interesante es averiguar cuáles son los factores que inciden en este comportamiento.

En cuanto al grupo de variables explicativas también se observan disparidades significativas que hacen posible realizar los análisis estadísticos planteados. Se observa una importante variación de la temperatura media anual y de los niveles de aridez, lo que puede reforzar las hipótesis sobre la relación con estas variables. Las variables de gestión del agua urbana, como ANC, POBATEN_P y GAS_PM3, muestran importantes disparidades respectivamente. Llaman la atención las primeras dos, ya que eso significa que existe al menos un OOAP que tiene un índice de agua no contabilizada de casi el cincuenta por ciento y al menos otro con sólo el sesenta por ciento de cobertura de la población, lo que puede estar incidiendo significativamente en los niveles de oferta. Por su parte, las variables socioeconómicas muestran que hay localidades con una alta actividad industrial y otras con escasa participación de dichas actividades, así como que los niveles de ingreso monetario per cápita también muestran disparidad. En cuanto a la presión sobre los acuíferos se observa que existen OOAP que extraen agua a niveles muy por encima de la capacidad de recarga natural, mientras que otros parecen estar por debajo de tal capacidad de recarga, así como otros tantos que se explotan en niveles cercanos al equilibrio.

Cuadro 2. 4. Resumen estadístico de las variables.

Variable	Media	Mínimo	Máximo	Observaciones
DOT_LHD	363	53	679	232
TEM_MED	22	11	29	232
ARIDEZ	1,144	-1,995	2,594	232
ANC	49	13	88	232
POBATEN_P	93	60	100	232
PRESION	0.6813	0.0002	1.6422	232
ING	2,427	875	4,869	232
GAS_PM3	4	1	19	159
PIB_INDPC	18	3	54	232

Fuente: elaboración propia.

Las características descritas sobre este conjunto de variables permiten la estimación del modelo de oferta que se ha planteado. Sin embargo, vale la pena hacer un análisis

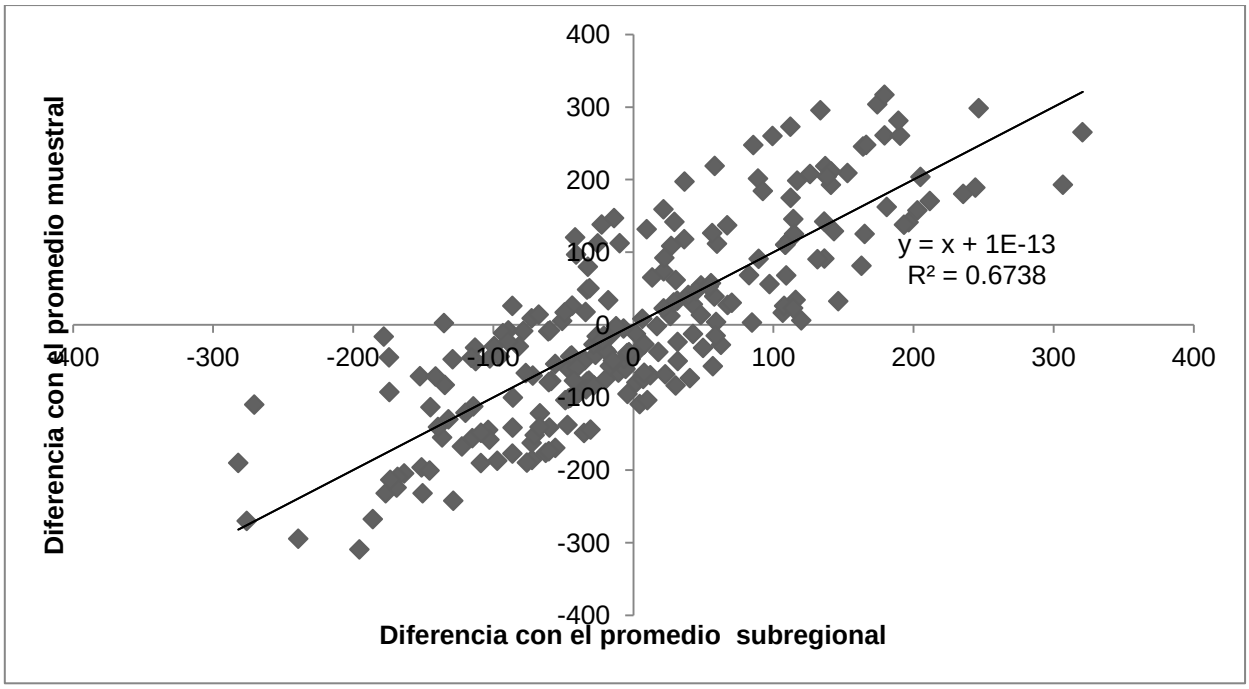
preliminar más amplio a fin de fortalecer las hipótesis planteadas y verificar la consistencia de los datos utilizados.

Para ello, en la Gráfica 2.1 se compara la diferencia entre el nivel de dotación del OOAP i con respecto al promedio de la muestra (eje de las ordenadas) con la diferencia entre el mismo OOAP con respecto al promedio de la subregión de planeación a la que pertenece (eje de las abscisas). Al enumerar los cuadrantes en forma inversa a las manecillas del reloj, en el cuadrante uno (superior derecho) se puede ubicar a los organismos cuyas dotaciones per cápita diarias están por encima tanto del promedio subregional como del promedio muestral. En el cuadrante dos (superior izquierdo) se ubican los organismos que están por debajo del promedio subregional pero por encima del promedio muestral. En el cuadrante tres (inferior izquierdo) están aquellos cuya dotación está por debajo de ambos promedios. En el cuarto cuadrante (inferior derecho) se observa a los organismos que tienen una dotación mayor que el promedio subregional pero menor que el promedio nacional.

La distribución de la nube de puntos de la Gráfica 2.1 muestra una alta probabilidad de que en el caso de haber autocorrelación espacial en la dotación, esta sea positiva. Es decir, probablemente los organismos con mayores (menores) niveles de dotación están autocorrelacionados espacialmente. No obstante, la presencia de dicha asociación espacial se verificará con los resultados de los índices global y local de Moran.

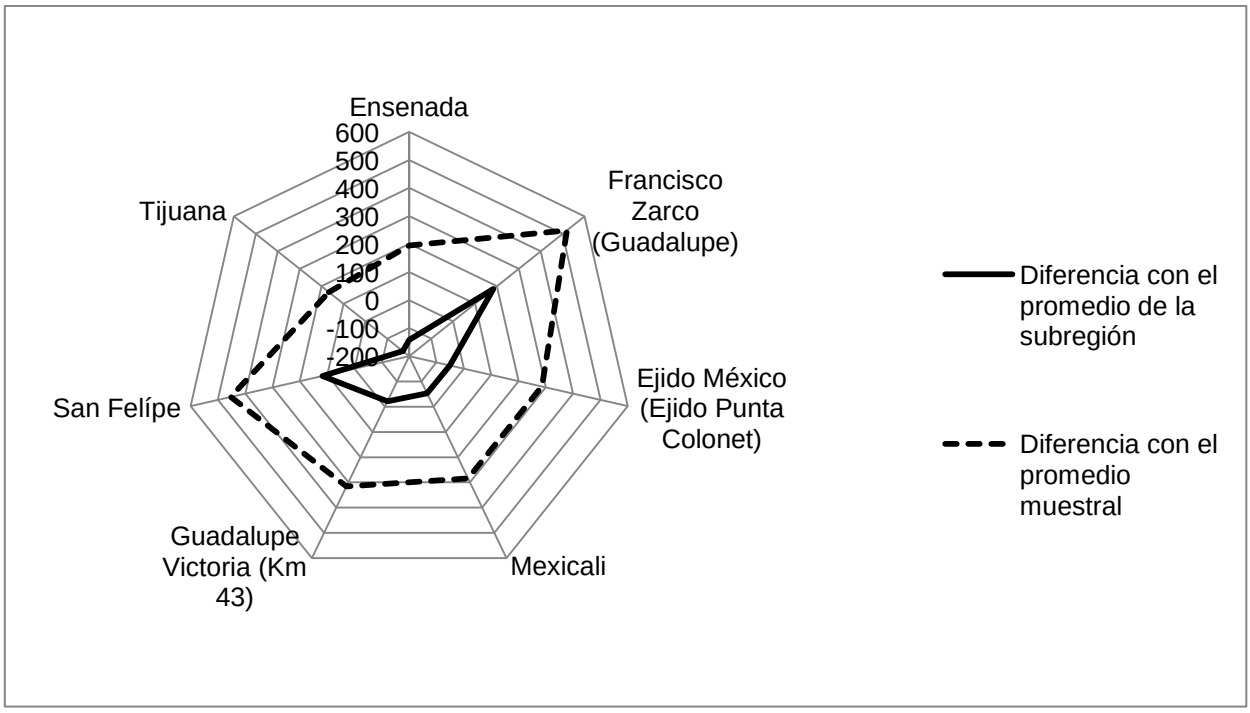
El análisis previo puede ampliarse hacia un ámbito más local. Esto permite observar la situación que se presenta concretamente en una subregión de planeación. Por ejemplo, en la Gráfica 2.2 se muestran los niveles de dotación de la subregión I.1 Baja California. Se observa que todos sus organismos registran niveles de oferta mayores al promedio de la muestra, sin embargo, Tijuana y Ensenada están por debajo del promedio de la subregión. Este análisis es factible hacerlo para cada una de las subregiones contempladas en la muestra. Sin embargo, en este trabajo el objetivo es únicamente mostrar que el análisis se puede se puede desarrollar a este nivel.

Gráfica 2. 1. Diferencia entre la dotación media de cada OOAP con respecto a los promedios subregionales y el promedio muestral.



Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 2. 2. Diferencia entre la dotación media de cada OOAP perteneciente a la subregión de planeación I.1 con respecto a los promedios subregionales y el promedio muestral.



Fuente: Elaboración propia.

Por otra parte, en el Cuadro 2.5 se muestra la matriz de correlación para las distintas variables del modelo. Se observa que la dotación media de agua urbana tiene el coeficiente de correlación más elevado con el índice de agua no contabilizada, seguido por el gasto promedio, en tanto que los coeficientes más reducidos se muestran en la correlación con la variable ingreso y la de presión sobre los acuíferos. De hecho con esta última llama la atención el signo negativo de la relación, que sería lógico bajo el supuesto de que los OOAP mantienen responden a las condiciones de sus fuentes subterráneas de abastecimiento. No obstante, es necesario esperar a la estimación econométrica del modelo para poder verificar la significancia y robustez de estas asociaciones preliminares.

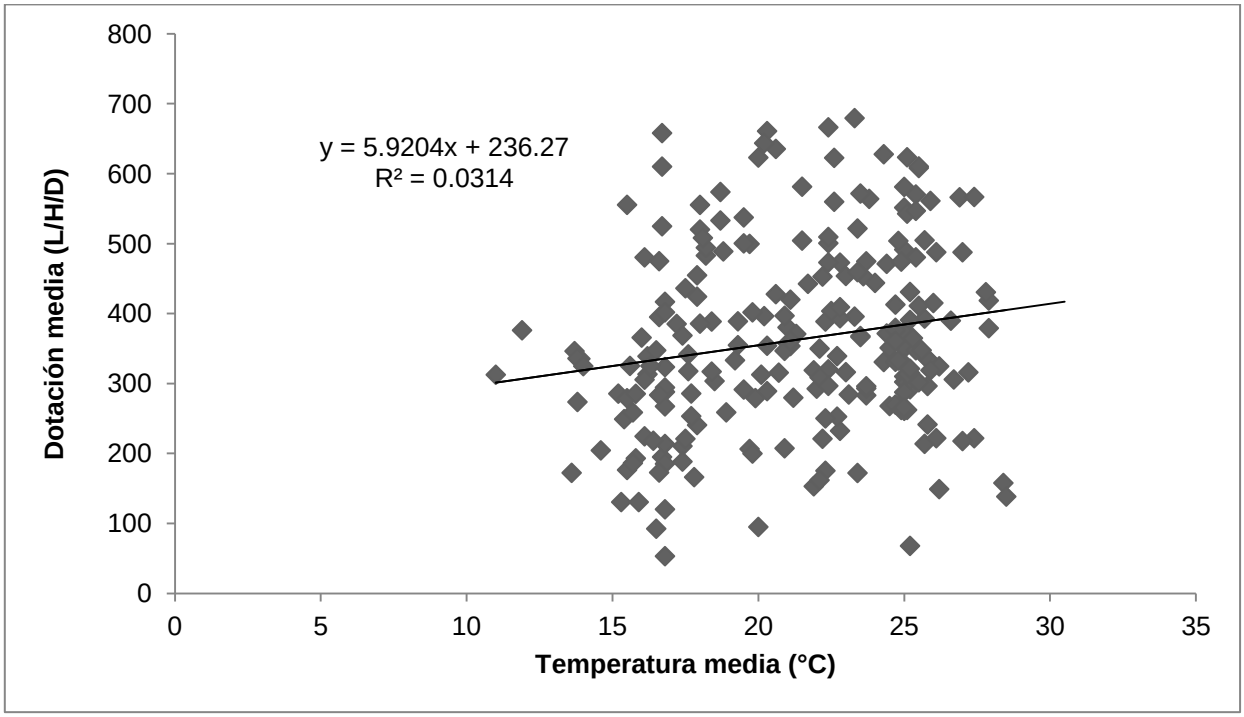
Cuadro 2. 5. Matriz de correlación de las variables del modelo de oferta.

POBATEN_P	ANC	DOT_LHD	GAS_PM3	TEMP_MED	ARIDEZ	PRESION	ING	PIB_INDPC	
1.00	-0.22	0.27	0.17	-0.10	0.21	0.18	0.24	0.02	**POBATEN_P**
	1.00	0.35	-0.37	0.18	-0.25	-0.21	-0.18	-0.08	**ANC**
		1.00	-0.29	0.18	0.10	-0.03	0.07	0.10	**DOT_LHD**
			1.00	-0.12	0.15	0.13	0.38	0.10	**GAS_PM3**
				1.00	-0.07	-0.63	0.20	-0.16	**TEMP_MED**
					1.00	0.30	0.20	0.07	**ARIDEZ**
						1.00	-0.04	0.33	**PRESION**
							1.00	0.19	**ING**
								1.00	**PIB_INDPC**

Fuente: elaboración propia.

En la Gráfica 2.3 a continuación, se relaciona la dotación media per cápita diaria con la temperatura media anual. Se observa una escasa relación entre ambas variables, sin embargo, el poder de explicación de la variable de temperatura puede ser mayor a medida que se incorporen otras variables al modelo. Este reducido poder explicativo puede entenderse quizá porque en la misma gráfica se observa que hay muchos organismos operadores que a pesar de que tienen temperaturas promedio similares, sus niveles de dotación son muy distintos.

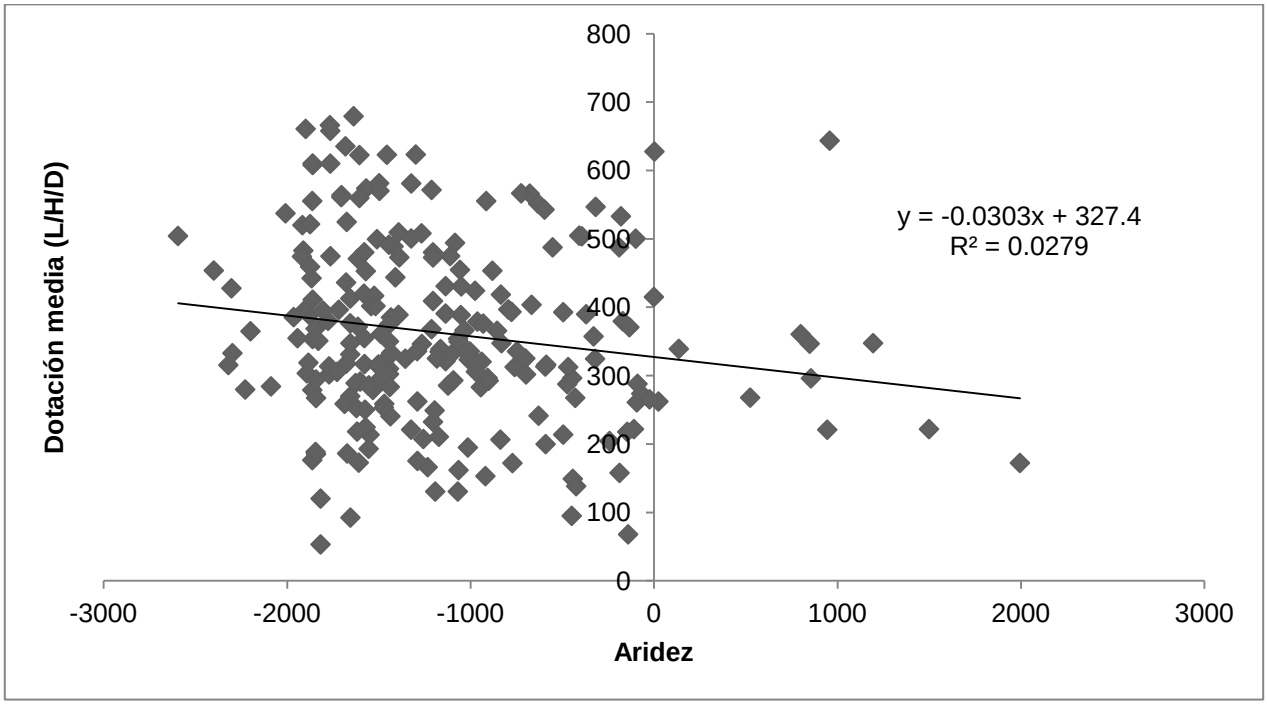
Gráfica 2. 3. Relación entre la dotación media per cápita diaria con la temperatura media anual.



Fuente: Elaboración propia.

La otra variable climática con la que se relaciona la dotación es el grado de aridez promedio anual que enfrenta cada OOAP. Por ello, en la Gráfica 2.4 se muestra la relación, donde destaca la enorme disparidad que existe en la dotación ante niveles similares de aridez, tal vez por eso el poder explicativo de esta variable, por sí sola, es muy reducido.

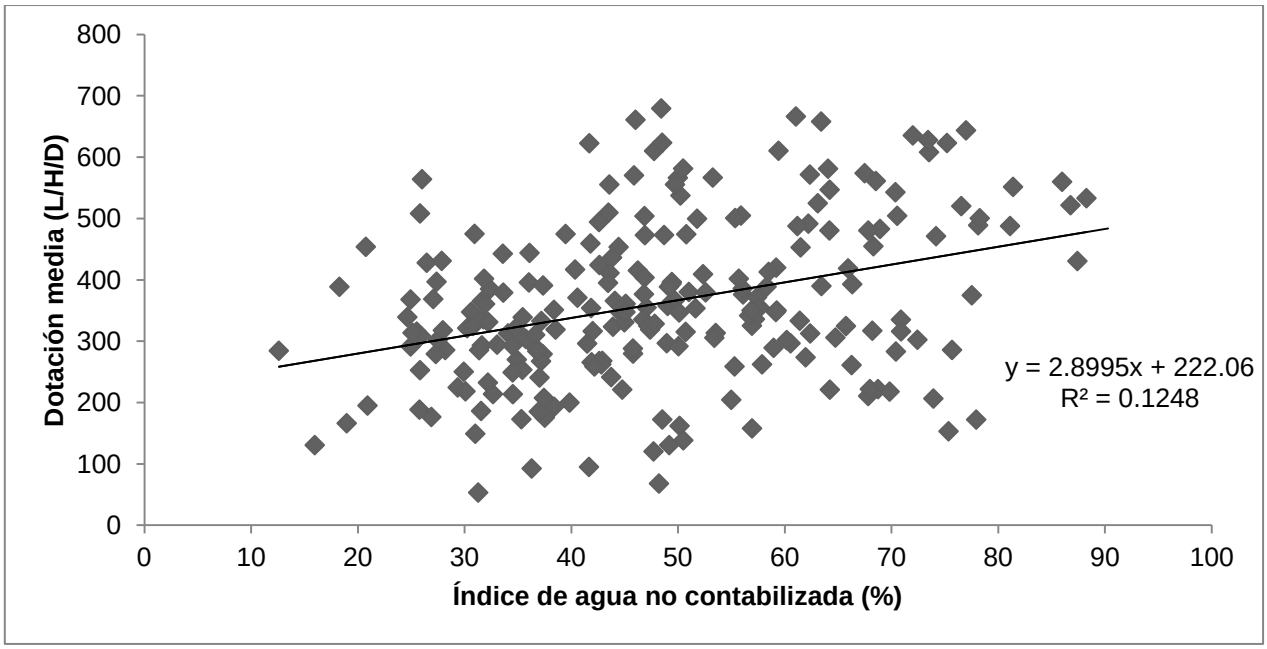
Gráfica 2. 4. Relación entre la dotación media per cápita diaria con el nivel de aridez media anual.



Fuente: Elaboración propia.

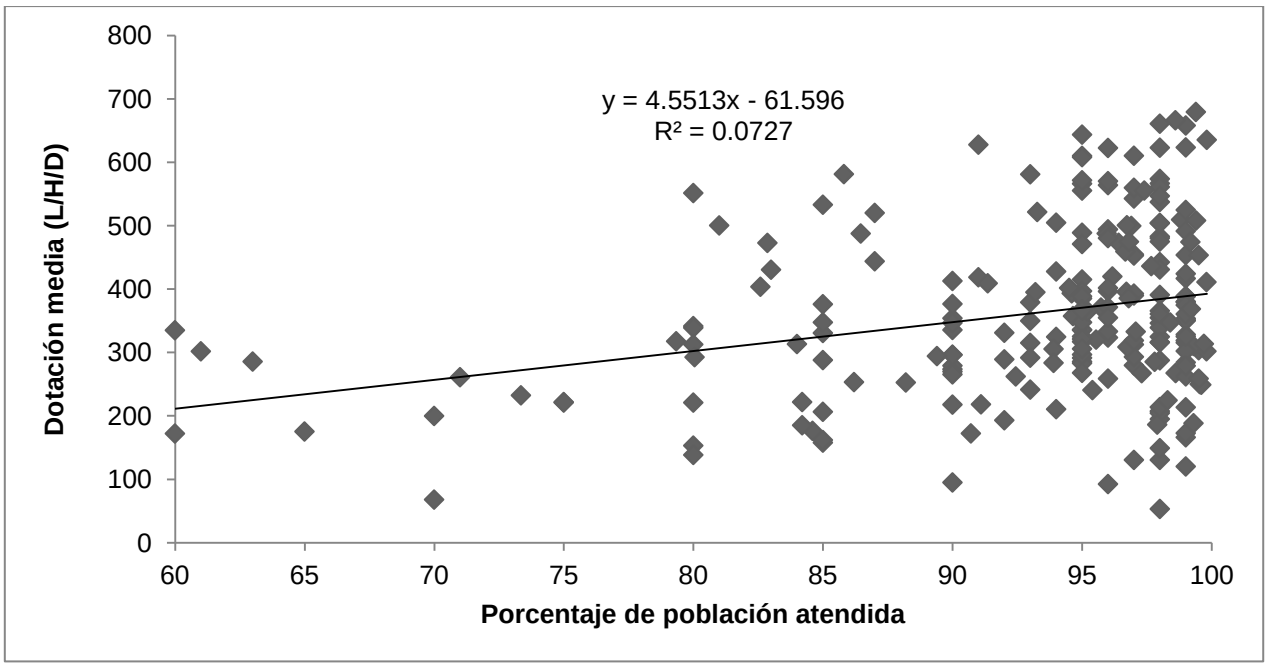
En la Gráfica 2.5 se muestra la relación de la dotación con el índice de agua no contabilizada, donde sí se observa un importante poder explicativo de dicha variable. Esto significa que, en promedio, un OOAP que enfrenta un alto índice de agua no contabilizada muestra un nivel de oferta elevado. En la gráfica 2.6 se observa la relación de la dotación con el porcentaje de población atendida del sistema. En ella se observa que en la mayoría de los OOAP los niveles de dotación varían significativamente a pesar de tener una cobertura muy similar. En las Gráficas 2.9 y 2.10 se relaciona la dotación con la variable gasto promedio por metro cúbico y con la de ingreso per cápita, respectivamente, donde se observa que la relación con ellas, individualmente, se muestra muy reducida. De igual manera, destacan las importantes disparidades registradas en la dotación ante niveles casi similares de dichas variables.

Gráfica 2. 5. Relación entre la dotación media per cápita diaria con el índice de agua no contabilizada.



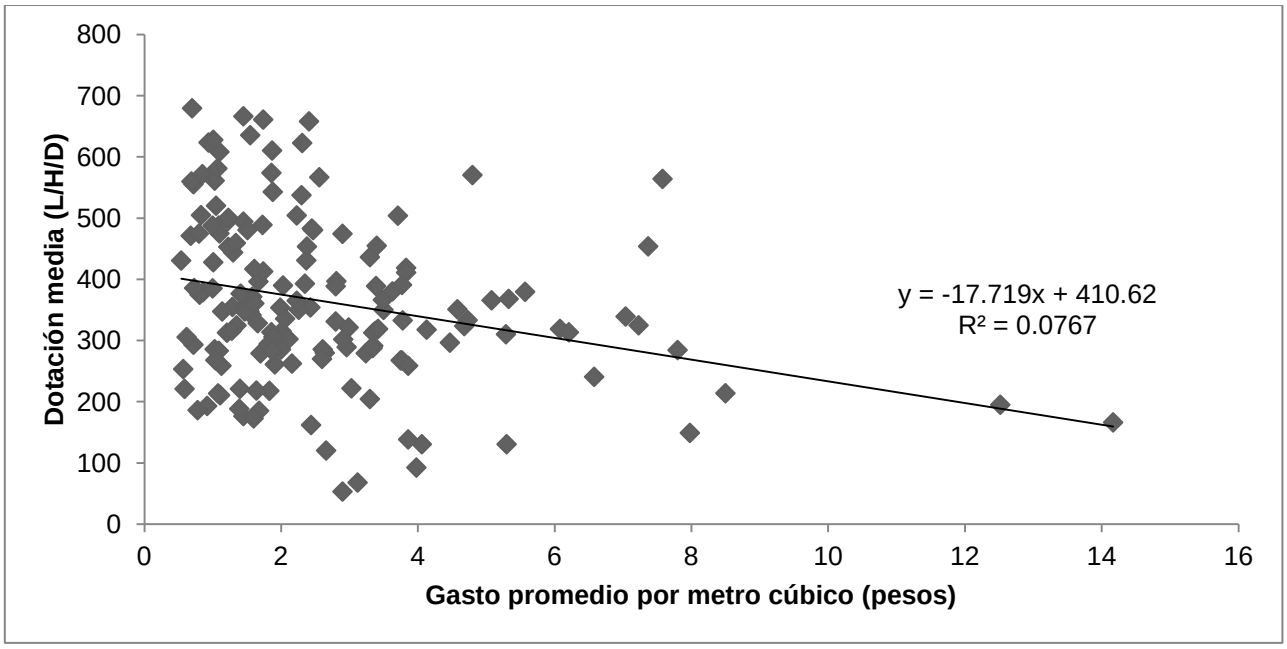
Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 2. 6. Relación entre la dotación media per cápita diaria con el porcentaje de población atendida.



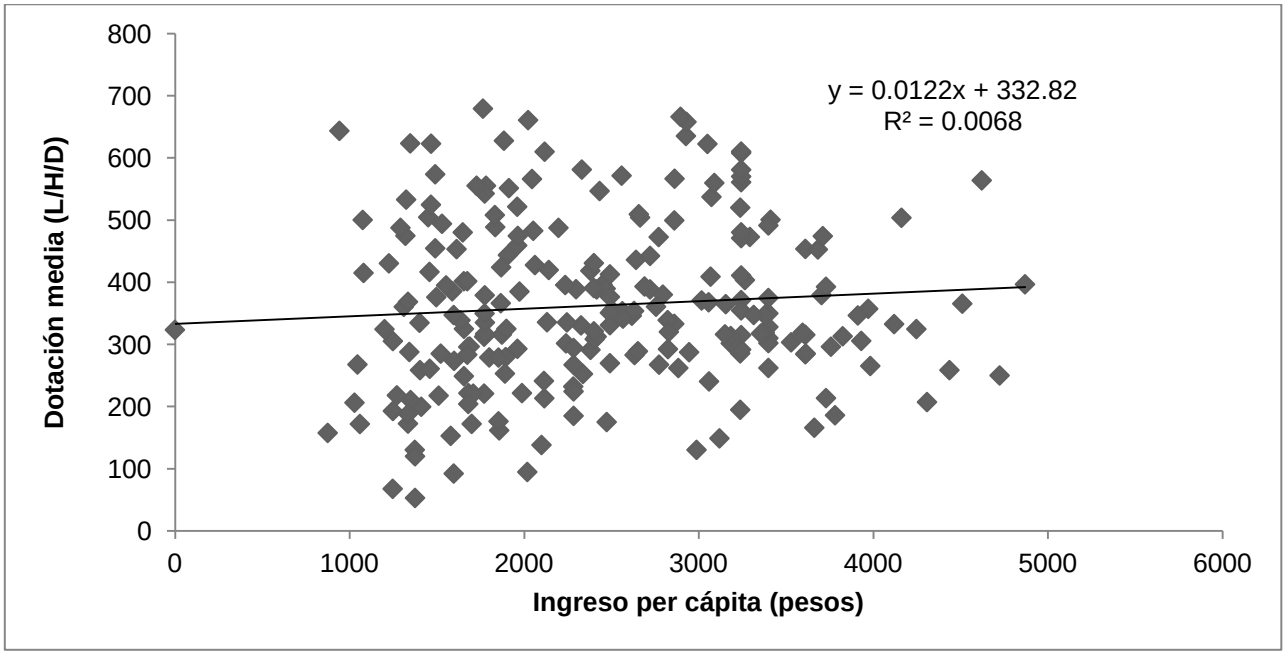
Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 2. 7. Relación entre la dotación media per cápita diaria con el gasto promedio por metro cúbico.



Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 2. 8. Relación entre la dotación media per cápita diaria con el nivel de ingreso per cápita.



Fuente: Elaboración propia.

A través de este análisis preliminar de las variables, se ha podido mostrar que el análisis de los determinantes de la dotación es un asunto relevante. De este modo se pretende evaluar si las variables consideradas en el modelo representan los factores que determinan su comportamiento. Por lo que una vez obtenidas las estimaciones correspondientes se podrá tener información más precisa para hacer recomendaciones de política referentes al tema.

2.5. Resultados

En este apartado se presentarán los resultados obtenidos para cada uno de los métodos de análisis planteados. Primeramente se muestran las pruebas de asociación espacial para la dotación LHD. Luego los resultados de las regresiones del modelo por MCO, a los que se les aplican las pruebas de los multiplicadores de Lagrange. Con ello se determina que la estimación debe hacerse mediante el modelo de error espacial, cuyos resultados serán finalmente presentados.

2.5.1. Análisis exploratorio de datos espaciales

Como se mencionó en la metodología, el AEDE que se realizó en este trabajo consistió en la estimación y contrastación de los estadísticos global y local de Moran a nivel univariante, en este caso para la variable LHD. En el caso del indicador global de Moran, bajo los criterios de contigüidad establecidos, encontramos evidencia moderada de asociación espacial positiva con un valor de I=0.21, mostrado en el Cuadro 2.6, donde además se observa que dicho valor es significativo a un nivel de confianza del 99 por ciento. Esto significa que en el territorio mexicano, para esta muestra considerada, existe evidencia significativa de la presencia de una estructura espacial de OOAP´s que tienen valores similares de dotación.

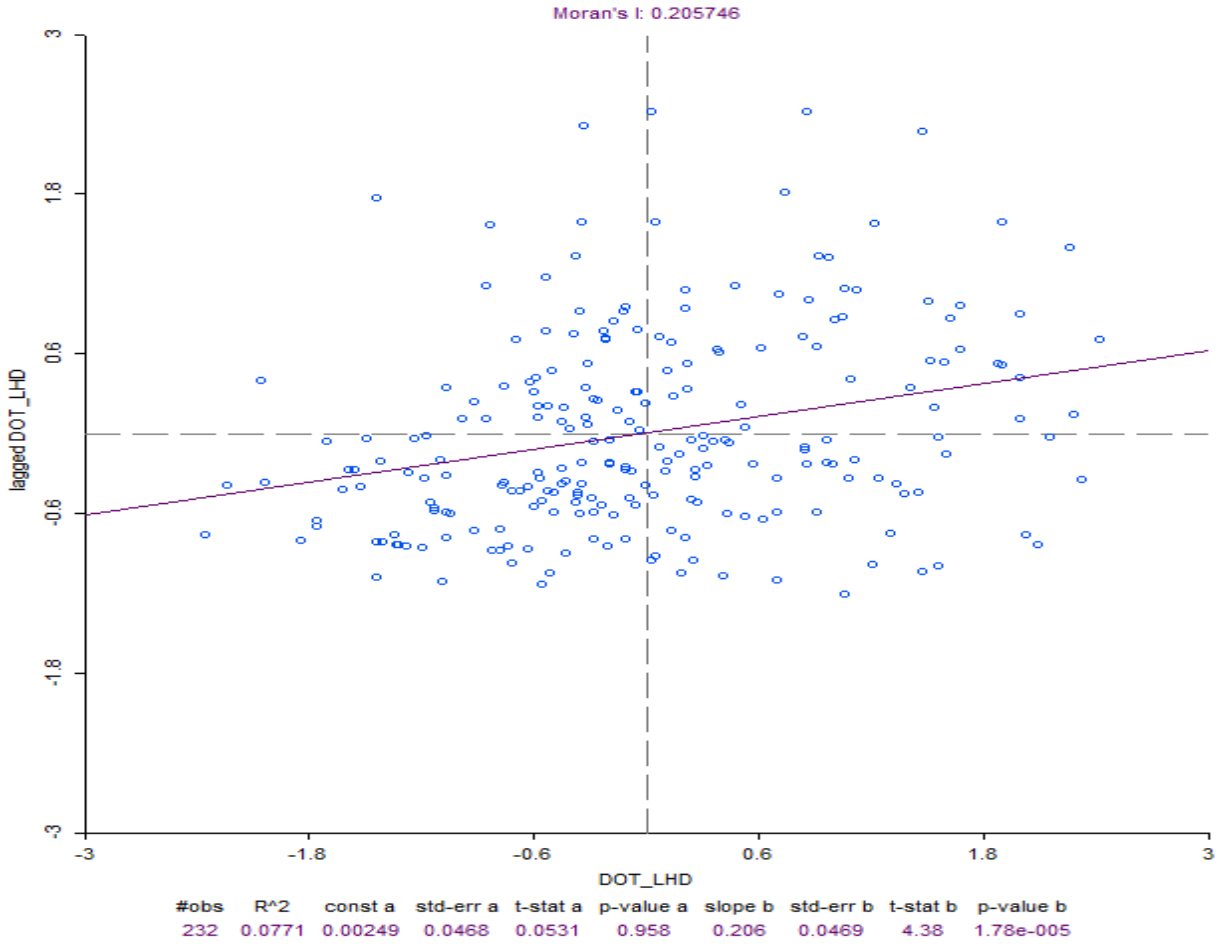
Para complementar este indicador global, en la Figura 2.5 se observa el diagrama de dispersión de Moran. En el eje de las ordenadas se registra el valor de la variable LHD con retardo espacial y en el de las abscisas el valor de LHD normalizado.

Cuadro 2. 6. Índice Global de Moran.

Variable	I de Moran	Valor Z	Nivel de Confianza
DOT_LHD	0.21	4.04	0.01

Fuente: Elaboración propia.

Figura 2. 5. Diagrama de dispersión de Moran univariante para LHD.

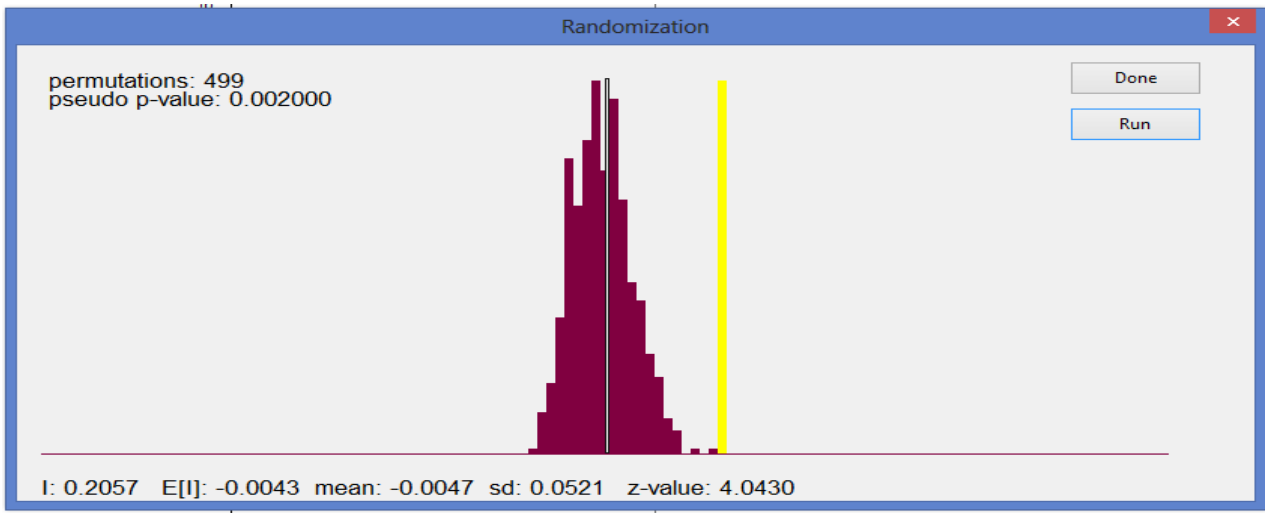


Fuente: Elaboración propia por medio del software Geoda.

Para concluir con el contraste global de Moran, en la Figura 2.6 se presenta la aleatorización del indicador con 499 permutaciones. Esto significa que se calculó varias veces mediante simulaciones aleatorias, cuya distribución se muestra en las barras de color morado, siendo la barra amarilla el valor del I de Moran observado. En este

sentido, la interpretación consiste en observar que después de todas esas estimaciones no hubo una sola que fuera mayor al valor observado de 0.21. Se muestra, además, la significancia estadística en la parte inferior de la gráfica y por medio del pseudo valor p de la esquina superior izquierda.

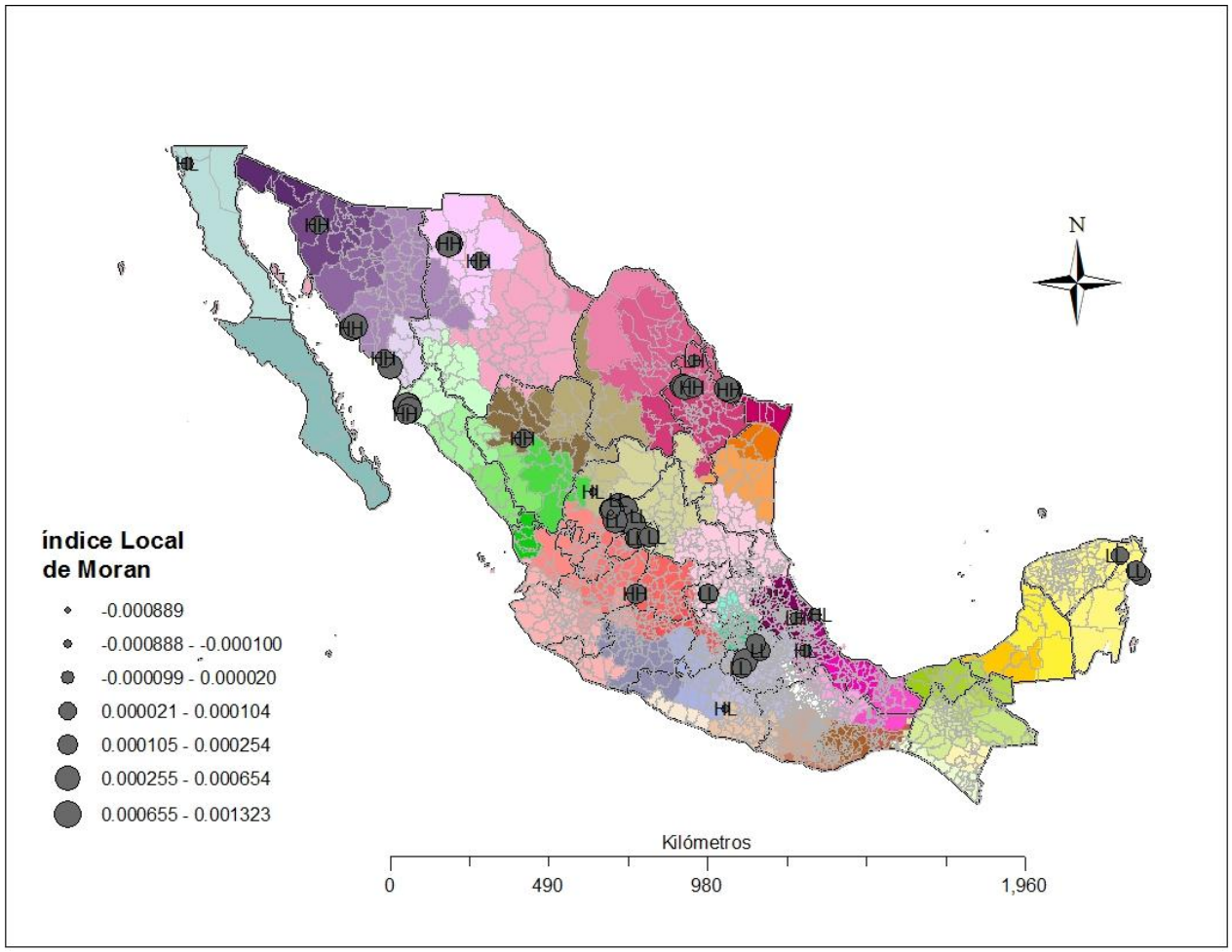
Figura 2. 6. Aleatorización del diagrama de dispersión de Moran para LHD.



Fuente: Elaboración propia por medio del software Geoda.

Como se mencionó en la metodología, este indicador global no es sensible a la inestabilidad en la distribución espacial de la variable en estudio, en este caso LHD. Es por ello que se hace necesario incorporar el contraste local de Moran. Con esto se puede averiguar si en el territorio existen agrupaciones de OOAP´s que concentran valores más bajos o más altos de LHD predominando la aleatoriedad en el resto del territorio. En la Figura 2.7 se muestra evidencia sobre la presencia de agrupamientos en la dotación que brindan los distintos OOAP´s. De manera general, se puede observar que en la mayor parte de la región norte se aglomeran los de mayor dotación, mientras que en la parte centro y sur del país se observa mayor número de agrupaciones con baja dotación.

Figura 2. 7. Distribución espacial del contraste local de Moran para la dotación media de agua urbana en México, 2010.



Nota: los colores delimitan las 61 subregiones de planeación que conforman las 13 regiones hidrológico administrativas en que se divide el territorio.

Fuente: Elaboración propia con base al marco geoestadístico nacional del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) y los datos estadísticos de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) 2011.

Estos resultados son interesantes, ya que nos muestran evidencia de que los niveles de oferta de agua urbana de cada OOAP en el país, están influenciados por sus contrapartes contiguas. Por un lado, esto consolida la hipótesis sobre la presencia de efectos espaciales en el comportamiento de LHD, cuyos determinantes se evaluarán más adelante. Al mismo tiempo que se confirmará econométricamente dicha asociación. Y por otro lado conducen a inferir que la gestión del agua urbana requiere de acciones de carácter regional y que cada organismo requiere la participación de sus

contrapartes más cercanas para emprender iniciativas de mejora en el manejo de este recurso.

2.5.2. Estimación econométrica de los determinantes de la oferta

Para la estimación del modelo de oferta se siguió el proceso descrito en la Figura 2.4. Se estimó primero el modelo por MCO para dos paquetes distintos de variables explicativas. El primero está conformado por las variables TEM_MED, ANC, POBATEN_P y ARIDEZ. El segundo contiene a éstas mismas e incorpora al resto de variables explicativas propuestas. En los resultados mostrados en el Cuadro 2.7 se observan sólo los coeficientes para el primer paquete variables independientes. Se hacen diversas combinaciones entre las mismas, con la finalidad de mostrar la consistencia de las estimaciones. En este sentido, las distintas estimaciones del modelo muestran consistencia. Todas las variables, bajo todas las combinaciones realizadas, muestran significancia estadística y se cumple el sentido de las relaciones previstas con la variable endógena. Sin embargo, el modelo que muestra un mejor ajuste es el (1), que contempla las cuatro variables. El valor de R^2 ajustado es de 0.29, siendo el mayor de todos los modelos mostrados en el cuadro, además de que se tiene un nivel de confianza del 95% de que los coeficientes estimados son distintos de cero, tal como lo muestra el estadístico F, así como el mayor nivel del logaritmo de verosimilitud.

Centrando el análisis en el modelo (1) del Cuadro 2.7, el significado de los valores de los parámetros estimados indica, *ceteris paribus*, que por cada grado centígrado que aumente la temperatura promedio, la oferta de agua aumentará en 5.6 litros por habitante al día. Por otra parte, la oferta aumentará en 3.6 LHD por cada punto porcentual de aumento en el índice de agua no contabilizada. Un aumento de un por ciento en la cobertura del servicio, significará un aumento en la oferta de 5.5 LHD. Finalmente, por cada milímetro que aumente la aridez, la oferta aumentará 0.04 LHD. En general, el modelo muestra un buen ajuste. El siguiente paso será evaluar la presencia de una estructura espacial en los residuos de estas estimaciones. De modo que a continuación se realizan las pruebas pertinentes para determinarlo.

Cuadro 2. 7. Resultados de regresión por MCO. Variable dependiente dotación media por habitante al día (l/h/d).

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
CONSTANTE	-485.3**	165.1**	-385.1**	-490.4**	-362.6**	34.02	-226.4**	236.3**	222.1**	-61.6	327.4**
	(-4.593)	(3.227)	(-3.843)	(-4.537)	(-3.670)	(0.6607)	(-2.027)	(5.03)	(8.606)	(-0.615)	(20.36)
	[0.0000]	[0.0014]	[0.0002]	[0.0000]	[0.0003]	[0.5095]	[0.0438]	[0.0000]	[0.0000]	[0.5394]	[0.0000]
TEM_MED	5.622**	7.219**		4.704**		5.347**	7.627**	5.920**			
	(2.959)	(3.336)		(2.444)		(2.648)	(3.628)	(2.731)			
	[0.0034]	[0.0010]		[0.0153]		[0.0087]	[0.0004]	[0.0068]			
ANC	3.616**		3.563**	3.370**	3.812**	3.193**			2.900**		
	(7.584)		(7.409)	(6.987)	(7.94)	(6.383)			(5.728)		
	[0.0000]		[0.0000]	[0.0000]	[0.0000]	[0.0000]			[0.0000]		
POBATEN_P	5.476**		6.172**	6.326**	5.400**		4.271**			4.551**	
	(5.531)		(6.239)	(6.45)	(5.365)		(3.913)			(4.246)	
	[0.0000]		[0.0000]	[0.0000]	[0.0000]		[0.0001]			[0.0000]	
ARIDEZ	0.03685**	0.03765**			0.03235**	0.05178**	0.02454**				0.03030**
	(3.423)	(3.202)			(2.985)	(4.675)	(2.064)				(2.568)
	[0.0007]	[0.0016]			[0.0031]	[0.0000]	[0.0401]				[0.0109]
OBSERVACIONES	232	232	232	232	232	232	232	232	232	232	232
R^2 AJUST.	0.2946	0.0648	0.2455	0.2615	0.2707	0.2031	0.1198	0.0272	0.121	0.0687	0.0236
F	25.124	9.006	38.574	28.265	29.574	20.625	11.481	7.458	32.81	18.029	6.593
LOG. VERO.	-1417	-1451	-1426	-1423	-1422	-1432	-1444	-1456	-1444	-1451	-1457

*Significativo al 90%;** significativo al 95%.

Entre paréntesis los estadísticos *t* y en corchetes el valor *p*.

Fuente: Elaboración propia.

En el Cuadro 2.8 se muestran los diagnósticos de dependencia espacial en los residuos del modelo (1) del Cuadro 2.7. La primera prueba corresponde al indicador de Moran, con un valor de I=0.26 que es significativo estadísticamente. Se corrobora la significancia a través del respectivo diagrama de dispersión mostrado en la Figura 2.8, así como la correspondiente aleatorización con 499 permutaciones (Figura 2.9). Ahora bien, la prueba del índice de Moran no proporciona evidencia sobre el modelo que se debería estimar. Para ello, se realizan las pruebas de los multiplicadores de Lagrange, tanto para ver si la autocorrelación espacial se da en la variable dependiente o si se encuentra en el término residual. Los resultados muestran que ambas pruebas son significativas. Así que en apego al procedimiento de la Figura 2.4, el siguiente paso es analizar los resultados que arrojan las pruebas robustas de los multiplicadores de Lagrange, donde se observa que sólo el correspondiente a la autocorrelación espacial en los residuos es significativo, por lo tanto, el modelo que se estima es el denominado modelo de error espacial, cuya forma general es la mostrada en (2.7) y (2.8).

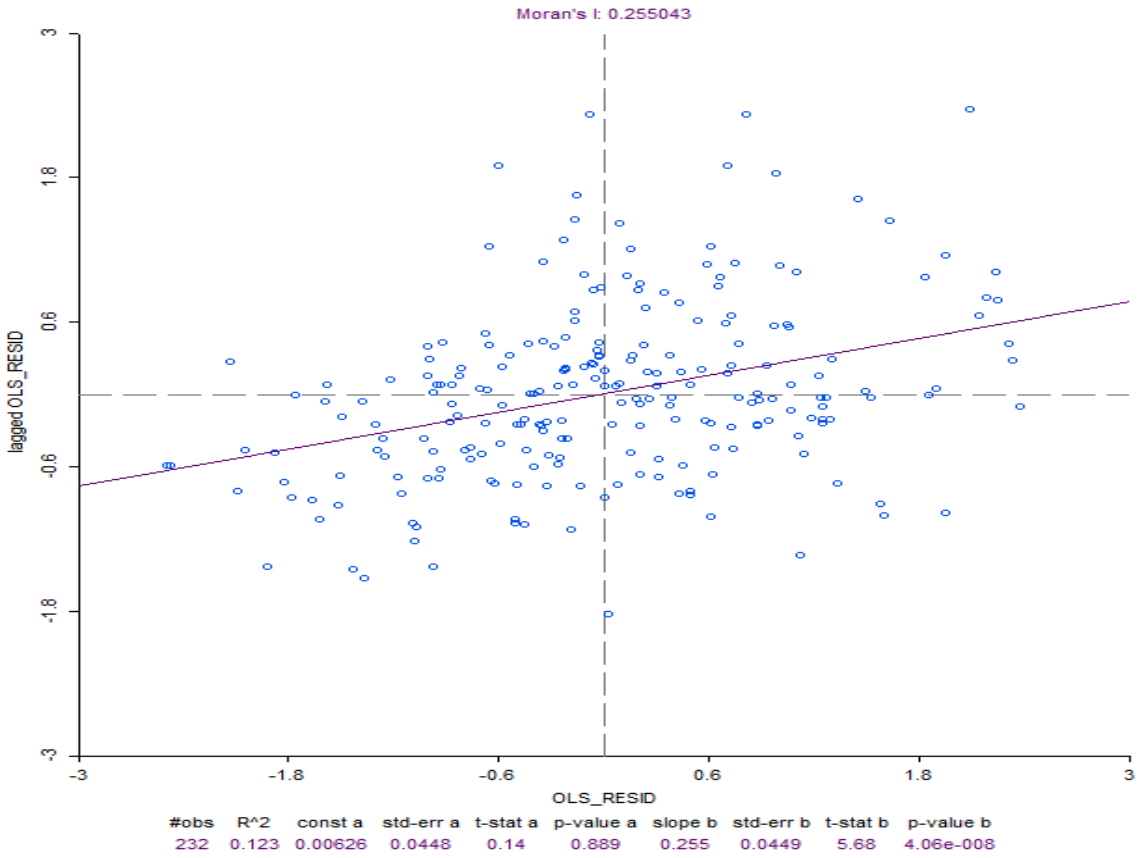
Cuadro 2. 8. Diagnóstico de dependencia espacial de los residuos de MCO.

Prueba	Índice de Moran/Grados de Libertad	Valor Z	Valor P
I de Moran (residuos)	0.26	4.94	0.00000080
Multiplicador de Lagrange (rezago)	1	10.97	0.00092490
Multiplicador de Lagrange robusto (rezago)	1	2.27	0.13202650
Multiplicador de Lagrange (error)	1	21.50	0.00000350
Multiplicador de Lagrange robusto (error)	1	12.79	0.00034770
Multiplicador de Lagrange (SARMA)	2	23.77	0.00000690

Fuente: Elaboración propia.

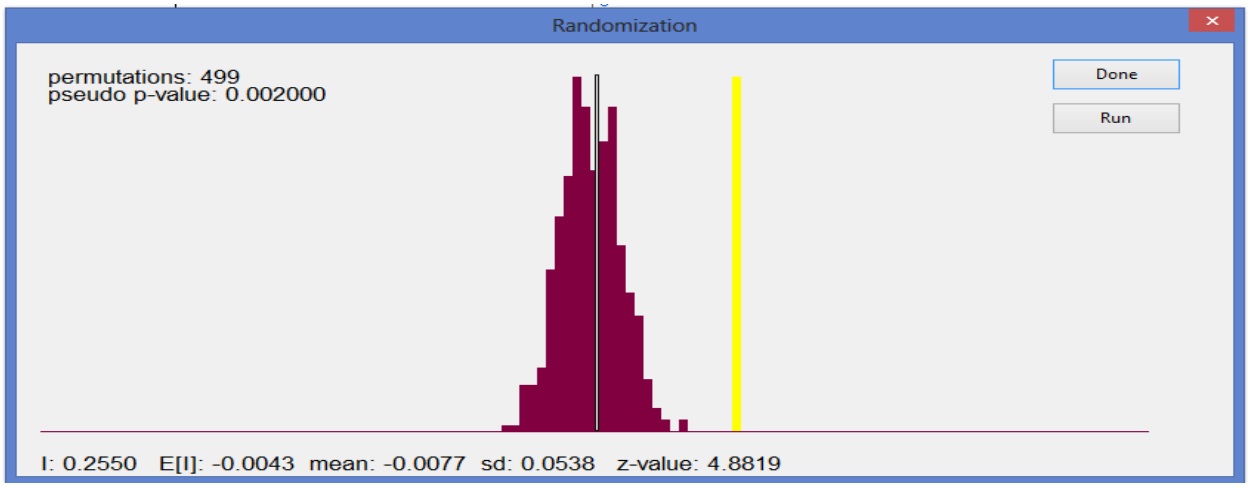
Entonces el siguiente paso será la estimación del modelo de error espacial, esperando confirmar la presencia de autocorrelación espacial en el término residual del modelo, tal como lo sugieren los resultados de este diagnóstico.

Figura 2. 8. Diagrama de dispersión de Moran univariante para los residuos de la estimación por MCO.



Fuente: Elaboración propia

Figura 2. 9. Aleatorización del diagrama de dispersión de Moran para los residuos de MCO.



Fuente: Elaboración propia.

En el Cuadro 2.9 se muestran los resultados de cuatro modelos. El primero (1) corresponde al estimado por MCO en el Cuadro 2.7, que se repite para compararlo con el modelo (2), que se estima con la especificación de error espacial. Lo primero que se debe observar es la significancia del parámetro Lambda, que determina la presencia de autocorrelación espacial en el término de error, que en este caso resulta altamente significativo. Al comparar el valor del coeficiente de determinación de ambos modelos, se observa que el valor mayor corresponde al modelo de error espacial, en tanto que los valores que toma dicho modelo en el criterio de Akaike y del logaritmo de verosimilitud corroboran un mejor ajuste que el estimado por MCO. En cuanto a los coeficientes de las variables explicativas vemos que todos aumentaron en cantidades muy reducidas y mantienen el mismo nivel de significancia y sentido de la relación, dando evidencia de la consistencia de los resultados estimados.

En los modelos (3) y (4) se muestran los resultados para el segundo paquete de variables explicativas que se señaló al principio de esta sección. Esto implica la reducción de la muestra a 159 observaciones. A su vez, esto reduce el número de subregiones de planeación consideradas, pasando a ser sólo 39. Luego, al realizar las mismas fusiones de subregiones que en la muestra previa, la cantidad de éstas, para la construcción de la matriz de ponderaciones espaciales, es ahora de sólo 31. Es importante destacar que en ambas matrices, para los modelos de regresión, el criterio es solo la distancia fija, ya que el software utilizado, en este caso, no permite un criterio de contigüidad de distancia inversa.

En lo que respecta a los modelos, se siguió el mismo procedimiento de la Figura 2.4 para las estimaciones. Así, el modelo (3) corresponde a las estimaciones por MCO. Se muestra que todas las variables son significativas a excepción de PRESION e ING. No obstante, el modelo muestra muy buen ajuste al evaluar los estadísticos de R cuadrado ajustado, el criterio de Akaike y el logaritmo de verosimilitud.

Cuadro 2. 9. Coeficientes de los determinantes de la dotación media de agua urbana.

	CONSTANTE	TEMP_MED	ANC	POBATEN_P	ARIDEZ	GAS_PM3	PRESION	ING	PIB_INDPC	LAMBDA	R^2	R^2 ajustado	Criterio de Akaike	Logaritmo de Verosimilitud	Observaciones
(1)	-485.266***	5.622***	3.616***	5.476***	0.037***						0.31	0.29	2844.77	-1417.39	232
	(-4.593)	(2.959)	(7.584)	(5.531)	(3.423)										
	[0.000]	[0.003]	[0.000]	[0.000]	[0.001]										
(2)	-528.195***	5.739***	4.051***	5.690***	0.037***					0.312***	0.38		2825.02	-1407.51	232
	(107.741)	(2.154)	(0.458)	(0.986)	(0.012)					(0.066)					
	[0.000]	[0.008]	[0.000]	[0.000]	[0.003]					[0.000]					
(3)	-501.628***	6.749**	2.867***	5.512***	0.037**	-11.588***	-22.265	0.017	2.121**		0.38	0.35	1948.54	-965.27	159
	(154.112)	(3.005)	(0.593)	(1.465)	(0.015)	(3.763)	(28.335)	(0.011)	(1.038)						
	[0.001]	[0.026]	[0.000]	[0.000]	[0.015]	[0.002]	[0.433]	[0.131]	[0.043]						
(4)	-551.336***	5.515*	2.859***	6.528***	0.023	-12.531***	-12.855	0.023**	0.798	0.360***	0.49		1927.09	-954.54	159
	(148.696)	(3.140)	(0.562)	(1.301)	(0.016)	(3.402)	(30.505)	(0.011)	(1.128)	(0.069)					
	[0.000]	[0.079]	[0.000]	[0.000]	[0.147]	[0.000]	[0.673]	[0.035]	[0.479]	[0.000]					

*Significativo al 90%;** significativo al 95%; ***significativo al 99%.

Los modelos (1) y (3) se estimaron mediante MCO, (2) y (4) se estimaron mediante un modelo de error espacial.

Entre paréntesis el valor de los errores estándar y en corchetes los valores *p*.

Fuente: Elaboración propia.

A esta estimación por MCO se le realiza el diagnóstico de autocorrelación espacial en los residuos. Se encuentra un valor para el Indicador de Moran de I=0.34, que indica la presencia de una autocorrelación positiva moderada en los residuos. A partir de esto, se hacen las pruebas de los multiplicadores de Lagrange para determinar el tipo de modelo que mejor ajuste esos efectos espaciales. En la primera versión de las pruebas ambas resultan significativas, de modo que se tienen que revisar las versiones robustas. El diagnóstico indica que el modelo que mejor ajusta la dependencia espacial de los residuos es el modelo de error espacial, nuevamente. En las estimaciones, el coeficiente de Lambda es altamente significativo, dando evidencia de la presencia de efectos espaciales en el modelo. Además, el coeficiente de R cuadrada es de 0.49, el más alto respecto a todos los modelos, al igual que mantiene los mejores niveles para las pruebas del logaritmo de verosimilitud y del criterio de Akaike.

En cuanto a la significancia de las variables, PRESION sigue siendo no significativa, pero ahora ING sí lo es, sin embargo, ahora la que no es significativa es la de PIB_INDPC. En este sentido, lo importante es la inferencia que se puede tener a través de estos resultados, pues en términos de la interpretación el caso de la presión es un resultado muy interesante, ya que puede ser evidencia de la nula relación de la extracción de agua con las condiciones ambientales, específicamente con el grado de presión sobre los acuíferos. De este modo, el modelo con este paquete de variables representa una gran oportunidad de evaluar la relación con los niveles de oferta, sean o no significativas en los modelos, pues aún así, son hallazgos interesantes y de gran utilidad para la inferencia e interpretación.

2.6. Análisis e interpretación

Los resultados presentados en la sección previa proporcionan información muy relevante sobre el tema de la gestión del agua urbana en México. Estas aportaciones se pueden agrupar en dos vertientes, una relacionada con los aspectos metodológicos y la otra con las implicaciones que se derivan de las estimaciones de los modelos econométricos de los determinantes de la oferta.

Comenzando por el lado metodológico, un aspecto fundamental ha sido tomar a la dotación media por habitante al día como la proxy de la oferta, ya que la normalización del volumen extraído respecto a la población total de la localidad, o localidades que tiene por responsabilidad atender cada OOAP, es posible que los datos de extracción sean comparables entre dichos organismos.

Por otra parte, se ha explorado la presencia de patrones espaciales en los niveles de oferta que registra cada OOAP. Para ello se han aplicado los análisis estadísticos que se han venido desarrollando para tal fin, como lo son los indicadores global y local de Moran.

De manera preliminar, en el mapa de la Figura 2.1 se puede visualizar la presencia de patrones regionales en la dotación media per cápita diaria. Esto se verifica con la estimación del indicador global de Moran, que muestra una moderada asociación espacial positiva de esta variable. Asimismo, a través del indicador local de Moran se puede verificar que, en general, dichos patrones son los que contribuyen a la presencia de autocorrelación espacial detectada mediante el indicador global.

Cabe mencionar que una parte importante para las estimaciones de los indicadores de Moran, es la definición del criterio de contigüidad espacial que se considera al momento de la construcción de la matriz de pesos espaciales. Pues de acuerdo con autores como Stakhovych y Bijmolt (2009) los resultados de estos indicadores son altamente sensibles a la especificación de dicha matriz. En este sentido, un siguiente paso sería dedicar esfuerzos en tratar de definir una matriz que represente el fenómeno de una manera más precisa. No obstante, la especificación de la matriz para este trabajo mantiene una sólida consistencia con el fenómeno analizado, que bien puede servir de referencia para la línea de acción planteada al respecto.

Entonces, lo que vemos en el mapa de la Figura 2.7 es la agrupación de OOAP's que poseen valores similares o disímiles de la oferta de agua, bajo el criterio de contigüidad de distancia inversa, resultados que se pueden interpretar como el nivel de dependencia espacial, altamente significativa, que existe al interior de las subregiones de planeación señaladas en dicho mapa. Es decir, la oferta no está distribuida de forma aleatoria en las distintas regiones del país, al contrario, su nivel en un determinado OOAP depende del valor que toma en los OOAP contiguos.

Esta evidencia sobre la presencia de asociación espacial en la oferta, conduce a formular la hipótesis de que existen efectos espaciales que inciden en el comportamiento de los niveles de oferta de los organismos operadores. Para la contrastación de esta hipótesis se realizan primero las pruebas estadísticas sobre los residuos de las estimaciones obtenidas mediante MCO. A partir de este diagnóstico se encuentra que las estimaciones obtenidas por la especificación espacial de los modelos, específicamente por medio de un modelo de error espacial, muestran un mejor ajuste, así como elementos confirmatorios de la interacción espacial.

El marco metodológico que se siguió en este capítulo permite identificar la incidencia del espacio en la oferta. Ofrece resultados más robustos que los que se obtienen aplicando las técnicas econométricas más tradicionales. Esto genera información más precisa y consistente con los hallazgos de los trabajos que han sido citados en la sección de literatura y con los que se mantiene cierto grado de similitud.

En cuanto a las implicaciones de estos resultados se puede decir que al encontrar evidencia de dependencia espacial en la oferta, las políticas de gestión del agua urbana deben diseñarse teniendo en cuenta el impacto regional. Esto significa que los OOAP's deben desempeñarse con un mayor grado de sinergia entre sí, ya que sus decisiones relacionadas con la oferta de agua pueden influir significativamente en la oferta de los OOAP's más cercanos. Esto abre la posibilidad de que se puedan implementar esquemas de gestión y desempeño que sean acordes a sus características, a través de lo que se conoce como spillovers tecnológicos o de conocimientos.

Esta asociación espacial muestra que en las regiones de menor disponibilidad natural de agua es donde se concentran los mayores niveles de oferta, es decir, la zona norte del país. En estas regiones se concentra, además, una parte importante de la población y de la actividad económica, de manera que si sigue aumentando esta concentración, los problemas por el acceso al agua pueden ser cada vez más severos, dado que estos niveles actuales de dotación pueden ser insostenibles, a pesar de que se concentren esfuerzos por propiciar un desempeño más eficiente de los OOAP's, ya que las condiciones naturales terminarán teniendo mayor peso.

En este sentido, una opción es diseñar políticas que promuevan una mayor actividad económica en zonas del país que puedan garantizar un mayor acceso al agua, a niveles sostenibles a largo plazo. Aunque dichas políticas deberán ir acompañadas de instrumentos que contribuyan a generar un cambio en los patrones de uso del agua, así como de incentivos para que los OOAP se desempeñen de manera más eficiente.

En relación a los determinantes de la oferta, las variables climáticas resultaron significativas en el modelo. Esto refuerza lo planteado anteriormente, las zonas más áridas requieren de una mayor oferta de agua, así como las localidades que enfrentan altas temperaturas, características propias de la zona norte del país. Esta sensibilidad al clima indica que la oferta sí responde a las exigencias de variables exógenas como estas que escapan al control interno de los OOAP.

La relación con las variables socioeconómicas de ingreso per cápita y de PIB per cápita industrial, muestran relaciones inconsistentes, ya que en el modelo por MCO la primera no resulta significativa, mientras que la segunda no resulta significativa en el modelo de error espacial, de modo que es difícil establecer una relación clara con estas variables. Sin embargo, basando el análisis en el modelo que ofrece un mejor ajuste (el de error espacial) entonces se puede verificar que el aumento de los ingresos de los habitantes de las localidades que atienden los OOAP influye de manera directa en los niveles de oferta, lo que resulta razonable bajo el supuesto de que a mayor nivel de ingreso los usuarios tenderán a realizar un mayor uso del agua.

Las cuatro variables restantes, son variables que los OOAP pueden manejar de manera interna. Por ejemplo, en el caso la población atendida, por cada uno por ciento que un OOAP decida incrementar la cobertura del servicio, deberá aumentar la dotación per cápita diaria en un rango de 6 a 7 litros. Esto bajo el desempeño actual que se muestra en los resultados de los modelos y manteniendo todo lo demás constante.

El índice de agua no contabilizada, a medida que los OOAP incurran en un aumento de uno por ciento, la oferta deberá aumentar en un nivel que oscila entre 3 y 4 litros por habitante al día. Esto significa que entre más ineficiente sea un organismo, el nivel de extracción que realiza aumentará, traduciéndose este comportamiento en un mayor impacto sobre la fuente de abastecimiento y por consecuencia al medio

ambiente. Esto conduce a poner énfasis en la necesidad de dar mayor atención en la reducción de este índice por parte de los organismos.

Por su parte, por cada peso que aumenten los costos por metro cúbico extraído, significará una reducción en la oferta de poco más de 12 litros por habitante al día, el impacto más fuerte respecto a lo mostrado por el resto de variables explicativas. Esto significa que un OOAP poco eficiente en el manejo de sus gastos, tenderá a poner en riesgo los niveles de oferta que se requieren. Por otra parte, si los recurrentes aumentos en los gastos son subsidiados por alguna autoridad gubernamental, eso puede asimilarse como una reducción de costos por parte del organismo, lo que tendría un fuerte impacto en los niveles de extracción, ya que no habría incentivos para reducir sus niveles de oferta, al contrario, los habría para aumentarlos.

Combinando el efecto de un subsidio a los gastos en que incurre cada OOAP, con un elevado índice de agua no contabilizada y la constante consigna de aumentar los niveles de cobertura del servicio, el impacto sobre las fuentes de abastecimiento y sobre el medio ambiente sería muy serio. Por ello es que se pone énfasis en la recomendación de canalizar los esfuerzos en mejorar el desempeño de los OOAP, teniendo en cuenta los aspectos internos, locales y regionales.

Aunado a lo comprometida que se muestra la situación del manejo de la oferta de agua urbana, la nula significancia de la variable PRESION empeora el asunto. Si inferimos que su falta de significancia estadística se debe a la nula atención prestada, por parte de los OOAP, a las condiciones de sus fuentes subterráneas de abastecimiento, a la hora de determinar sus respectivos niveles de oferta. Tal vez es por ello que gran parte de los acuíferos del país se encuentren sobreexplotados. Entonces, si las condiciones de los acuíferos no son un factor que toman en cuenta los OOAP, es importante que se comience a prestar una mayor atención a esta situación, buscando una estabilización de los niveles actuales de extracción e incluso, lograr una reducción que permita un uso más equilibrado de estas fuentes.

En general, los resultados de los modelos de regresión muestran una situación en la que los OOAP enfrentan serios problemas en la gestión de la oferta de agua urbana. Desde el efecto que causan las variables climáticas prevalecientes en las localidades donde se desempeñan, los efectos de las condiciones socioeconómicas de

la población que atienden, hasta los factores que pueden manejar de manera interna, para los que al parecer no han encontrado los incentivos necesarios para corregir las fallas que se generan en este ámbito.

Ahora bien, es importante que en el manejo de la oferta de agua, además de tomar en cuenta los resultados de estos modelos econométricos, se tenga en cuenta la asociación espacial encontrada aquí, ya que se puede trabajar en proyectos de alcance regional para la mejora de las condiciones de manejo del agua urbana.

Finalmente, se considera de significativa relevancia actuar en las áreas de oportunidad mostradas por los resultados de este trabajo, a todos los niveles de autoridad. Sin embargo, todas las acciones que se emprendan en este sentido, deben tomar en cuenta las condiciones de la demanda de agua, de manera que a la hora del diseño de políticas de gestión del agua urbana se considere un marco integral de información que ayude a que dichas políticas tengan mayor efectividad.

2.7. Conclusiones

En este trabajo se plantearon dos objetivos principales. Uno era determinar la existencia de una estructura espacial de los niveles de oferta de agua urbana en México. El otro fue la estimación de los coeficientes de los determinantes de dichos niveles de oferta y con ello verificar la especificación econométrica que ofreciera un mejor ajuste del modelo.

Primeramente, la esencia de este trabajo fue la observación de una significativa disparidad de los niveles de oferta entre los distintos organismos operadores que enfrentaban condiciones similares de población atendida, por ejemplo, entre otras similitudes. Esto llevó a plantear la relevancia de analizar los factores que estaban incidiendo en el comportamiento de la oferta, además de que se observaba una estructura regional de esta variable en el territorio, es decir, a priori se visualizaban algunos patrones en los niveles de oferta. Por lo tanto, se consideró también la evaluación estadística de la presencia de patrones espaciales.

En cuanto al análisis espacial del agua urbana se encontró una amplia literatura reciente que ha abordado esta cuestión, principalmente para el caso de la demanda. Se han encontrado evidencias que apuntan a la presencia de autocorrelación espacial

en los niveles de dicha variable, lo que ha conducido a que los modelos econométricos utilizados sean sometidos a diagnósticos de verificación de estos efectos. Se ha encontrado que los resultados más robustos se han obtenido mediante la especificación espacial de los modelos planteados.

A partir de lo encontrado en la literatura se diseñó un marco metodológico que ayudara a verificar la presencia de los efectos espaciales. Esto se hizo mediante el conjunto de técnicas del Análisis Exploratorio de Datos Espaciales (AEDE), con la estimación del indicador global y local de Moran. Para ello se construyó una matriz de contigüidad en la que los OOAP vecinos fueran aquellos que pertenecían a una misma subregión de planeación y en donde la intensidad de la interacción registrada en la matriz sería inversa a la distancia euclidea entre los distintos OOAP.

Este análisis exploratorio permitió determinar la presencia de una moderada asociación espacial positiva, logrando verificar estadísticamente la presencia de patrones en los niveles de oferta a lo largo del territorio. Destaca la agrupación de los OOAP de mayor oferta en la zona norte del país, que se caracteriza por una menor disponibilidad natural del agua, así como una mayor concentración de la actividad económica y de la población. En la zona centro y sur se encontraron agrupaciones de organismos con bajos niveles de oferta, que contrastan por su mayor disponibilidad natural del recurso.

Estos patrones de la oferta en el territorio son, tal vez, muestras de que la distribución de la actividad económica no ha considerado la sostenibilidad del abastecimiento del agua. Se puede estar ejerciendo una presión seria sobre zonas que en un plazo no muy largo pueden acusar de escasez y por consecuencia, generar un gran impacto en la economía, que no solamente tendrá impacto en estas zonas afectadas, sino que se reflejará en la economía en su conjunto. De ahí la importancia de analizar cuáles son los factores que inciden en los niveles de oferta, que nos ayude a tomar acciones para un manejo más adecuado.

Por otra parte, estos patrones espaciales encontrados también abren la posibilidad de poner más elementos sobre la mesa en favor de una visión regional en el manejo del agua urbana. Si bien esta visión la expresa CONAGUA, tal vez sea necesario mejorar el diseño de las estrategias de manejo regional que se han

implementado, tomando en cuenta el efecto que se tiene por la vía de las externalidades, por ejemplo.

Ahora bien, los resultados de las estimaciones econométricas fueron ampliamente consistentes, confirmando la incidencia del espacio en la oferta, tal como se intuía a partir del AEDE. De este modo se especificó un modelo en el que se combinaron ocho variables explicativas, tomando como referencia dos estimaciones. Una con sólo cuatro variables exógenas y otra con las ocho, encontrando que, para ambas, los resultados fueron más robustos con la estimación de los respectivos modelos de error espacial.

Uno de los hallazgos más interesantes de los cálculos econométricos fue la amplia significancia de las variables climáticas sobre los niveles de oferta. Una mayor temperatura y una mayor aridez provocan que la oferta aumente, lo que significa que los patrones identificados mediante el AEDE pueden deberse a que en la zona norte del país persisten precisamente esas características.

Por otra parte, las variables que manejan internamente los OOAP resultaron ampliamente significativas. Una mayor cobertura del servicio y un alto índice de agua no contabilizada, provocan un aumento en la oferta. De manera que si los OOAP deciden ampliar su nivel de cobertura y además mantienen un nivel alto de agua no contabilizada, incurrirán en un elevado nivel de oferta.

Otra variable que resultó significante fue la del gasto promedio por metro cúbico extraído, que mostró una relación inversa con la oferta, dando evidencia de que los OOAP sí son sensibles al aumento de los costos de extracción. En este sentido, un aumento en los costos induce a una reducción de la oferta. Este hallazgo puede servir como un elemento de análisis para considerar la posibilidad de establecer un cargo monetario a aquellos OOAP que extraigan un volumen mayor a un nivel crítico, determinado mediante parámetros técnicos de sostenibilidad de la fuente de abastecimiento.

Otro hallazgo interesante fue la ausencia de significancia de la variable PRESION que representaba el grado de presión que se ejerce sobre los acuíferos. Esto indica que tal vez los OOAP no toman en cuenta las condiciones de sostenibilidad de esta fuente de abastecimiento, lo que sería un serio problema dadas las condiciones

de manejo que se han mencionado. La recomendación al respecto sería que se analice la posibilidad de incentivar a los organismos a tener en cuenta la sostenibilidad de sus fuentes de abastecimiento.

Todos estos resultados son consistentes con la literatura analizada. Se encontró evidencia de autocorrelación espacial y un mejor ajuste del modelo econométrico al estimar las especificaciones espaciales de los mismos, tal como se pudo verificar en los trabajos citados. En general, la aportación de este trabajo es haber generado información importante acerca de la oferta de agua que realizan los OOAP en México, esperando que pueda ser tomada en cuenta para el diseño de políticas de gestión del agua urbana en el país.

Las futuras líneas de trabajo, podrían ser bajo dos enfoques. Uno sería la parte metodológica, donde lo primordial sería trabajar en el diseño más adecuado de la matriz de contigüidad espacial, con lo que se esperaría que los resultados acerca de este fenómeno fueran aún más robustos. Mientras que el otro enfoque sería trabajar en el diseño de los incentivos de mejora en el manejo del agua urbana en el país, ya una vez que se tiene una amplia gama de análisis que no sólo se limitan a lo generado en este trabajo, sino a todas las aportaciones al respecto.

Finalmente, estos hallazgos sobre la oferta es importante que se complementen con el análisis de su contraparte, la demanda. Es por ello que en el siguiente capítulo se desarrolla todo un análisis de los determinantes de la demanda. Esto permitirá identificar los factores que inciden en ambas funciones, así como aquellos que las diferencian. De la misma manera, será interesante comparar los resultados con la función del precio que se desarrolla conjuntamente con la de demanda.

3. DEMANDA DE AGUA URBANA

3.1. Introducción

La gestión del agua urbana en México enfrenta múltiples y significativos retos de diversas índoles que ponen en riesgo su sustentabilidad (Barkin, 2006). Por una parte, el enfoque histórico hacia la oferta (i.e. el desarrollo de nuevas fuentes de agua como respuesta a la creciente demanda) se ha vuelto ambiental y económicamente insostenible, lo que ha fomentado interés en medidas alternativas, por ejemplo el manejo de la demanda por medio de su precio. Por otra parte, los Organismos Operadores de Agua Potable (OOAP, órganos públicos descentralizados responsables de la operación de las redes urbanas de agua) conforman monopolios locales que no cuentan necesariamente con incentivos para llevar a cabo un manejo efectivo y eficiente del agua.

En este contexto, el presente capítulo aborda dos principales cuestiones. Primero, se evalúa hasta dónde pudiera un aumento en el precio del agua urbana, considerando la dinámica demográfica, urbana y económica del país, contribuir a fomentar la sustentabilidad del uso público-urbano de agua. Para ello, se propone estimar una función de demanda de agua y emplear las elasticidades obtenidas para desarrollar diversos escenarios de demanda futura y calcular el aumento de precio requerido para estabilizarla en los niveles actuales. Segundo, se propone identificar estadísticamente los factores con los cuales se relacionan los precios cobrados por los distintos OOAP del país, con el fin de caracterizar el grado de eficiencia en su desempeño operativo.

La estructura del documento es la siguiente. En la sección dos se presenta la revisión de literatura acerca de la demanda de agua urbana, desde un contexto internacional y ampliando el análisis para el caso de México. En la tercera se expone la metodología utilizada para la realización de este trabajo. En la cuarta se detallan los procedimientos y fuentes de información utilizadas, así como un análisis preliminar de los mismos para verificar su consistencia. En la quinta parte se presentan los resultados y se discute acerca de su robustez estadística. Posteriormente se hacen algunas

discusiones y proyecciones sobre los hallazgos de este trabajo. Finalmente, la séptima sección contiene las conclusiones.

3.2. Revisión de literatura

El análisis de la demanda de agua es relativamente reciente. De acuerdo con Dalhuisen *et al*. (2001) el primer trabajo data de 1951, siendo la mayoría realizados en Estados Unidos y más recientemente en Europa. A partir de esto, Dalhuisen *et al*. (2003) realizaron un estudio de las disparidades en los valores de las elasticidades precio e ingreso que se estimaron en 64 trabajos diferentes entre 1963 y 2001 sobre la demanda residencial de agua, donde encontraron una elasticidad precio promedio de -0.41 y una elasticidad ingreso promedio de 0.43. Un trabajo previo y similar a este fue el de Espey *et al*. (1997) quienes analizaron las estimaciones de la elasticidad precio de la demanda de agua de uso residencial, publicadas en 24 artículos durante 1967 y 1993, encontrando una elasticidad promedio de -0.51. Otro trabajo que hace también una recopilación y análisis de la literatura internacional es el de Arbués *et al*.(2003). Ellos se centran en las características generales, las especificaciones técnicas empleadas y las dificultades que se tienen para la estimación de la demanda residencial de agua en los trabajos realizados en Estados Unidos y Europa, principalmente.

Por otra parte Nauges y Whittington (2010) también hacen una revisión del estado del arte de la demanda de agua residencial en los países en desarrollo. Se encuentra que hay importantes diferencias con respecto a los países desarrollados en cuanto a la cantidad de estudios realizados y las dificultades encontradas por los investigadores para llevar a cabo los estudios. Sin embargo, también se señala que los resultados son prácticamente similares ya que las elasticidades precio de la demanda están entre -0.3 y -0.6, mientras que la elasticidad ingreso de la demanda se ubica entre 0.1 y 0.3, no obstante que estas cifras pueden tener diferentes impactos entre un país desarrollado y uno en desarrollo.

House-Peters y Chang (2011) analizan todos los trabajos acerca de la demanda de agua publicados en el periodo de 1978 a 2010, dando un total de 304 trabajos, con una tendencia creciente a partir del 2005, cuando se registran el mayor número de publicaciones sobre el tema. El análisis de estos autores se centra en los marcos

metodológicos que se han diseñado para realizar sus estimaciones, así como las variables independientes consideradas. En la mayoría de los estudios se relaciona el precio, el ingreso de los usuarios, las variables climáticas y las características socioeconómicas de los usuarios y de las viviendas. Esto, sin duda, muestra cómo el interés por comprender los determinantes de la demanda de agua urbana ha cobrado importancia.

En el caso de México son pocos los trabajos que se han realizado sobre la demanda de agua. La mayoría de ellos son estudios locales y también con mayor énfasis en el uso doméstico y en los que, en términos de elasticidades precio e ingreso de la demanda, generalmente se han encontrado resultados que son congruentes con los rangos promedio encontrados en la literatura internacional. Uno de los primeros trabajos es el de Jaramillo (2003) quien analizó la demanda de agua de uso doméstico en 750 hogares de tres municipios del Estado de México, encontrando que la elasticidad precio de la demanda aumenta conforme se incrementa el bloque de consumo, oscilando entre -0.22 y -0.58, mientras que algunas otras variables asociadas a los niveles de ingreso se relacionaron de manera positiva con el consumo.

Fullerton y Nava (2003), Fullerton *et al.* (2006) y Fullerton *et al.*(2007) estimaron una función de demanda mensual de agua de uso urbano para las ciudades de Chihuahua, Ciudad Juárez, y Tijuana, respectivamente. Estos estudios consideraron como variable dependiente el uso de agua por usuario, cuyo volumen es agregado e independiente del tipo de uso. Los resultados que, en general, estos autores encontraron como relevantes, son la significancia de las variables explicativas incluidas, así como una rápida respuesta a las variables climáticas y al comportamiento de la actividad económica.

Otro trabajo que también analiza la demanda mensual de agua, pero solamente para uso doméstico, es el de García y Mora (2008) para las ciudades de Torreón, Coahuila y Gómez Palacio, Durango. Estimaron una función de demanda de agua por vivienda encontrando que la elasticidad precio de la demanda es de -0.20 para Torreón y -0.18 para Gómez Palacio mientras que la elasticidad ingreso fue de 0.94 y 0.98, respectivamente.

En el trabajo de Guzmán Soria *et al.* (2009) se analiza la demanda de agua subterránea en el estado de Guanajuato, para los usos agrícola, pecuario, industrial y urbano. Se encuentran las siguientes elasticidades precio de la demanda: para el uso urbano -0.015; para el pecuario -0.0038; la agricultura -0.052; y para el uso industrial -0.126.

Por otra parte, Salazar y Pineda (2010a) analizaron el caso de la demanda de agua residencial en la ciudad de Hermosillo, Sonora. Para ello estimaron una función de demanda nacional que les permitiera hacer el análisis para esta ciudad, utilizando como variable dependiente el volumen facturado per cápita. Los resultados relevantes fueron que las variables tamaño del hogar y temperatura no son significativas y que la elasticidad precio de la demanda, a nivel nacional, fue de -0.27, mientras que la del ingreso fue de 0.21.

Estos mismos autores, Salazar y Pineda (2010b), analizaron la demanda de agua para uso doméstico en México, para los años 1996-2001 y una muestra de 134 localidades de más de 30 mil habitantes. Con estos datos construyeron un panel desbalanceado para estimar una función de demanda similar al trabajo previamente citado. En sus estimaciones la elasticidad precio de la demanda fue de -0.33 y la del ingreso fue de 0.2.

En el trabajo de Sisto (2010) se analiza la demanda de agua de uso público urbano en la zona metropolitana de la Laguna, planteando para ello una función de demanda en la que la variable dependiente es el volumen demandado por toma y las explicativas son el costo del uso de agua, la proporción de tomas domésticas y la ubicación de las tomas como variable dicotómica. En sus resultados encuentra una elasticidad precio de la demanda que oscila entre -0.47 y -0.53. Finalmente, en el trabajo del Consejo Consultivo del Agua (2010), se desarrolla un modelo econométrico para analizar la demanda per cápita de agua en una muestra de 60 ciudades del país. Se encuentra una elasticidad precio de la demanda de -0.29 y para el ingreso de 0.32.

A partir de esta literatura es posible establecer que este trabajo representa una importante contribución al análisis de la demanda de agua urbana. El Cuadro 3.1 contiene un resumen de dicha literatura. Por un lado porque se analiza el uso público urbano total del agua y no solo el uso doméstico como se ha realizado en la mayoría de

los estudios. Por otra parte, se estima una función de demanda total de agua, en contraste con las funciones per cápita o por toma de estos estudios previos, lo que permite analizar el panorama del impacto ambiental del comportamiento actual de la demanda. Finalmente, uno de los mayores aportes de este trabajo es que se analizan los determinantes del precio cobrado a los usuarios por el agua, contribuyendo así a revelar el potencial de este instrumento en el control de la demanda y su contribución al saneamiento de las finanzas de los organismos operadores.

Cuadro 3. 1. Resumen de la literatura sobre demanda de agua.

Referencia	Usos del agua analizados	Dimensión espacial del análisis	Variables	Número de Observaciones	Elasticidades
Jaramillo (2003)	Doméstico	Tres municipios del Estado de México (Toluca, Coacalco y Atizapán)	Dependiente: Metros cúbicos consumidos diariamente por hogar; Independientes: Número de integrantes en la familia; número de adultos; habitantes permanentes en el domicilio; número de personas con ingreso; ingreso mensual por hogar; ingreso anual bruto; domicilio propio; monto de la renta; área de construcción; área del terreno o lote; antigüedad de la construcción; número de baños en el hogar; número de excusados; número de lavamanos; poseen aire acondicionado; poseen jardín; frecuencia de riego del jardín; costo bimestral por uso de agua; uso de método de ahorro; flujo de agua continuo o racionado; poseen sistema de almacenaje; demanda agua adicional; usos extraordinarios de agua; temporada: lluvia=1, sequía=0; Temperatura máxima; precio marginal bloque (1 al 8); ingreso virtual en bloque (2 al 8).	750	Precio: de -0.22 a -0.58
Guzmán Soria et al. (2009)	Agua subterránea para usos: urbano, industrial, agrícola y pecuario	Estado de Guanajuato	Dependiente: Consumo per cápita de agua por el sector urbano; Independientes: precio real del agua para uso doméstico; precio real de la electricidad para uso doméstico; Producto Interno Bruto per cápita con un año de rezago; Temperatura media anual. INDUSTRIAL: precio real del agua potable para uso industrial con un año de rezago; precio real de la electricidad para uso industrial con un año de rezago. PECUARIO: Consumo per cápita de agua por el sector pecuario; precio real del agua para uso doméstico con dos años de rezago; precio real de la electricidad para uso doméstico con dos años de rezago. AGRÍCOLA: Consumo de agua por hectárea bajo riego; precio real del agua para riego; precio real del fertilizante; precio agrícola real ponderado; precipitación media anual del estado con un año de rezago; cantidad consumida de agua por la superficie bajo riego.	ND	Precio del uso urbano: -0.015
Salazar y Pineda(2010)	Doméstico	Nacional	Dependiente: Cantidad demandada per cápita en cada ciudad; Independientes: Producto Interno Bruto per cápita estatal como una proxy del ingreso; precio promedio por metro cúbico en cada ciudad; Tamaño del hogar o número promedio de personas que habitan en un hogar en el estado al que pertenece cada ciudad, con lo que se busca investigar si existen economías de escala en el consumo de agua; la temperatura promedio en el estado donde se ubica cada ciudad; precipitación media anual en el estado donde se ubica cada ciudad; la eficiencia de cobranza en cada ciudad.	57 ciudades de más de 50 mil habitantes.	Precio: -0.27; Ingreso: 0.21

Cuadro 3.1. (Continuación). Resumen de la literatura sobre demanda de agua.

Referencia	Usos del agua analizados	Dimensión espacial del análisis	Variables	Número de Observaciones	Elasticidades
Salazar y Pineda (2010)	Doméstico	Nacional	Dependiente: Cantidad demandada per cápita; Ingreso per cápita; Independientes: Precio promedio por metro cúbico; Tamaño del hogar; Temperatura máxima promedio; y Precipitación media anual.	134 ciudades de más de 30 mil habitantes.	Precio: -0.33; Ingreso: 0.20
Sisto (2010)	Urbano	Zona Metropolitana de la Laguna	Dependiente: Volumen facturado por toma; Independientes: el costo del uso del agua (como proxy del precio) la proporción de tomas domésticas y la localización de las tomas.	31	Precio: entre -0.47 y -0.53
Consejo Consultivo del agua (2010)	Doméstico	Nacional	Dependiente: Dotación por habitante; Independientes: tarifa promedio para el consumo doméstico en el intervalo de 20 a 50 metros cúbicos; cobertura de la micromedición; Ingreso per cápita y la precipitación como variable instrumental para el valor de la tarifa.	60	Precio: -0.29; Ingreso: 0.32
García y Mora (2008)	Doméstico	Comarca Lagunera	Dependiente: Cantidad de agua requerida por vivienda por mes; Independientes: precio del agua en el mes; precio de la electricidad en el mes; precipitación pluvial en el mes; y la temperatura en el mes.	84	Precio: -0.20 Torreón; -0.18 Gómez Palacio
Fullerton y Nava (2003)	Urbano	Ciudad de Chihuahua	Dependiente: Consumo por usuario; Independientes: precio promedio mensual por metro cúbico; índice de actividad industrial en México; precipitación mensual; temperatura media mensual.	ND	ND
Fullerton et al. (2006)	Urbano	Ciudad Juárez	Dependiente: Consumo por usuario; Independientes: precio promedio mensual por metro cúbico; empleo mensual en la industria maquiladora de la ciudad; índice de actividad industrial en México; precipitación mensual; temperatura media mensual.	ND	ND
Fullerton et al. (2007)	Urbano	Ciudad de Tijuana	Dependientes: Consumo por usuario; Independientes: precio promedio mensual por metro cúbico; empleo mensual en la industria maquiladora de la ciudad; índice de actividad industrial en México; precipitación mensual; temperatura media mensual.	ND	ND

Nota: ND significa que en el documento consultado no estaba disponible la información correspondiente.

Fuente: Elaboración propia.

3.3. Metodología

La base teórica metodológica de este capítulo se basa en un balance de agua propuesto por Sisto (2010). En este trabajo se considera que un OOAP extrae un determinado volumen de agua del medio ambiente V^{EXT} para entregarlo a los usuarios a través de la red municipal, pero durante el proceso de abastecimiento se pierde un determinado volumen por fallas inevitables del sistema V^{PER}, de modo que el volumen entregado a los usuarios V^{USO} es menor al extraído. De la misma manera, del volumen que llega a los usuarios hay una parte que no se contabiliza por parte de los organismos operadores y por lo tanto, se puede dividir el volumen usado en volumen facturado V^{FAC} y no facturado V^{NFAC}. La expresión formal de tal balance es la siguiente:

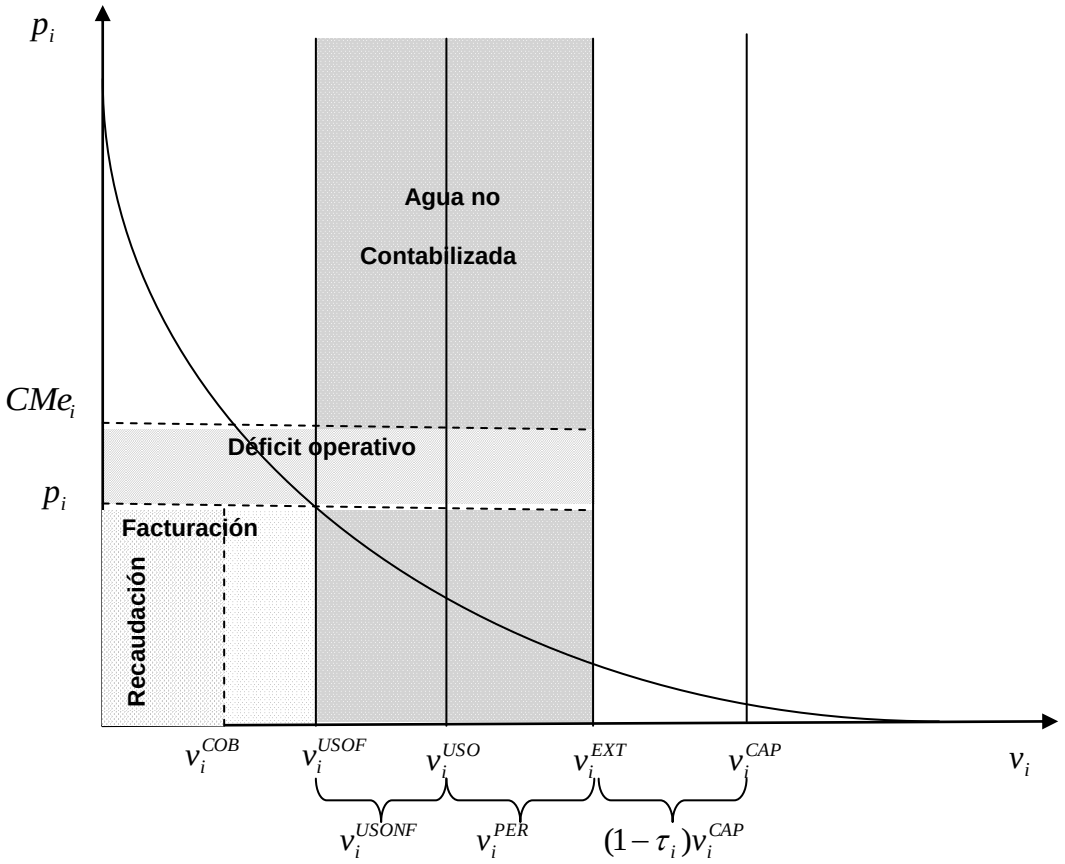
$$V^{EXT} = V^{USO} + V^{PER} = (V^{FAC} + V^{NFAC}) + V^{PER} \qquad (3.1)$$

De manera gráfica, en la Figura 3.1 se analizan los mecanismos de mercado para determinar el equilibrio entre oferta y demanda. En este caso hay que recordar que el precio está determinado de manera exógena, por lo tanto, la interacción entre la oferta y la demanda no está influyendo en los niveles de precios del agua. Ahora bien, el precio que en este caso establecerían las autoridades sí puede tener impacto tanto en la oferta como en la demanda.

Se ilustra que si la demanda fuese elástica al precio, entonces las autoridades pueden usarlo como un instrumento para controlar la demanda. Por otra parte, la demanda también puede ser sensible a la eficiencia de los OOAP, ya que si sus niveles de extracción, facturación y cobranza son bajos, esto puede ser interpretado por los usuarios como una reducción del precio del agua y podrían consumir una mayor cantidad. Lo contrario ocurre conforme aumente la eficiencia. Sin embargo, la lectura de esta figura cambia si la demanda no es elástica al precio, o si dicha elasticidad es

muy reducida, ya que ante cualquier nivel de precios los cambios en la demanda pueden ser muy pequeños.

Figura 3. 1. Demanda y oferta de agua urbana.



Fuente: elaboración propia.

Por otra parte, en la Figura 3.1 también se puede observar cómo un OOAP, cualquiera, que tiene una capacidad instalada de extracción, v_i^{CAP}, extrae un determinado volumen, v_i^{EXT}, que debe ser igual o menor a su capacidad, de modo que la razón $\tau_i = \dfrac{v_i^{EXT}}{v_i^{CAP}}$ mide la eficiencia del uso de dicha capacidad de extracción. Luego,

se inicia el proceso de distribución a los usuarios en el que se puede perder un determinado volumen por fallas en el sistema v_i^{PER}, de modo que el volumen usado por los consumidores v_i^{USO}, es menor al extraído y dentro del manejo del volumen usado podría enfrentar problemas para la facturación por lo que aparece un monto de volumen de uso no facturado v_i^{USONF}; luego dentro del uso que es capaz de facturar v_i^{USOF} el organismo puede tener problemas de cobranza que le impidan obtener la totalidad de la recaudación y por lo tanto el volumen cobrado v_i^{COB} será el monto de los ingresos que le servirán para determinar los beneficios ante el precio p_i exógeno, de modo que si el precio es mayor al costo promedio CMe_i, es decir $p_i > CMe_i$, tendría beneficios, pero si $p_i < CMe_i$ reportaría pérdidas.

A partir de este balance se planteó una función de demanda total para encontrar los determinantes del consumo de agua en las distintas localidades atendidas por los OOAP. Se consideró al volumen facturado como la variable proxy más adecuada para representar la cantidad demandada de agua urbana, si bien no representa la demanda total debido a que no incluye el volumen no facturado y la demanda potencial. Las variables explicativas que se utilizarán para esta función son las mostradas en el Cuadro 3.2, el cual contiene su respectiva definición y unidades de medida.

De acuerdo con la teoría económica neoclásica, la relación de la demanda con el precio se espera que sea inversa. Es decir, que un aumento del precio hará que se reduzca el nivel de demanda. Por otra parte, la relación con el ingreso de la localidad se espera que sea directa: ante un mayor nivel de ingreso, habrá un mayor consumo de agua. Un mayor número de tomas significa un mayor número de consumidores, por lo que la relación con la demanda será positiva. Finalmente, la relación con las variables climáticas de temperatura media anual y aridez se espera que sea positiva, pues ante mayor temperatura se espera que el consumo sea mayor; igual si la razón de evaporación respecto a la precipitación es mayor. No obstante, se debe tener en cuenta que para estas variables climáticas no se cuenta con una guía teórica para establecer una relación con la demanda. Por ello sólo se pretende averiguar acerca de las tendencias que muestran los OOAP en relación a dichas variables.

Cuadro 3. 2. Definición de las variables del modelo de demanda total.

Variable	Definición
VOL	Volumen facturado total medido en metros cúbicos.
PRECIO	Precio promedio por metro cúbico, calculado como la razón del monto monetario recaudado y el volumen facturado. Medido en pesos.
ING	Ingreso total anual de la localidad, calculado como el producto del ingreso mensual per cápita, a nivel municipal, anualizado y la población atendida. Medido en miles de pesos.
TOMAS	Número de tomas registradas por cada organismo operador.
TEMP	Temperatura promedio anual (grados centígrados).
ARIDEZ	Evaporación promedio anual entre precipitación media anual (milímetros).

Fuente: elaboración propia.

Para realizar las estimaciones econométricas de la función de demanda total se plantea probar diversas formas funcionales para el método de Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO). Esto con el objetivo de identificar la forma funcional que proporcione un mejor ajuste del modelo. Es importante recalcar que en este caso tampoco existe una guía teórica acerca de la mejor forma funcional para este tipo de análisis. No obstante, en la literatura se ha empleado de manera más recurrente la forma funcional doble logarítmica, ya que ofrece las estimaciones directas de los coeficientes de elasticidad y ha proporcionado los mejores ajustes para los modelos en los que se ha empleado. Así que el propósito es mostrar la robustez de las estimaciones realizadas aquí, estimando las siguientes funciones:

Modelo lineal-lineal:

$$VOL = \alpha_0 + \alpha_1 PRECIO + \alpha_2 ING + \alpha_3 TOMAS + \alpha_4 TEMP + \alpha_5 ARIDEZ + u \qquad (3.2)$$

Modelo lineal-logarítmico:

$$VOL = \alpha_0 + \alpha_1 \ln PRECIO + \alpha_2 \ln ING + \alpha_3 \ln TOMAS + \alpha_4 \ln TEMP + \alpha_5 \ln ARIDEZ + u \qquad (3.3)$$

Modelo logarítmico-lineal:

$$\ln VOL = \alpha_0 + \alpha_1 PRECIO + \alpha_2 ING + \alpha_3 TOMAS + \alpha_4 TEMP + \alpha_5 ARIDEZ + u \qquad (3.4)$$

Modelo logarítmico-logarítmico:

$$\ln VOL = \alpha_0 + \alpha_1 \ln PRECIO + \alpha_2 \ln ING + \alpha_3 \ln TOMAS + \alpha_4 \ln TEMP + \alpha_5 \ln ARIDEZ + u \quad (3.5)$$

Una vez hechas las respectivas estimaciones, se discutirá la consistencia de las mismas y se harán las inferencias, respecto a la forma funcional que ofrezca una mejor estimación, para los parámetros de la función de demanda. La estimación de una función de demanda total ayuda a satisfacer la necesidad de conocer cuáles son los determinantes globales del consumo de agua en una localidad, lo que resulta valioso a la hora de trasladar este análisis al impacto ambiental provocado por la dinámica de consumo de este recurso natural. Esto contrasta con las funciones de demanda estimadas en los trabajos previos. Sin embargo, estimar una función de demanda per cápita, como se ha hecho en los demás trabajos, también sirve para complementar el análisis, al encontrar los determinantes del comportamiento individual que al final contribuye en el comportamiento total y que podría ayudar a evaluar el impacto de la implementación de políticas sobre las unidades individuales de análisis (hogares, tomas o individuos).

En este sentido también se estimará una función de demanda de agua por toma, considerando a la demanda como la razón del volumen facturado y el número de tomas de cada organismo operador. Las variables explicativas para esta función serán el precio promedio por metro cúbico de agua, cuya estimación es similar a la utilizada en la función de demanda total y con el que se espera que exista una relación negativa. Otra variable es el ingreso anual por toma, que fue calculado mediante la división del ingreso anual de la localidad, estimado en la función anterior, entre el número de tomas respectivo, esperando que la relación con la variable dependiente sea positiva. Finalmente, se espera que las mismas variables climáticas (temperatura media anual y aridez) utilizadas en la función de demanda total, también guarden una relación directa. La definición y unidades de medida de las variables de la función de demanda por toma se muestran en el Cuadro 3.3.

Cuadro 3. 3. Definición de las variables del modelo de demanda por toma.

Variable	Definición
FAC_T	Volumen facturado por toma en metros cúbicos.
PRECIO	Precio promedio por metro cúbico, calculado como la razón del monto monetario recaudado y el volumen facturado. Medido en pesos.
ING_T	Ingreso anual por toma. Medido en miles de pesos.
TEMP	Temperatura promedio anual (grados centígrados).
ARIDEZ	Evaporación promedio anual entre precipitación media anual (milímetros).

Fuente: elaboración propia.

Para esta función de demanda también se realizarán cuatro estimaciones para distintas formas funcionales.

Modelo lineal-lineal:

$$VOL_FT = \beta_0 + \beta_1 PRECIO + \beta_2 ING_T + \beta_3 TEMP + \beta_4 ARIDEZ + \varepsilon \qquad (3.6)$$

Modelo lineal-logarítmico:

$$VOL_FT = \beta_0 + \beta_1 \ln PRECIO + \beta_2 \ln ING_T + \beta_3 \ln TEMP + \beta_4 \ln ARIDEZ + \varepsilon \qquad (3.7)$$

Modelo logarítmico-lineal:

$$\ln VOL_FT = \beta_0 + \beta_1 PRECIO + \beta_2 ING_T + \beta_3 TEMP + \beta_4 ARIDEZ + \varepsilon \qquad (3.8)$$

Modelo logarítmico-logarítmico:

$$\ln VOL_FT = \beta_0 + \beta_1 \ln PRECIO + \beta_2 \ln ING_T + \beta_3 \ln TEMP + \beta_4 \ln ARIDEZ + \varepsilon \qquad (3.9)$$

Con la estimación de las funciones de demanda, como se ha abordado hasta aquí, los estudios previos han logrado establecer algunas conclusiones importantes, principalmente en relación a los coeficientes de elasticidad precio e ingreso de la demanda. Desde la perspectiva económica, es en esas variables en las que se

depositan las mayores expectativas de contribución al manejo sustentable de la demanda de agua. Sin embargo, la mayoría de los hallazgos en relación al precio han logrado comprobar que si bien la demanda es sensible al cambio en dicha variable, los valores de los coeficientes indican que es inelástica y como consecuencia, ha surgido la expectativa de que este carácter inelástico, de no servir para reducir de manera significativa el consumo, puede contribuir a aumentar los ingresos de los OOAP y por consecuencia, mejorar su situación financiera. Lo anterior muestra la conveniencia de dar un siguiente paso para contribuir en la explicación del potencial real de un incremento en los precios, sobre todo en relación con la situación financiera de los organismos operadores.

Entonces el siguiente paso es la estimación de una función del precio, en la que se busca estimar los factores que influyen en el precio que cobra cada organismo operador y evaluar así su potencial contribución a la mejora financiera de estas entidades. Una de las variables explicativas consideradas para esta función del precio es la del gasto por metro cúbico que realiza cada OOAP. Esto incluye el pago de salarios, de los derechos de extracción establecidos en la Ley Federal de Derechos, insumos y demás erogaciones derivadas de la prestación del servicio. Se espera que ante un mayor gasto por unidad el precio que cobran a los usuarios, por esa unidad, sea mayor, trasladando así los costos de los OOAP a los usuarios.

Otra variable que se establecerá como determinante del nivel de precios promedio de los OOAP es el tamaño del sistema que manejan, representado en este caso por el número de tomas que registra cada organismo. La relación de esta variable con el precio se espera que sea positiva, pues el manejo de una red de distribución más amplia implicaría una tendencia hacia un mayor precio.

Se considerará también el índice de Agua no Contabilizada (ANC), que es un porcentaje registrado por cada organismo como resultado de dividir la diferencia del volumen extraído de agua y el volumen facturado entre el volumen extraído. El ANC mide la eficiencia en el abastecimiento a los usuarios. Un valor cercano a cero indicará un mejor nivel de eficiencia. Por consiguiente, ante un aumento en el índice de ANC se espera que los organismos tiendan a aumentar el precio, tratando tal vez de cubrir esta ineficiencia.

El porcentaje de medidores instalados en relación al número total de tomas de cada organismo es lo que se conoce como cobertura de micro-medición y se supone que una mayor cobertura de medidores se transmitirá como un aumento en el precio que pagan los usuarios, ya que al querer mantener el nivel de consumo que se tenía sin medidor (suponiendo que así se consumiría más) el usuario tendría que pagar más porque se vigilaría su nivel de consumo.

Al momento de realizar las estimaciones, estas dos últimas variables serán excluyentes en el modelo, ya que posiblemente el índice de agua no contabilizada esté correlacionado de manera importante con la cobertura de micro-medición. Tal vez si aumenta el número de medidores en las tomas, los niveles de facturación sean mayores. La definición y unidades de medida para las variables de este modelo se presentan en el Cuadro 3.4.

Las estimaciones para el modelo del precio también se harán bajo las cuatro formas funcionales que se plantearon para las funciones de demanda, de la misma manera el método de estimación será MCO.

Cuadro 3. 4. Definición de las variables de la función del precio.

Variable	Definición
PRECIO	Precio promedio por metro cúbico, calculado como la razón del monto monetario recaudado y el volumen facturado. Medido en pesos.
GAST	Gastos por metro cúbico que reporta cada organismo operador (pesos).
TOMAS	Número de tomas registradas por cada organismo operador.
MICRO	Cobertura de micro-medición (porcentaje de tomas con medidor con lectura).
ANC	Índice de agua no contabilizada (porcentaje).

Fuente: elaboración propia.

Modelo lineal-lineal:

$$PRECIO = \gamma_0 + \gamma_1 GAST + \gamma_2 TOMAS + \gamma_3 MICRO + \gamma_4 ANC + \varphi \qquad (3.10)$$

Modelo lineal-logarítmico:

$$PRECIO = \gamma_0 + \gamma_1 \ln GAST + \gamma_2 \ln TOMAS + \gamma_3 \ln MICRO + \gamma_4 \ln ANC + \varphi \quad (3.11)$$

Modelo logarítmico-lineal:

$$\ln PRECIO = \gamma_0 + \gamma_1 GAST + \gamma_2 TOMAS + \gamma_3 MICRO + \gamma_4 ANC + \varphi \quad (3.12)$$

Modelo logarítmico-logarítmico:

$$PRECIO = \gamma_0 + \gamma_1 \ln GAST + \gamma_2 \ln TOMAS + \gamma_3 \ln MICRO + \gamma_4 \ln ANC + \varphi \quad (3.13)$$

Con la estimación de estos tres modelos (demanda total, demanda por toma y precio) se pretende encontrar información que sirva para la toma de decisiones en materia del manejo de la demanda de agua urbana en México. Se podría probar si realmente un incremento en el precio que pagan los usuarios, en un escenario donde eso sea factible, puede contribuir a que se haga un uso más adecuado del recurso y lo más importante, analizar las implicaciones de disponibilidad hacia el futuro.

3.4. Datos y análisis preliminar

En esta parte del trabajo se expone el procedimiento y las fuentes de información utilizados para la construcción de la base de datos, al mismo tiempo que se realiza un análisis preliminar de los mismos.

3.4.1. Fuentes de información

La principal fuente de información es la que se proporciona en los anexos del documento *Análisis del Subsector Agua Potable y Alcantarillado edición (2011b)*, publicado por la CONAGUA de manera anual, que es la misma fuente utilizada para los datos del capítulo anterior, sobre la oferta. Los datos para las variables de los modelos son los que corresponden al volumen facturado, el monto monetario recaudado por

cada organismo operador (que sirve para estimar el precio promedio por metro cúbico), el número de tomas por organismo, la población atendida, el gasto por metro cúbico en que incurre cada organismo, el índice de agua no contabilizada y el número de medidores instalados y funcionando en las tomas.

Por otra parte, la información referente al ingreso proviene de los datos del ingreso mensual per cápita municipal estimado por el Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social (CONEVAL), que es el mismo que se utilizó en el capitulo previo. De la misma manera, las variables climáticas, temperatura media anual y aridez son las mismas que se utilizaron para los modelos de oferta. Finalmente, el número de observaciones utilizadas para el análisis fue de 231 organismos, para los que hubo información completa para todas las variables, a excepción de la variable del gasto promedio por metro cúbico, de la cual sólo hubo 159 observaciones, por lo que las estimaciones que incluyan esta variable se ajustarán a dicho tamaño de muestra.

3.4.2. Análisis preliminar

A continuación se desarrolla un análisis preliminar de los datos para diferentes atributos y relaciones entre los mismos, con el objetivo de evaluar su consistencia para los propósitos de este capítulo. Se sigue para ello el orden que se ha venido manejando, que ha sido primero el análisis de la demanda total, luego la demanda por toma y finalmente el modelo del precio. En el Cuadro 3.5 se muestra el resumen estadístico de las variables de los modelos de demanda total y por toma. Se observa que en los valores del volumen facturado total existe una enorme distancia entre el valor máximo y el mínimo, lo que seguramente refleja el tamaño de la población que atiende cada organismo que, en promedio, extraen casi diez millones de metros cúbicos al año.

En este mismo resumen estadístico se observa que también en el precio existe una diferencia muy significativa entre el precio mínimo y el precio máximo. En el caso del primero su valor es muy cercano a cero, mientras que el segundo es de poco más de diecisiete pesos. Concerniente al ingreso también se visualizan disparidades significativas, al igual que en el número de tomas, que van desde un organismo que sólo registra 576 tomas hasta alguno que tiene registradas más de dos millones. Y

finalmente, de las variables climáticas, la que más llama la atención es la de la aridez. Existe, en general, un predominio de este fenómeno para esta muestra de datos, lo que se observa en el promedio de dicha variable al ser cuatro veces mayor la evaporación anual que los niveles de precipitación. Esto significa que en promedio, estos organismos se ubican en zonas áridas del territorio, lo que puede llevar a sugerir que la mayor demanda de agua se realiza en lugares donde la disponibilidad natural es reducida.

Por otra parte, para el modelo de demanda por toma, el grupo de variables es prácticamente el mismo que para el de demanda total, sólo que en lugar del volumen facturado total, la variable dependiente será el volumen facturado por toma. También se muestra una importante distancia entre los valores mínimo y máximo; en tanto que la otra variable normalizada por el número de tomas para este modelo es el ingreso, que también registra importantes disparidades. Así, lo observado en este resumen estadístico ofrece suficientes elementos para investigar lo que determina este comportamiento, lo que será importante en términos del manejo de la demanda de agua urbana en el país.

Cuadro 3. 5. Resumen estadístico de las variables de los modelos de demanda total y por toma.

Variable	Media	Mínimo	Máximo	Observaciones
VOL	9,650,533	43,334	561,565,870	232
PRECIO	4.32	0.002	17.49	232
ING	6,806,367	35,782	459,034,064	232
TOMAS	43,928	576	2,001,194	231
TEMP	21.31	11.00	28.50	232
ARIDEZ	4.06	0.34	43.38	232
FAC_T	200.53	36.79	399.12	231
ING_T	89.60	28.04	312.03	231

Fuente: Elaboración propia.

Además del análisis del resumen estadístico se pueden analizar los distintos niveles de correlación que se dan entre las diversas variables de los dos modelos de demanda. En el Cuadro 3.6 se muestra la matriz de correlación que nos permite

identificar la relación sistemática que se mantiene entre cada par de variables. En el caso de la demanda total se puede ver que el volumen facturado total está fuertemente relacionado con el ingreso de la localidad, seguido por el número de tomas, luego el precio y finalmente con un reducido coeficiente las variables climáticas. En este caso llama la atención la alta correlación entre el número de tomas y el ingreso de la localidad, por lo que habrá que cuidar la presencia de posibles problemas de colinealidad en la estimación del modelo. Para el modelo de demanda por toma se observa también una mayor correlación con la variable del ingreso por toma, seguida por la relación con la temperatura, luego el precio y finalmente la aridez. Se observa una mayor asociación a los valores de las variables climáticas, así como una mayor consistencia de los signos esperados en cada relación.

Cuadro 3. 6. Matriz de correlación entre las variables de los modelos de demanda.

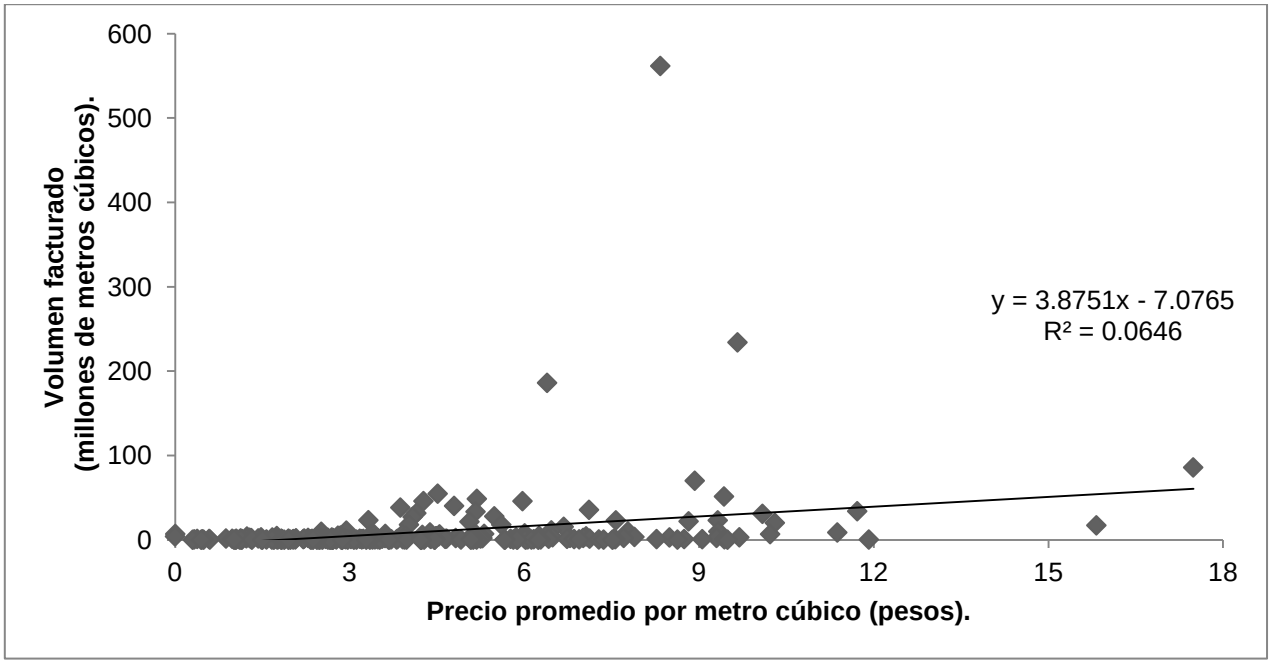
TOMAS	VOL	PRECIO	VOL_FT	TEMP	ARIDEZ	ING	ING_T	
1	0.9823	0.3058	0.071	-0.0406	0.015	0.9866	0.3735	TOMAS
	1	0.2541	0.1122	-0.0472	0.014	0.9913	0.3607	VOL
		1	-0.2168	-0.0061	0.0795	0.2448	0.2695	PRECIO
			1	0.2304	0.1856	0.0765	0.3438	VOL_FT
				1	-0.0728	-0.0524	0.2500	TEMP
					1	-0.006	0.0754	ARIDEZ
						1	0.3545	ING
							1	ING_T

Para ampliar el análisis, en las Gráficas 3.1 a 3.5 se muestran las correlaciones para el modelo de demanda total. En ellas se relaciona el volumen facturado con cada una de las variables explicativas. Esto también se hace para la demanda por toma; las respectivas correlaciones se presentan en las Gráficas 3.7 a 3.10. En el caso de la relación mostrada con el precio, en la Gráfica 3.1, se observa que ésta no es la esperada, dado que el signo del coeficiente es positivo. Teóricamente se esperaría lo contrario, dado que es una función de demanda, por lo que habrá que poner atención

al comportamiento de esta variable al incorporar otras variables a la regresión, así como en las diferentes formas funcionales que se han planteado.

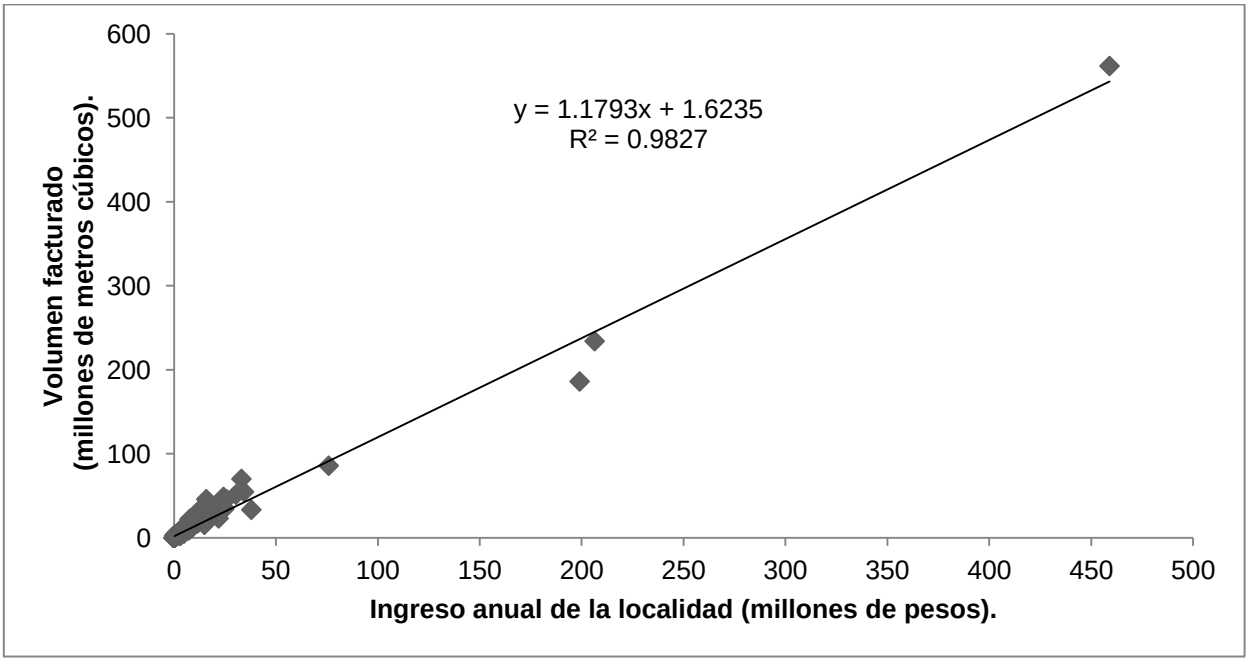
Por otra parte, la correlación con el ingreso de la localidad y con el número de tomas, Gráficas 3.2 y 3.3, es prácticamente perfecta. Esto lo muestra el valor del coeficiente de determinación, lo que indica que ambas variables serán importantes en las estimaciones de regresión múltiple. En cuanto a la correlación del volumen facturado con las variables climáticas se observa que existe poca relación, al menos de manera individual. Igualmente, será interesante analizar su relación controlando por otras variables en las regresiones múltiples, pues se espera que la demanda total sea sensible a estos factores.

Gráfica 3. 1. Relación entre el volumen facturado y el precio.



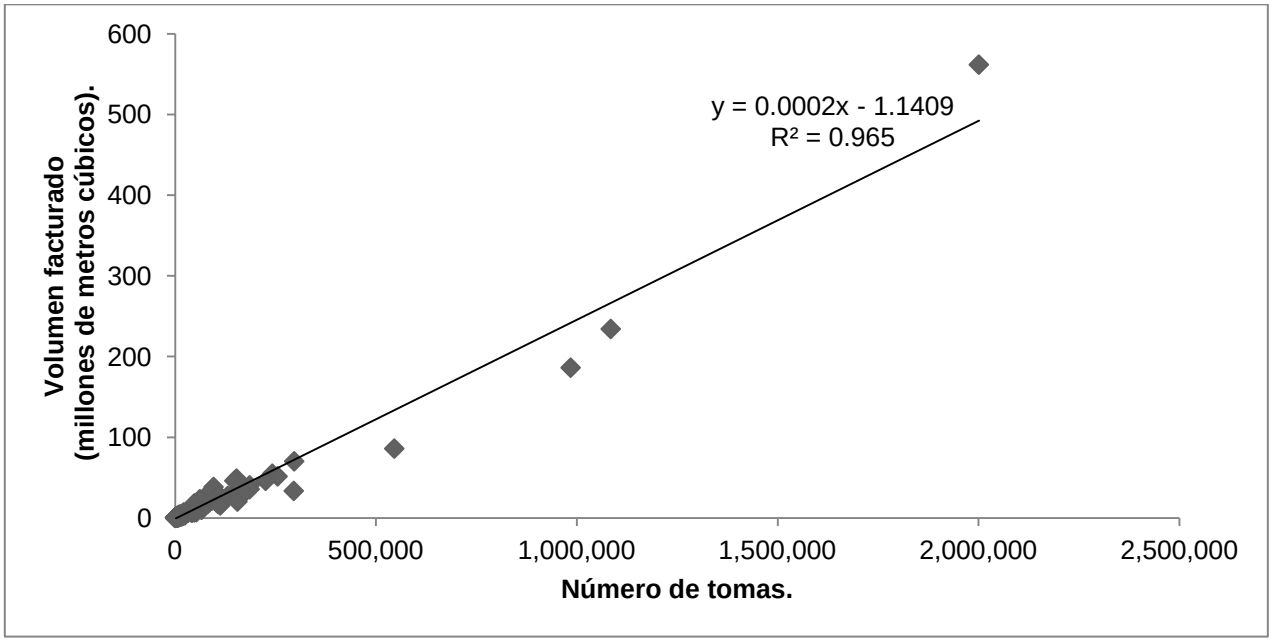
Fuente: elaboración propia.

Gráfica 3. 2. Relación entre el volumen facturado y el ingreso de la localidad.



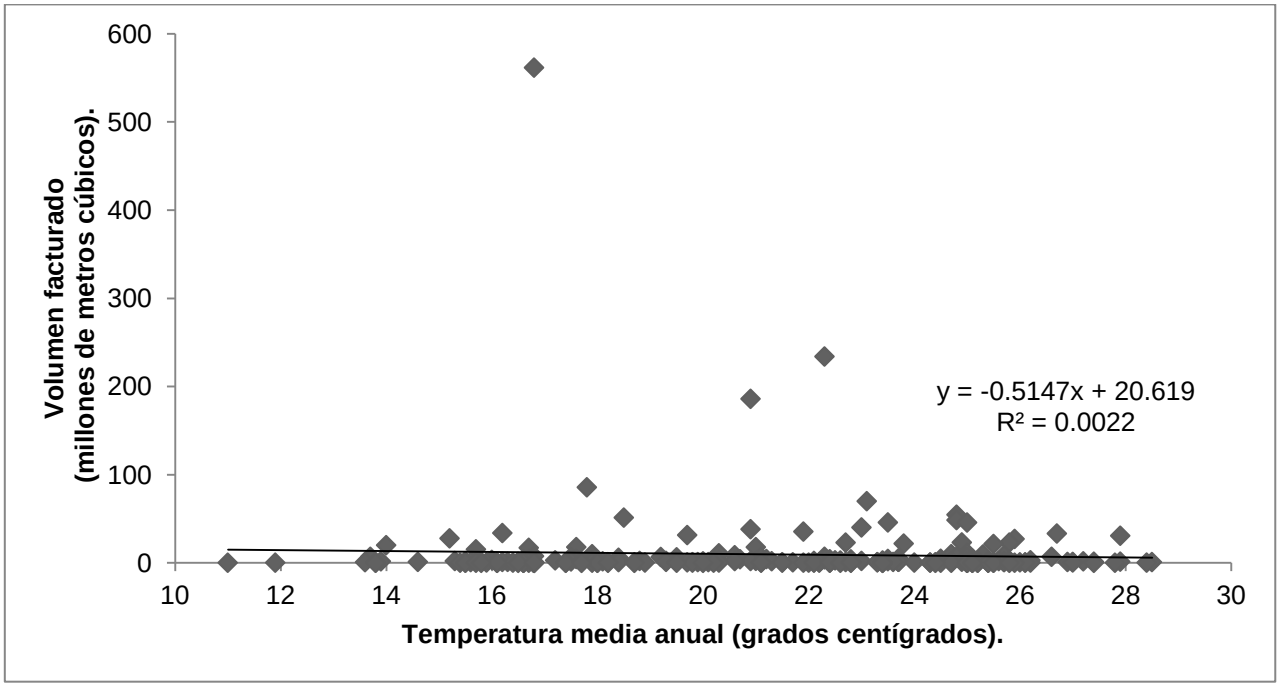
Fuente: elaboración propia.

Gráfica 3. 3. Relación entre el volumen facturado y el número de tomas.



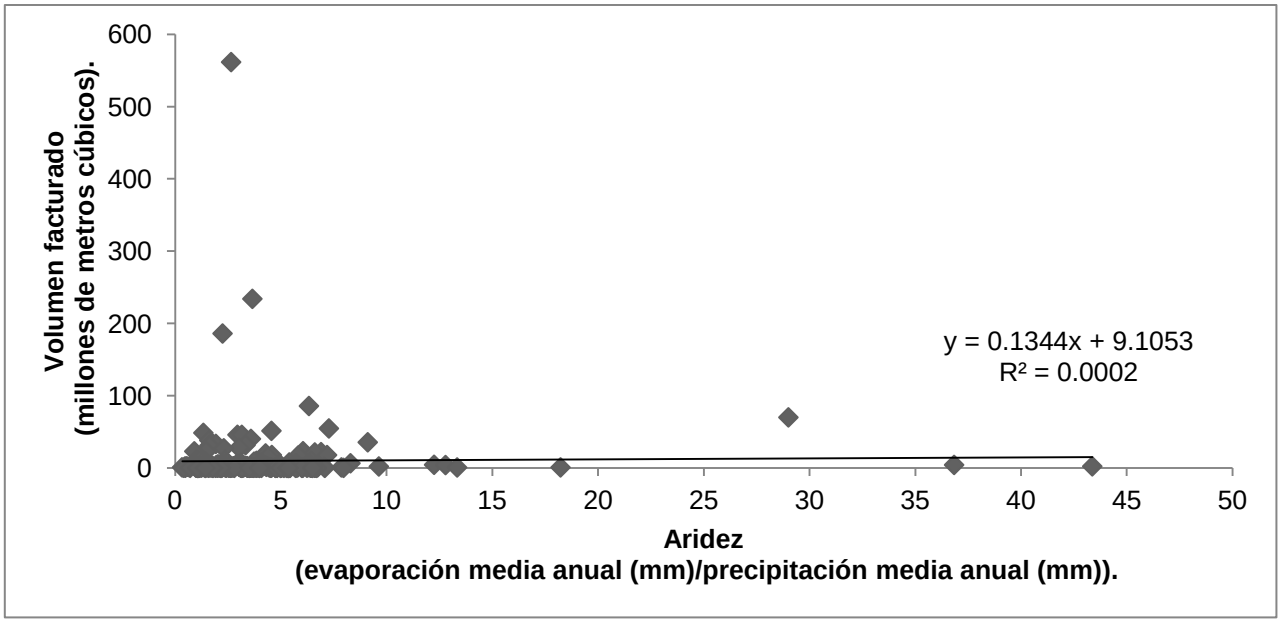
Fuente: elaboración propia.

Gráfica 3. 4. Relación entre el volumen facturado y la temperatura.



Fuente: elaboración propia.

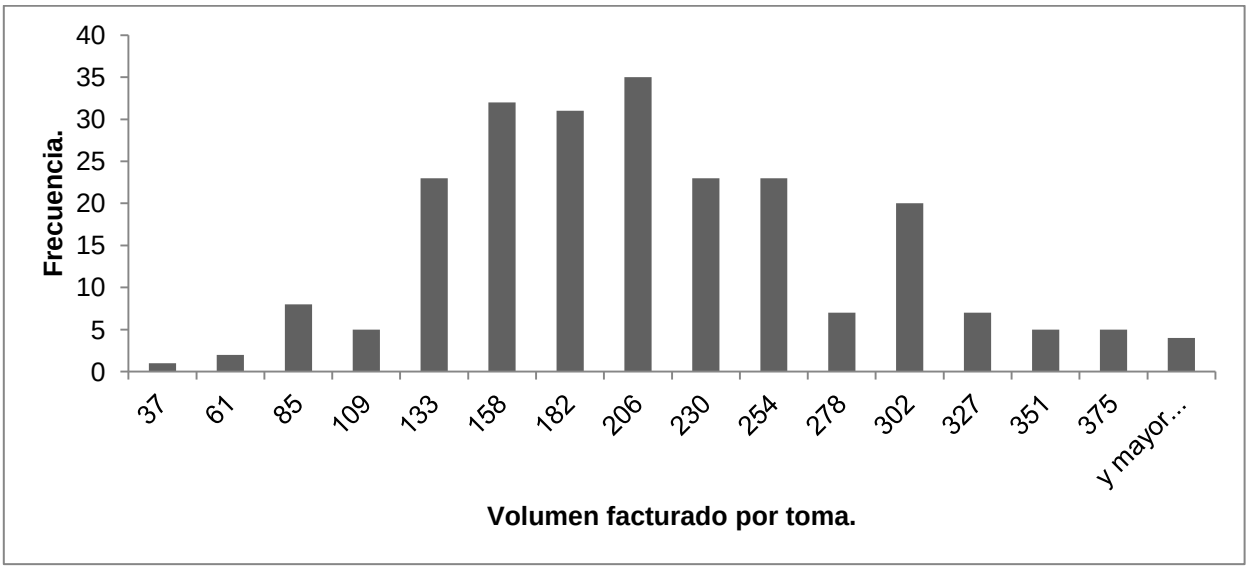
Gráfica 3. 5. Relación entre el volumen facturado y la aridez.



Fuente: elaboración propia.

Para ampliar el análisis de las disparidades en el volumen facturado por toma se puede observar la Gráfica 3.6, que corresponde al histograma de esta variable. La mayor parte de la muestra se ubica en un nivel que va de los 130 a 300 metros cúbicos por toma al año, lo que puede significar una demanda diaria de 70 a 160 litros diarios si se supone un promedio de cinco usuarios por toma, que es una disparidad importante si se considera que todos deberíamos tener el mismo patrón de demanda de agua, siendo esto un incentivo claro del interés por averiguar los determinantes de la demanda.

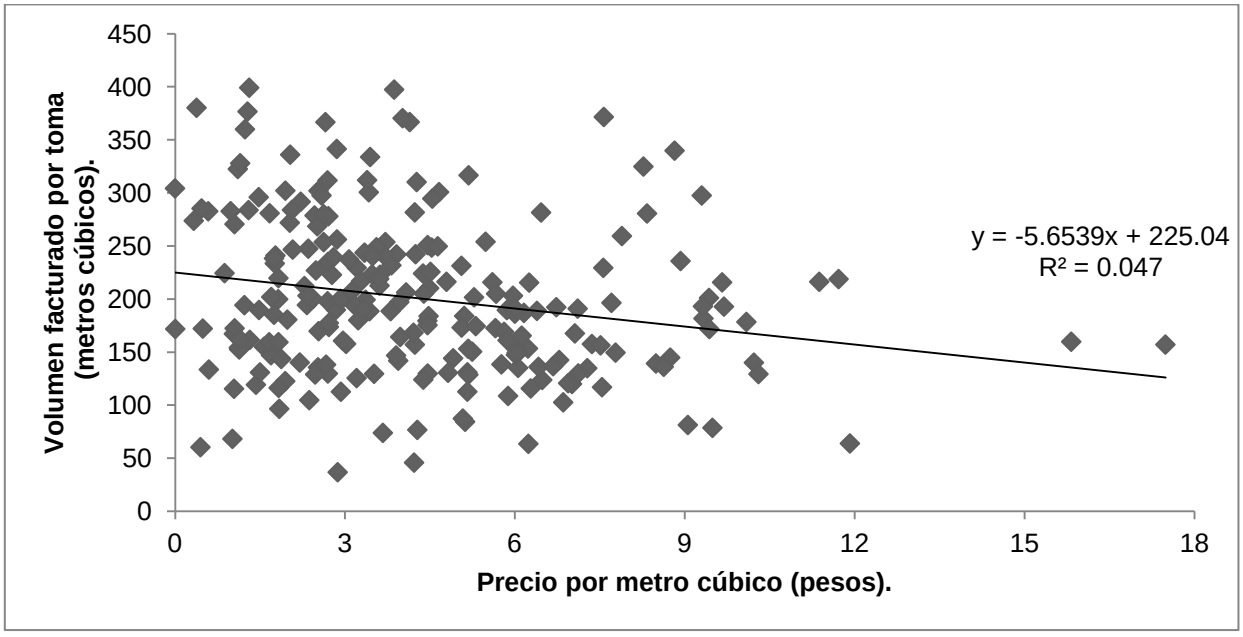
Gráfica 3. 6. Distribución de frecuencias del volumen facturado por toma.



Fuente: elaboración propia.

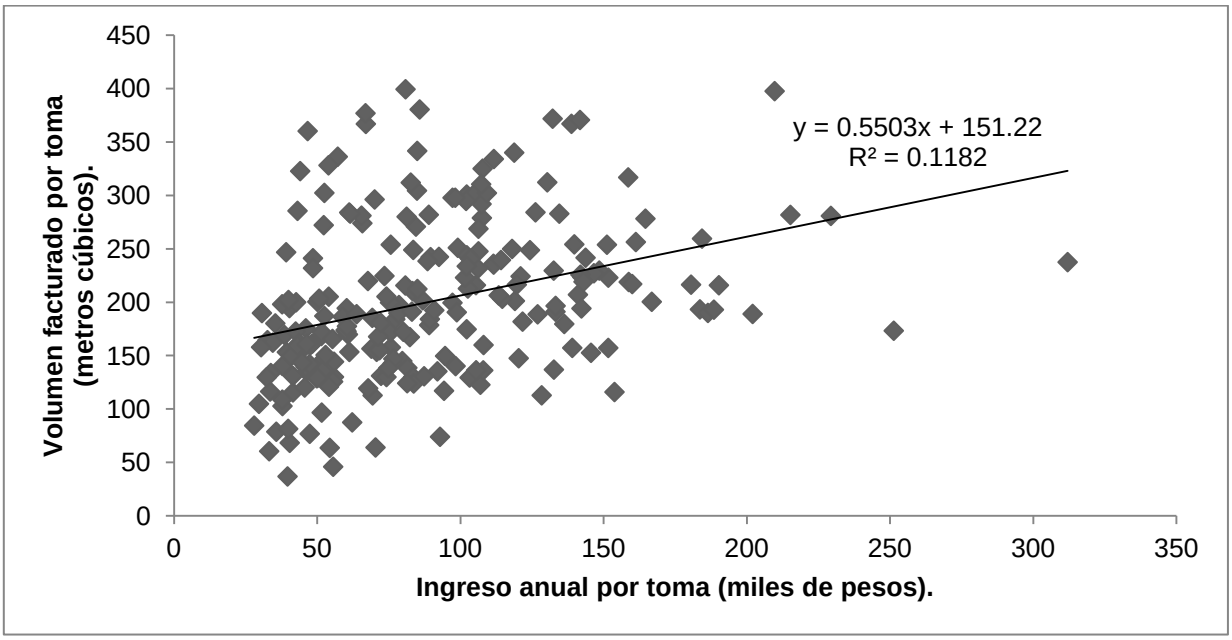
Analizando la relación del volumen facturado por toma, con cada una de las variables explicativas se tiene que en la relación con el precio, hay consistencia con lo planteado en la teoría económica, ya que el signo del parámetro estimado es negativo. Sin embargo, por sí solo, el poder de explicación, es muy reducido, mientras que es más fuerte el de la variable de ingreso anual por toma, que también muestra una relación acorde a lo esperado con la teoría. Al mismo tiempo, la relación con las variables climáticas también es importante. En general, la relación muestra una mayor consistencia que con la demanda total.

Gráfica 3. 7. Relación entre el volumen facturado por toma y el precio.



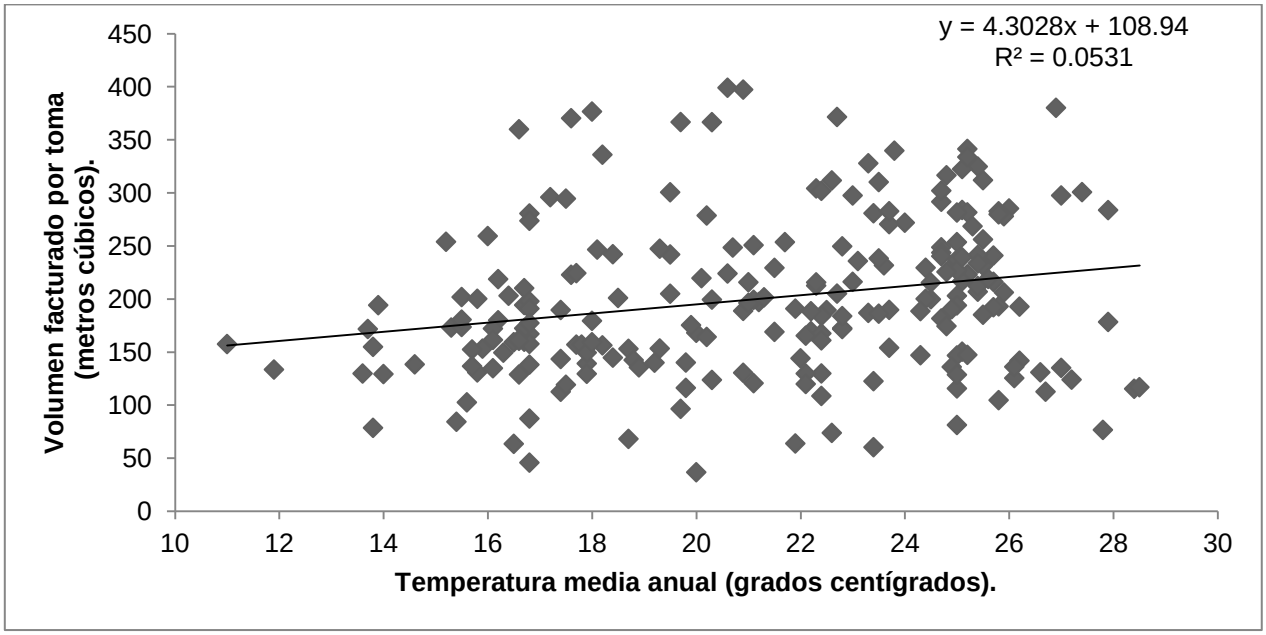
Fuente: elaboración propia.

Gráfica 3. 8. Relación entre el volumen facturado por toma y el ingreso anual por toma.



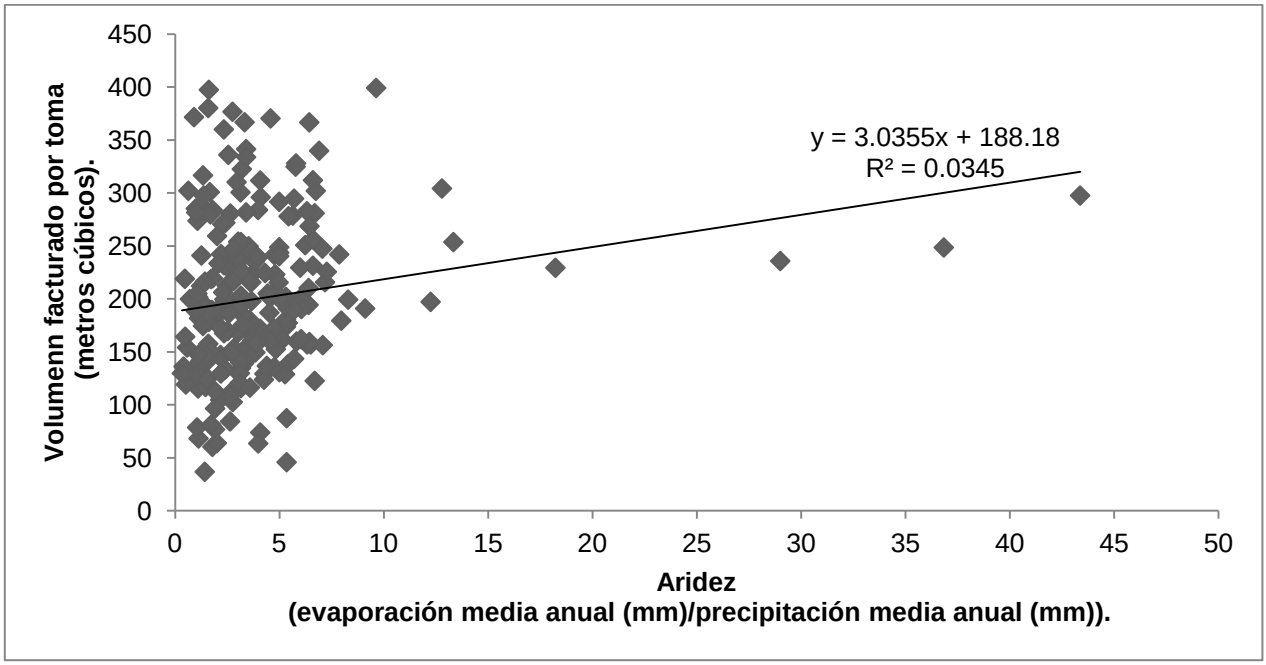
Fuente: elaboración propia.

Gráfica 3. 9. Relación entre el volumen facturado por toma y la temperatura.



Fuente: elaboración propia.

Gráfica 3. 10. Relación entre el volumen facturado por toma y la aridez.



Fuente: elaboración propia.

Para el modelo del precio, el resumen estadístico de las variables se muestra en el Cuadro 3.7. Una variable nueva para el análisis es el gasto por metro cúbico. Se observa cómo la brecha entre el valor mínimo y el máximo es muy amplia, prácticamente en una proporción similar a la que se observa en el precio. Cabría esperar, en principio, una fuerte relación entre el precio que se cobra y el costo en el que incurren los organismos.

Las otras variables que se deben analizar de este cuadro son la cobertura de micro-medición y el índice de agua no contabilizada. En la primera se observa que existen organismos que no cuentan con medidores instalados funcionando en las tomas que manejan, mientras que hay otros con una cobertura y funcionamiento de los mismos al cien por ciento. En cuanto al índice de agua no contabilizada vemos que el promedio es muy alto, lo que significa que muchos organismos no son eficientes en la distribución y facturación del agua entregada a los usuarios. Esto puede verse reflejado en mayores niveles de precios, pues probablemente los organismos, en aras de incrementar sus ingresos, prefieran cobrar más a los usuarios cautivos en la facturación en lugar de ampliar la base de usuarios que paguen por el servicio.

Cuadro 3. 7. Resumen estadístico de las variables del modelo del precio.

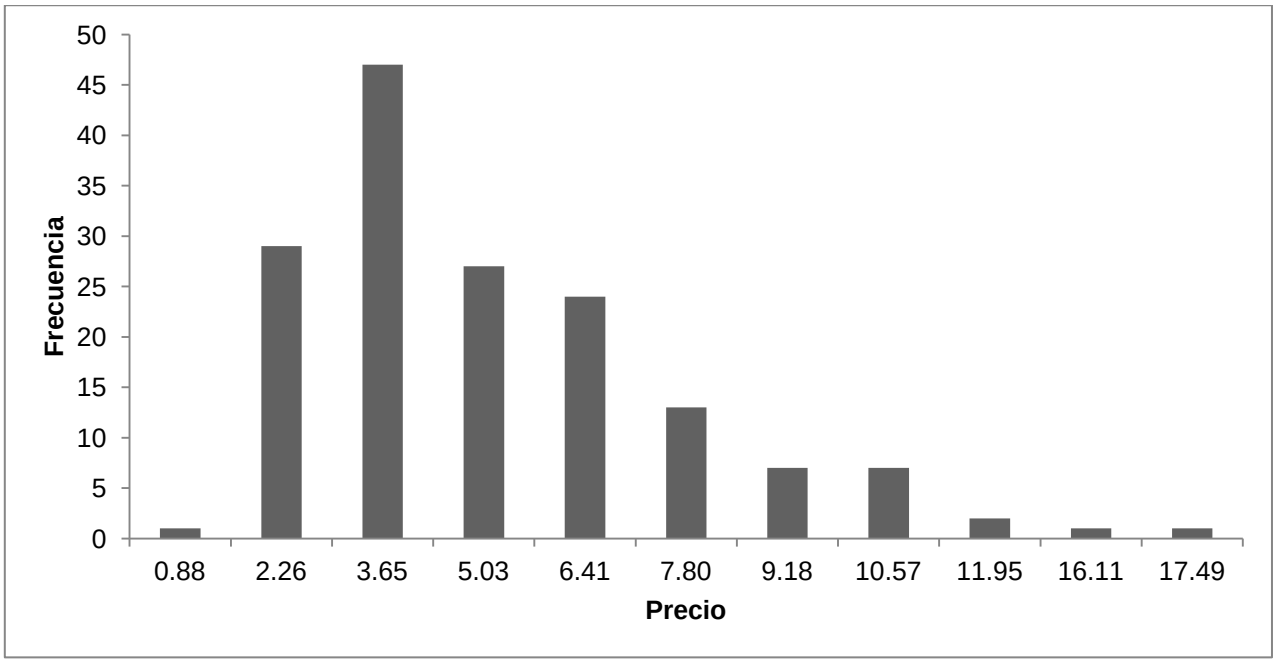
Variable	Media	Mínimo	Máximo	Observaciones
PRECIO	4.47	0.88	17.49	159
GAST	3.88	0.66	18.73	159
TOMAS	44,481	576	2,001,194	159
ANC	0.48	0.13	0.87	159
MICRO	0.22	0.00	1.00	159

Fuente: elaboración propia.

Aquí también resulta interesante observar la distribución de frecuencias del precio, que es la variable a analizar. En la Gráfica 3.11 se observa precisamente el histograma del precio, donde se observa una mayor frecuencia acumulada en el rango de precios que va desde poco más de dos pesos hasta los ocho pesos. Sin embargo, la cuestión es investigar cuáles pueden ser los determinantes de estos niveles de precios, más allá de que se debe tener en cuenta que, generalmente, las tarifas son

fijadas externamente a los organismos operadores, bien sea por autoridades municipales, estatales o los congresos estatales. A menudo por razones políticas más que económicas o financieras. Esto puede dificultar las inferencias que surjan al respecto. No obstante, los hallazgos que se obtengan serán de gran utilidad para comprender la relación del precio con las variables regresoras que se han incluido.

Gráfica 3. 11. Distribución de frecuencias del precio.



Fuente: elaboración propia.

En el Cuadro 3.8 se muestra la matriz de correlación para cada par de variables contempladas en el modelo del precio. Se observa que el precio está altamente correlacionado con el gasto promedio por metro cúbico, seguido por el número de tomas y la cobertura de micromedición, así como una correlación muy pequeña con el índice de agua no contabilizada.

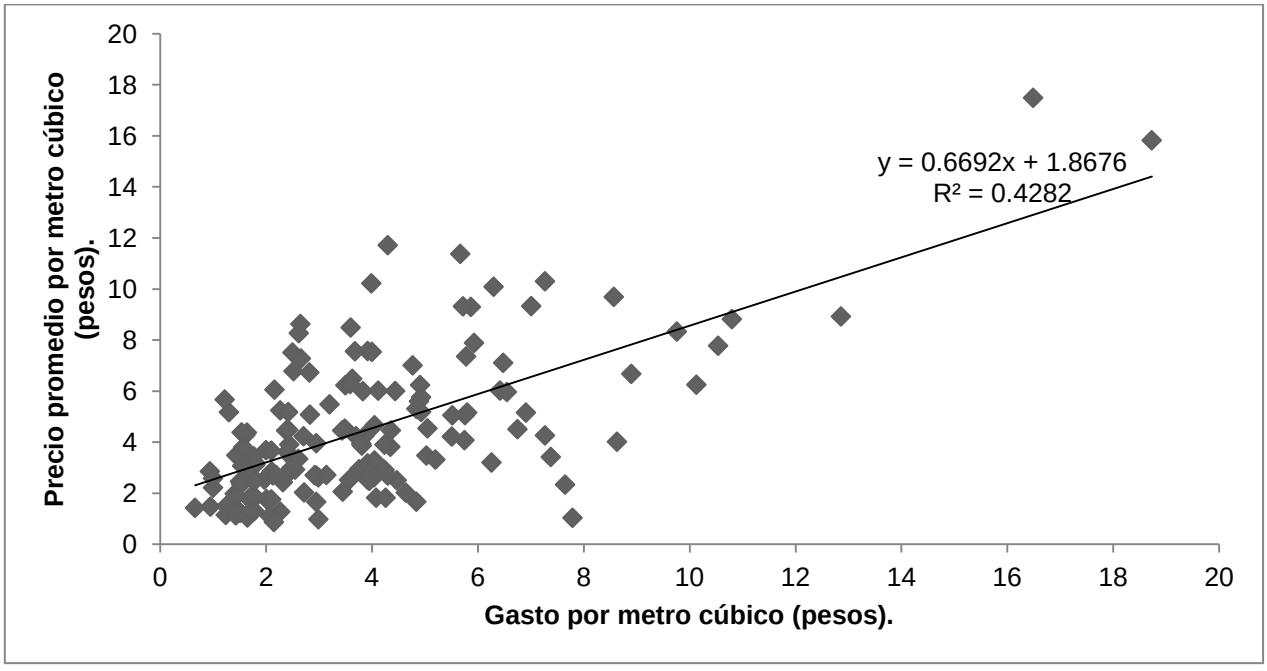
Cuadro 3. 8. Matriz de correlación de las variables del modelo del precio.

ANC	MICRO	TOMAS	GAST	PRECIO	
1.0000	0.1932	-0.1318	-0.3712	-0.0007	ANC
	1.0000	0.1368	-0.0268	0.2069	MICRO
		1.0000	0.4053	0.3058	TOMAS
			1.0000	0.6544	GAST
				1.0000	PRECIO

Fuente: elaboración propia.

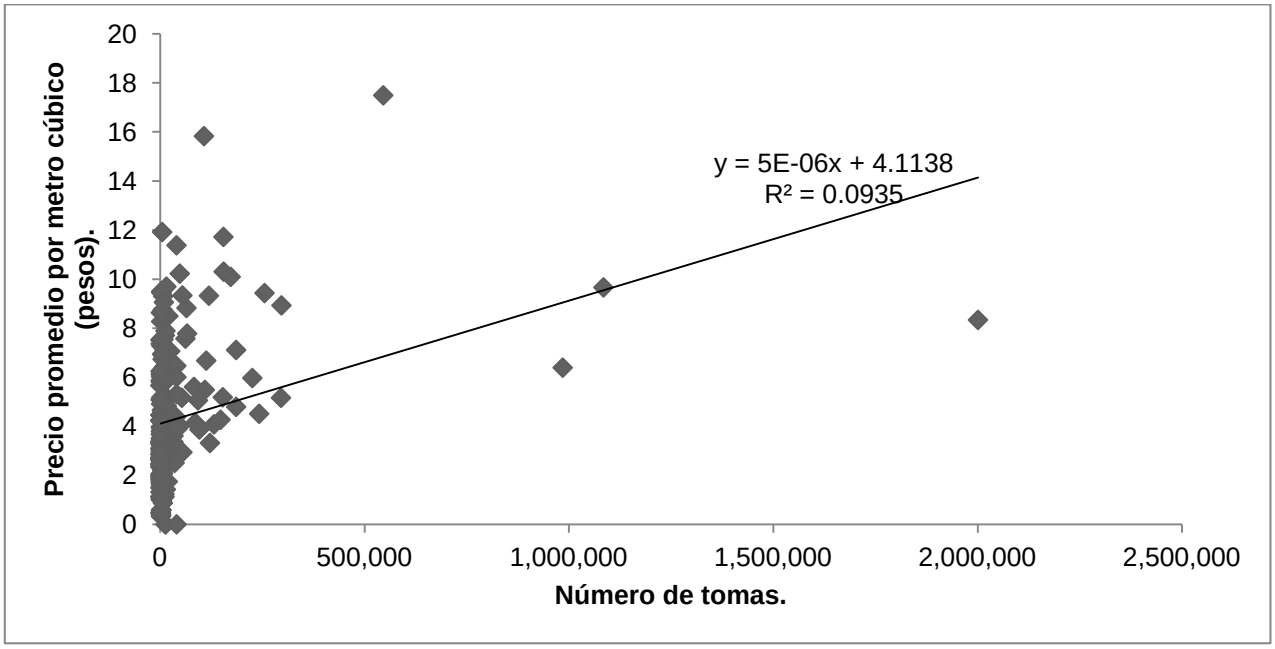
En cuanto a la relación del precio con cada una de las variables explicativas, tenemos que en su relación con el gasto, mostrada en la Gráfica 3.12, esta variable explica el comportamiento del precio en poco más del cuarenta por ciento, lo que indica que es una variable clave en el precio que cobran los organismos a sus usuarios. La relación con el resto de las variables, mostradas en las Gráficas 3.13, 3.14 y 3.15, muestra relaciones muy inferiores en relación a la que ya se mencionó. Sin embargo, es interesante observar la consistencia de los datos y analizar si cobran significancia a medida que se conjuguen con otras variables en el modelo.

Gráfica 3. 12. Relación entre el precio y el gasto por metro cúbico.



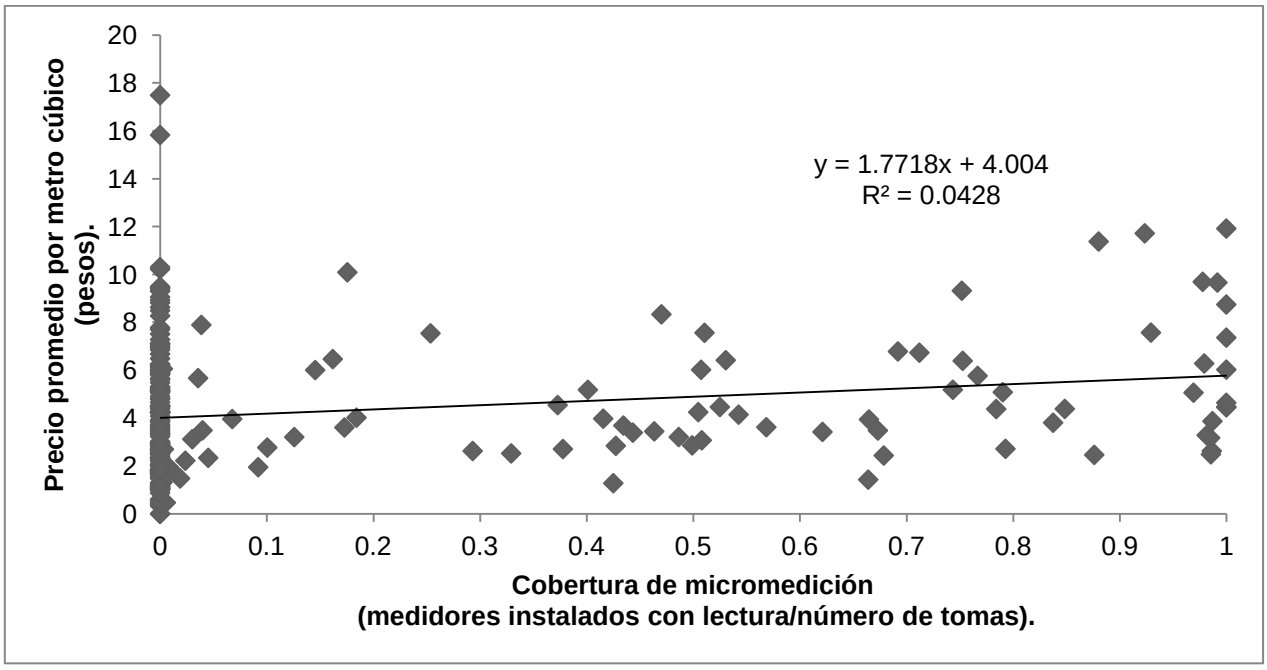
Fuente: elaboración propia.

Gráfica 3. 13. Relación entre el precio y el número de tomas.



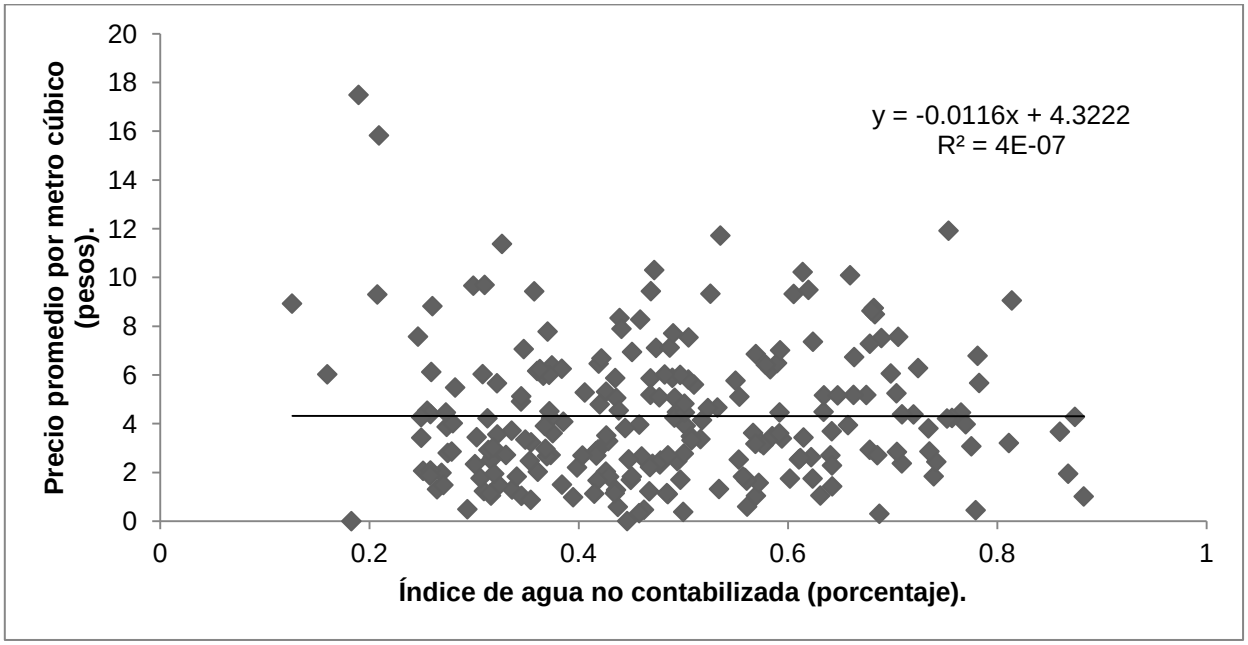
Fuente: elaboración propia.

Gráfica 3. 14. Relación entre el precio y la cobertura de micro-medición.



Fuente: elaboración propia.

Gráfica 3. 15. Relación entre el precio y el índice de agua no contabilizada.



Fuente: elaboración propia.

A partir de este análisis preliminar se puede dar evidencia de la relevancia del análisis de la demanda, así como la consistencia de los datos que serán utilizados para realizar las estimaciones que se han propuesto para lograr tal objetivo. De modo que las inferencias que se deriven de dichos cálculos tendrán una base adecuada en cuanto a calidad de datos disponibles.

3.5. Resultados

En esta sección se presentan los resultados obtenidos para los tres modelos planteados –los dos de demanda y el del precio– para todas las formas funcionales. Cada uno de los modelos será analizado en términos de la calidad de las estimaciones y se definirán los criterios para seleccionar aquellos resultados que servirán para la discusión y análisis que se hará en la siguiente sección.

3.5.1. Determinantes de la demanda

Demanda total

A continuación se muestran los resultados para el modelo de demanda total. Primero, en el Cuadro 3.9 se tienen los resultados para la forma funcional del modelo lineal-lineal. Luego, en el Cuadro 3.10 se muestran los coeficientes estimados para la forma funcional lineal-logarítmica y en el Cuadro 3.11 los de la forma logarítmica-lineal. Por último, en el Cuadro 3.12 se presentan los resultados para la forma doble logarítmica. Para cada una de estas formas funcionales se tienen estimaciones con cinco combinaciones de las variables explicativas. Dichas combinaciones de variables se muestran con el propósito de dar evidencia de la robustez de las estimaciones, principalmente en términos de posibles problemas de multicolinealidad, que se presagiaban en el análisis preliminar de la matriz de correlación.

A partir de estas estimaciones se verifica que el modelo que muestra un mejor ajuste es el modelo (1) del Cuadro 3.12. Las cinco variables incluidas son altamente significativas y muestran el tipo de relación previsto con la variable dependiente. No obstante, el modelo (1) del Cuadro 3.9 también muestra un ajuste prácticamente similar al mencionado, pero en términos de interpretación el modelo doble logarítmico ofrece mayores ventajas, ya que sus coeficientes se pueden interpretar como las elasticidades, que en el caso del precio y del ingreso son de -0.12 y 0.30, respectivamente. Estos valores son muy similares a los encontrados en la literatura, aunque se debe tener en cuenta que en la mayoría de los trabajos previos se analiza la demanda normalizada por los usuarios y no la total como aquí.

Centrando el análisis en el modelo de demanda total (1) del Cuadro 3.12, se encuentra que la demanda total sí es sensible al precio, pero con una elasticidad muy reducida. Esto significa que un aumento en el precio de un diez por ciento, por ejemplo, implicará, *ceteris paribus*, que haya una reducción en la demanda del 1.2 por ciento. Lo anterior representaría un impacto muy pequeño en los niveles de demanda y tal vez no sería un instrumento que por sí solo pueda contribuir al manejo de la misma, por lo que habría que analizar otras iniciativas más integrales para buscar el cambio en los patrones de consumo del agua urbana.

En este mismo contexto de análisis, el modelo en cuestión arroja una relación positiva entre el nivel de ingreso de la localidad y el nivel de demanda. Es decir, si se mantiene lo demás constante, el impacto de un mayor ingreso corriente en las localidades abastecidas por los OOAP significará un mayor consumo de agua, incluso a un nivel mucho mayor que lo que pudiera contrarrestar un incremento de la misma magnitud en el precio. Este resultado refuerza la idea de que el incremento en el precio no es por sí mismo una opción que ayude a paliar los problemas ocasionados por el nivel de consumo de agua.

Cuadro 3. 9. Resultados de regresión por MCO, variable dependiente volumen facturado, forma funcional lineal (véase ecuación (3.2)).

VARIABLE	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
CONSTANTE	-639242.69	496267.90	265819.70	1078982.46	2091570.56**
	(-0.30)	(0.67)	(0.13)	(1.58)	(2.20)
	[0.77]	[0.50]	[0.90]	[0.12]	[0.03]
PRECIO	11198.55	10593.48	19403.84	18830.71	-785757.98**
	(0.08)	(0.07)	(0.13)	(0.13)	(-4.08)
	[0.94]	[0.94]	[0.90]	[0.90]	[0.00]
ING	1.01**	1.01**	1.00**	0.99**	
	(14.99)	(15.02)	(14.77)	(14.80)	
	[0.00]	[0.00]	[0.00]	[0.00]	
TOMAS	3584449.98**	3640743.77**	3912682.78**	3948435.09**	25054119.23**
	(2.47)	(2.52)	(2.70)	(2.74)	(79.43)
	[0.01]	[0.01]	[0.01]	[0.01]	[0.00]
TEMP	52754.71		38221.61		
	(0.56)		(0.41)		
	[0.58]		[0.69]		
ARIDEZ	164166.35**	160541.52*			
	(1.98)	(1.95)			
	[0.05]	[0.05]			
OBSERVACIONES	231	231	231	231	231
R^2 AJUSTADO	0.98	0.98	0.98	0.98	0.97
LOG. VERO.	-3,900	-3,900	-3,900	-3,900	-4,000

Entre paréntesis los estadísticos *t*. Valores *p* entre corchetes.
* Indica significativo al nivel del 10 por ciento. ** Indica significativo al nivel del 5 por ciento.
Fuente: Elaboración propia.

En cuanto al clima, las dos variables incluidas para medir la sensibilidad a tales efectos resultan significativas, aunque tiene un mayor nivel de influencia la temperatura promedio anual. No obstante, ambas variables mantienen una relación positiva, de modo que un OOAP que atienda una localidad con condiciones climáticas que sean de altas temperaturas promedio y un alto nivel de aridez, enfrentará un aumento significativo de la demanda de agua. Aunado a un incremento en los ingresos locales y una baja respuesta a los aumentos del precio promedio, el problema puede ser muy serio si se considera, además, que los lugares que poseen estas características climáticas suelen contar con poca disponibilidad natural.

Cuadro 3. 10. Resultados de regresión por MCO, variable dependiente volumen facturado, forma funcional lineal logarítmica (véase ecuación (3.3)).

VARIABLE	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
CONSTANTE	-80450728.16	-98507876.52	-80563889.69	-101867695.29	44447089.18**
	(-0.91)	(-1.12)	(-0.92)	(-1.17)	(7.04)
	[0.36]	[0.26]	[0.36]	[0.24]	[0.00]
L_PRECIO	144572.03	-9550.57	141723.28	-77187.93	479240.40
	(0.05)	(-0.00)	(0.05)	(-0.03)	(0.18)
	[0.96]	[1.00]	[0.96]	[0.98]	[0.86]
L_ING	11836270.18**	8783084.46	11859167.54**	9084696.83*	
	(2.05)	(1.61)	(2.11)	(1.68)	
	[0.04]	[0.11]	[0.04]	[0.09]	
L_TOMAS	469765.01	3833732.53	444094.09	3492255.80	13595143.14**
	(0.07)	(0.61)	(0.07)	(0.56)	(8.70)
	[0.94]	[0.54]	[0.95]	[0.57]	[0.00]
L_TEMP	-21768793.04		-21828120.71*		
	(-1.62)		(-1.68)		
	[0.11]		[0.10]		
L_ARIDEZ	66505.50	1306214.30			
	(0.02)	(0.39)			
	[0.98]	[0.69]			
OBSERVACIONES	231	231	231	231	231
R^2 AJUSTADO	0.27	0.27	0.27	0.27	0.26
LOG. VERO.	-4,300	-4,300	-4,300	-4,300	-4,400

Entre paréntesis los estadísticos *t*. Valores *p* entre corchetes.
* Indica significativo al nivel del 10 por ciento. ** Indica significativo al nivel del 5 por ciento.
Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 3. 11. Resultados de regresión por MCO, variable dependiente volumen facturado, forma funcional logarítmica lineal (véase ecuación (3.4)).

VARIABLE	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
CONSTANTE	12.68**	13.36**	12.69**	13.36**	13.23**
	(27.82)	(84.67)	(28.56)	(92.72)	(78.14)
	[0.00]	[0.00]	[0.00]	[0.00]	[0.00]
PRECIO	0.05*	0.05*	0.05*	0.05*	0.16**
	(1.72)	(1.71)	(1.73)	(1.71)	(4.74)
	[0.09]	[0.09]	[0.08]	[0.09]	[0.00]
ING	-0.00**	-0.00**	-0.00**	-0.00**	
	(-9.32)	(-9.43)	(-9.42)	(-9.52)	
	[0.00]	[0.00]	[0.00]	[0.00]	
TOMAS	3.31**	3.34**	3.31**	3.34**	0.48**
	(10.80)	(10.90)	(10.91)	(10.99)	(8.64)
	[0.00]	[0.00]	[0.00]	[0.00]	[0.00]
TEMP	0.03		0.03		
	(1.61)		(1.60)		
	[0.11]		[0.11]		
ARIDEZ	0.002	0.0003			
	(0.14)	(0.02)			
	[0.89]	[0.99]			
OBSERVACIONES	231	231	231	231	231
R^2 AJUSTADO	0.55	0.54	0.55	0.54	0.37
LOG. VERO.	-360	-360	-360	-360	-400

Entre paréntesis los estadísticos *t*. Valores *p* entre corchetes.
* Indica significativo al nivel del 10 por ciento. ** Indica significativo al nivel del 5 por ciento.
Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 3. 12. Resultados de regresión por MCO, variable dependiente volumen facturado, forma funcional doble logarítmica (véase ecuación (3.5)).

VARIABLE	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
CONSTANTE	10.92**	11.22**	10.74**	11.01**	17.00**
	(13.45)	(13.70)	(12.98)	(13.33)	(257.70)
	[0.00]	[0.00]	[0.00]	[0.00]	[0.00]
L_PRECIO	-0.12**	-0.11**	-0.12**	-0.12**	-0.10**
	(-4.79)	(-4.61)	(-4.87)	(-4.73)	(-3.47)
	[0.00]	[0.00]	[0.00]	[0.00]	[0.00]
L_ING	0.30**	0.35**	0.34**	0.37**	
	(5.71)	(6.94)	(6.37)	(7.29)	
	[0.00]	[0.00]	[0.00]	[0.00]	
L_TOMAS	0.72**	0.66**	0.68**	0.64**	1.06**
	(11.88)	(11.36)	(11.21)	(10.95)	(64.81)
	[0.00]	[0.00]	[0.00]	[0.00]	[0.00]
L_TEMP	0.36**		0.27**		
	(2.94)		(2.20)		
	[0.00]		[0.03]		
L_ARIDEZ	0.10**	0.08**			
	(3.30)	(2.67)			
	[0.00]	[0.01]			
OBSERVACIONES	231	231	231	231	231
R^2 AJUSTADO	0.96	0.96	0.96	0.96	0.95
LOG. VERO.	-73	-78	-79	-81	-110

Entre paréntesis los estadísticos *t*. Valores *p* entre corchetes.
* Indica significativo al nivel del 10 por ciento. ** Indica significativo al nivel del 5 por ciento.
Fuente: Elaboración propia.

Por otra parte, la estimación de esta función de demanda total es muy útil para ver los efectos que tiene sobre el medio ambiente la prevalencia de los niveles de consumo actuales. Esto no es tan fácil de visualizar cuando se analiza una función de demanda normalizada por el número de usuarios. Aquí radica precisamente una de las principales aportaciones de este trabajo, pues se intenta averiguar los determinantes a nivel de localidad que inciden en los niveles de consumo que se efectúan en las localidades que atienden los OOAP, y poder así observar el impacto que esto tiene sobre las fuentes de abastecimiento.

Demanda por toma

Las estimaciones para el modelo de demanda por toma se presentan en diferentes cuadros, de acuerdo con cada forma funcional y con cinco combinaciones de las cuatro variables independientes consideradas. Así, en el Cuadro 3.13 se muestran los resultados de las estimaciones para la forma funcional lineal-lineal, mientras que en el Cuadro 3.14 se observan los resultados para la forma funcional lineal-logarítmica, en el Cuadro 3.15 los de la forma logarítmica-lineal; y en el Cuadro 3.16 los coeficientes para la forma funcional doble logarítmica. De las cuatro formas funcionales se puede ver que el modelo con el mejor ajuste es el (1) del Cuadro 3.16, pues se tiene significancia estadística para todas las variables explicativas y un coeficiente de determinación ajustado de 28 por ciento, que es el más alto para todos los modelos estimados, incluso bajo otras formas funcionales.

De esta manera, el análisis se centra en dicho modelo, en el que se verifica que la relación esperada de estas variables con la dependiente es la prevista en la sección de metodología. Además, los valores de este modelo se pueden interpretar como las elasticidades de la demanda por toma, que en el caso del precio es de -0.11, un valor muy cercano al obtenido en el modelo de la demanda total, en tanto que la elasticidad ingreso es de 0.33. Ambos valores de las elasticidades están dentro del rango de estimaciones encontradas en los trabajos previos, siendo ahora sí, completamente comparables con la mayoría de ellos. Debe tomarse en cuenta, sin embargo, que la mayoría de estos trabajos ha realizado el análisis de la demanda por usuario.

La estimación de este modelo de demanda por toma tiene dos objetivos. Por un lado, se pretende verificar la sensibilidad de la demanda respecto a las variables consideradas, lo que puede ayudar en el diseño de políticas de manejo del agua urbana. Esto daría información sobre los aspectos que inciden en el comportamiento de los usuarios en el consumo de agua. Por otro lado, este modelo también sirve para contrastar la consistencia de los datos utilizados aquí, con base en los resultados obtenidos en los trabajos anteriores, lo que se satisface ampliamente.

Cuadro 3. 13. Resultados de regresión por MCO, variable dependiente volumen facturado por toma, forma funcional lineal (véase ecuación (3.6)).

VARIABLE	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
CONSTANTE	111.41**	166.81**	127.62**	176.04**	225.04**
	(4.59)	(15.66)	(5.25)	(16.88)	(25.94)
	[0.00]	[0.00]	[0.00]	[0.00]	[0.00]
PRECIO	-8.73**	-8.98**	-8.46**	-8.70**	-5.65**
	(-5.67)	(-5.77)	(-5.38)	(-5.50)	(-3.36)
	[0.00]	[0.00]	[0.00]	[0.00]	[0.00]
ING_T	0.61**	0.68**	0.64**	0.69**	
	(6.25)	(7.09)	(6.39)	(7.15)	
	[0.00]	[0.00]	[0.00]	[0.00]	
TEMP	2.79**		2.47**		
	(2.54)		(2.20)		
	[0.01]		[0.03]		
ARIDEZ	3.15**	2.94**			
	(3.37)	(3.12)			
	[0.00]	[0.00]			
OBSERVACIONES	231	231	231	231	231
R^2 AJUSTADO	0.26	0.24	0.23	0.21	0.04
LOG. VERO.	-1,300	-1,300	-1,300	-1,300	-1,300

Entre paréntesis los estadísticos *t*. Valores *p* entre corchetes.
* Indica significativo al nivel del 10 por ciento. ** Indica significativo al nivel del 5 por ciento.
Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 3. 14. Resultados de regresión por MCO, variable dependiente volumen facturado por toma, forma funcional lineal logarítmica (véase ecuación (3.7)).

VARIABLE	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
CONSTANTE	-246.35**	-63.50	-193.55**	-52.91	218.05**
	(-3.52)	(-1.60)	(-2.77)	(-1.32)	(28.85)
	[0.00]	[0.11]	[0.01]	[0.19]	[0.00]
L_PRECIO	-21.02**	-20.87**	-21.98**	-21.70**	-14.65**
	(-4.70)	(-4.58)	(-4.82)	(-4.71)	(-2.97)
	[0.00]	[0.00]	[0.00]	[0.00]	[0.00]
L_ING_T	51.63**	60.99**	55.84**	62.81**	
	(5.53)	(6.76)	(5.90)	(6.88)	
	[0.00]	[0.00]	[0.00]	[0.00]	
L_TEMP	72.55**		56.57**		
	(3.14)		(2.44)		
	[0.00]		[0.02]		
L_ARIDEZ	19.57**	15.86**			
	(3.38)	(2.75)			
	[0.00]	[0.01]			
OBSERVACIONES	231	231	231	231	231
R^2 AJUSTADO	0.25	0.22	0.21	0.20	0.03
LOG. VERO.	-1,300	-1,300	-1,300	-1,300	-1,300

Entre paréntesis los estadísticos *t*. Valores *p* entre corchetes.
* Indica significativo al nivel del 10 por ciento. ** Indica significativo al nivel del 5 por ciento.
Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 3. 15. Resultados de regresión por MCO, variable dependiente volumen facturado por toma, forma funcional logarítmica lineal (véase ecuación (3.8)).

VARIABLE	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
CONSTANTE	4.7421**	5.0156**	4.8317**	5.0670**	5.3463**
	(35.9049)	(86.6863)	(36.4759)	(89.3554)	(112.3208)
	[0.0000]	[0.0000]	[0.0000]	[0.0000]	[0.0000]
PRECIO	-0.0448**	-0.0461**	-0.0434**	-0.0445**	-0.0271**
	(-5.3471)	(-5.4530)	(-5.0589)	(-5.1730)	(-2.9402)
	[0.0000]	[0.0000]	[0.0000]	[0.0000]	[0.0036]
ING_T	0.0035**	0.0039**	0.0037**	0.0040**	
	(6.6456)	(7.4477)	(6.7756)	(7.4930)	
	[0.0000]	[0.0000]	[0.0000]	[0.0000]	
TEMP	0.0138**		0.0120*		
	(2.2987)		(1.9629)		
	[0.0224]		[0.0509]		
ARIDEZ	0.0174**	0.0164**			
	(3.4191)	(3.2011)			
	[0.0007]	[0.0016]			
OBSERVACIONES	231	231	231	231	231
R^2 AJUSTADO	0.2643	0.2504	0.2296	0.2200	0.0322
LOG. VERO.	-77.3	-79.97	-83.13	-85.07	-110.5

Entre paréntesis los estadísticos *t*. Valores *p* entre corchetes.
* Indica significativo al nivel del 10 por ciento. ** Indica significativo al nivel del 5 por ciento.
Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 3. 16. Resultados de regresión por MCO, variable dependiente volumen facturado por toma, forma funcional doble logarítmica (véase ecuación (3.9)).

VARIABLE	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
CONSTANTE	2.7551**	3.6283**	3.0047**	3.6552**	5.3093**
	(7.3951)	(17.8973)	(8.0896)	(17.8296)	(128.0555)
	[0.0000]	[0.0000]	[0.0000]	[0.0000]	[0.0000]
L_PRECIO	-0.1088**	-0.1081**	-0.1146**	-0.1132**	-0.0674**
	(-4.5553)	(-4.4610)	(-4.7159)	(-4.6255)	(-2.4927)
	[0.0000]	[0.0000]	[0.0000]	[0.0000]	[0.0134]
L_ING_T	0.3330**	0.3750**	0.3619**	0.3906**	
	(6.7776)	(7.9062)	(7.3484)	(8.1998)	
	[0.0000]	[0.0000]	[0.0000]	[0.0000]	
L_TEMP	0.3410**		0.2559**		
	(2.7768)		(2.0934)		
	[0.0060]		[0.0374]		
L_ARIDEZ	0.0990**	0.0801**			
	(3.1796)	(2.5995)			
	[0.0017]	[0.0099]			
OBSERVACIONES	231	231	231	231	231
R^2 AJUSTADA	0.2815	0.2602	0.2526	0.2415	0.0222
LOG. VERO.	-74.57	-78.45	-79.63	-81.84	-111.7

Entre paréntesis los estadísticos *t*. Valores *p* entre corchetes.
* Indica significativo al nivel del 10 por ciento. ** Indica significativo al nivel del 5 por ciento.
Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, este modelo de demanda por toma, al igual que el de la demanda total, muestra una significativa sensibilidad al precio, aunque el nivel de elasticidad es muy reducido. Las elasticidades respecto al ingreso y las variables climáticas son también mayores que la del precio, por lo que si se buscara contrarrestar todos estos efectos mediante aumentos en el precio, los aumentos en términos relativos serían muy altos, aunque tal vez en términos absolutos signifiquen aumentos más razonables dado el nivel actual de los precios promedio encontrados en estos datos. Es así que el siguiente paso será ampliar el análisis sobre los determinantes del precio, esperando encontrar los factores que incidan en él.

3.5.2. Determinantes del precio

Otra de las aportaciones de este trabajo es la estimación de una función del precio promedio por metro cúbico que cobra cada OOAP, orientada a tratar de identificar los factores que influyen en su determinación. Para ello se considera un paquete de cuatro variables que pueden estar determinando el comportamiento de esta variable. De este modo, también se probaron las cuatro formas funcionales utilizadas en los modelos de demanda, de manera que en el Cuadro 3.17 están los resultados de la forma funcional lineal-lineal, en el Cuadro 3.18 para la lineal-logarítmica, los de la forma logarítmica-lineal están en el Cuadro 3.19, y los de la doble logarítmica se muestran en el Cuadro 3.20.

De las cuatro formas funcionales, la doble logarítmica es la que muestra un mejor ajuste, pues en ella todas las variables muestran valores consistentes entre las seis combinaciones que se establecieron para los cálculos. Cabe recordar que las variables índice de agua no contabilizada (ANC) y cobertura de micro-medición (MICRO) son excluyentes en cada uno de los modelos.

Es importante señalar que para la especificación logarítmica de la variable MICRO se tuvo que sumar una cifra constante a cada elemento de la muestra, con valor de 0.0000000001, dado que 92 observaciones registraban una cobertura de micro-medición igual a cero. De acuerdo con Hu (1972), este procedimiento permite estimar los logaritmos de este tipo de datos, sin alterarlos significativamente.

Ahora bien, la interpretación de lo anterior no es sencilla, al menos en lo referente a la variable de gasto por metro cúbico, si bien la relación entre ambas variables es positiva. La dificultad radica en el hecho de que no es claro si a mayor gasto el organismo es más ineficiente y como consecuencia ofrezca un servicio de baja calidad, o si un mayor gasto significa un mejor servicio, de manera que el significado de esta relación es ambiguo. No obstante, cabría esperar que cualquiera que sea el significado real, el consumidor desearía que el precio no aumente, pero ante tal disyuntiva, preferiría un mayor precio ante una mejor calidad del servicio.

Por otra parte, la relación directa del gasto con el precio conduce a creer que tal vez los OOAP sí buscan mantener un equilibrio en sus finanzas, por lo que si su gasto aumenta eso se ve reflejado en un mayor precio a los consumidores, lo que está dentro

de la lógica de un buen manejo financiero. Se debe tener en cuenta que el precio cobrado en la mayoría de los casos no es determinado por el propio organismo, sino que es exógeno, al ser dictado por autoridades de niveles superiores. Pero aún así, se puede interpretar que, en lo posible, los organismos buscan solventar sus finanzas.

En cuanto a la relación con el tamaño del sistema que atiende cada OOAP, aproximado por el número de tomas se observa una relación positiva y significativa con un valor de elasticidad de 0.09. Esto significa que el precio aumentará en este porcentaje ante cada uno por ciento que aumente el número de tomas. Es decir, que los organismos más grandes cobran más, lo que puede dar un poco de luz sobre lo que se esconde en la relación con el gasto, pues una red más grande demanda un mayor gasto, que puede traducirse en lo que se conoce como economías de escala. Es así que un mayor gasto termine por reflejar un mejor servicio, dado el tamaño del sistema. Sin embargo, la relación sigue siendo poco clara.

La relación con el nivel de micro-medición es más clara, ya que por cada uno por ciento que aumente la proporción de medidores instalados con lectura, en relación al número de tomas registradas, el precio aumentará en 0.01 por ciento. Esto significa que entre mayor control haya sobre lo que se consume, se puede cobrar de acuerdo al volumen utilizado, lo que no se puede realizar cuando no se mide el consumo y por tanto, se refleja como un incremento en el precio.

El índice de agua no contabilizada muestra también una relación directa con el precio. Por cada uno por ciento que aumente este indicador, el precio aumentará en 0.52 por ciento. Ello se puede interpretar como el resultado de cargar sistemáticamente el costo de la ineficiencia del organismo a los usuarios que ya tiene cautivos, en lugar de buscar abatir el agua no facturada o el clandestinaje y con ello hacerse de nuevos consumidores que paguen el servicio. Por tanto, este hallazgo refleja claramente cómo hay una significativa relación entre los OOAP que mantienen altos niveles de este índice y el mayor precio que cobran a sus respectivos usuarios.

Como se ha podido ver, las evidencias recogidas de la estimación de la función del precio, conducen, más que a resultados definitivos, a una serie de hipótesis que valdrá la pena contrastar en trabajos posteriores. Al ser el precio uno de los instrumentos económicos más explorado, como posible alternativa al manejo adecuado

de la demanda de agua urbana, avanzar en esta dirección será de gran valor en el diseño de una política hídrica más informada.

Cuadro 3. 17. Resultados de regresión por MCO, variable dependiente precio, forma funcional lineal (véase ecuación (3.10)).

VARIABLE	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
CONSTANTE	1.64**	-0.95	1.92**	1.87**	1.59**	-1.01
	(5.20)	(-1.45)	(6.43)	(6.39)	(5.14)	(-1.56)
	[0.00]	[0.15]	[0.00]	[0.00]	[0.00]	[0.12]
GAST	0.65**	0.76**	0.64**	0.67**	0.67**	0.78**
	(9.76)	(11.26)	(9.54)	(10.84)	(11.06)	(12.59)
	[0.00]	[0.00]	[0.00]	[0.00]	[0.00]	[0.00]
TOMAS	0.09	0.07	0.10			
	(0.83)	(0.70)	(0.90)			
	[0.41]	[0.49]	[0.37]			
MICRO	1.15**				1.16**	
	(2.36)				(2.39)	
	[0.02]				[0.02]	
ANC		5.04**				5.07**
		(4.83)				(4.88)
		[0.00]				[0.00]
OBSERVACIONES	159	159	159	159	159	159
R^2 AJUSTADO	0.44	0.50	0.42	0.42	0.44	0.50
LOG. VERO.	-340	-330	-340	-340	-340	-330

Entre paréntesis los estadísticos *t*. Valores *p* entre corchetes.
* Indica significativo al nivel del 10 por ciento. ** Indica significativo al nivel del 5 por ciento.
Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 3. 18. Resultados de regresión por MCO, variable dependiente precio, forma funcional lineal logarítmica (véase ecuación (3.11)).

VARIABLE	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
CONSTANTE	-1.61	-1.18	-1.90**	1.35**	1.64**	2.10**
	(-1.65)	(-1.21)	(-1.98)	(3.53)	(3.81)	(4.48)
	[0.10]	[0.23]	[0.05]	[0.00]	[0.00]	[0.00]
L_GAST	2.01**	2.25**	1.98**	2.68**	2.71**	2.96**
	(5.93)	(6.53)	(5.83)	(9.25)	(9.37)	(9.77)
	[0.00]	[0.00]	[0.00]	[0.00]	[0.00]	[0.00]
L_TOMAS	0.45**	0.46**	0.45**			
	(3.68)	(3.81)	(3.66)			
	[0.00]	[0.00]	[0.00]			
L_MICRO	0.02				0.02	
	(1.53)				(1.45)	
	[0.13]				[0.15]	
L_ANC		1.40**				1.36**
		(2.87)				(2.67)
		[0.00]				[0.01]
OBSERVACIONES	159	159	159	159	159	159
R^2 AJUSTADO	0.40	0.42	0.40	0.35	0.35	0.37
LOG. VERO.	-350	-340	-350	-350	-350	-350

Entre paréntesis los estadísticos *t*. Valores *p* entre corchetes.
* Indica significativo al nivel del 10 por ciento. ** Indica significativo al nivel del 5 por ciento.
Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 3. 19. Resultados de regresión por MCO, variable dependiente precio, forma funcional logarítmica lineal (véase ecuación (3.12)).

VARIABLE	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
CONSTANTE	0.76**	0.03	0.85**	0.84**	0.76**	0.02
	(10.08)	(0.17)	(11.75)	(11.85)	(10.16)	(0.11)
	[0.00]	[0.86]	[0.00]	[0.00]	[0.00]	[0.91]
GAST	0.12**	0.15**	0.12**	0.12**	0.12**	0.16**
	(7.49)	(9.52)	(7.19)	(8.20)	(8.51)	(10.62)
	[0.00]	[0.00]	[0.00]	[0.00]	[0.00]	[0.00]
TOMAS	0.02	0.01	0.02			
	(0.67)	(0.50)	(0.75)			
	[0.51]	[0.61]	[0.46]			
MICRO	0.36**				0.36**	
	(3.07)				(3.10)	
	[0.00]				[0.00]	
ANC		1.45**				1.45**
		(5.89)				(5.94)
		[0.00]				[0.00]
OBSERVACIONES	159	159	159	159	159	159
R^2 AJUSTADO	0.33	0.42	0.29	0.30	0.33	0.42
LOG. VERO.	-110	-100	-120	-120	-110	-100

Entre paréntesis los estadísticos *t*. Valores *p* entre corchetes.
* Indica significativo al nivel del 10 por ciento. ** Indica significativo al nivel del 5 por ciento.
Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 3. 20. Resultados de regresión por MCO, variable dependiente precio, forma funcional doble logarítmica (véase ecuación (3.13)).

VARIABLE	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
CONSTANTE	0.12	0.28	0.01	0.66**	0.77**	0.95**
	(0.56)	(1.35)	(0.06)	(7.76)	(8.11)	(9.41)
	[0.58]	[0.18]	[0.95]	[0.00]	[0.00]	[0.00]
l_GAS_PM3_B	0.43**	0.52**	0.42**	0.56**	0.57**	0.67**
	(5.73)	(7.03)	(5.49)	(8.65)	(8.95)	(10.27)
	[0.00]	[0.00]	[0.00]	[0.00]	[0.00]	[0.00]
l_TOMAS	0.09**	0.09**	0.09**			
	(3.31)	(3.58)	(3.24)			
	[0.00]	[0.00]	[0.00]			
l_COB_MIC_B	0.01**				0.01**	
	(2.56)				(2.47)	
	[0.01]				[0.01]	
l_ANC_B		0.52**				0.51**
		(4.94)				(4.69)
		[0.00]				[0.00]
OBSERVACIONES	159	159	159	159	159	159
R^2 AJUSTADO	0.38	0.44	0.36	0.32	0.34	0.40
LOG. VERO.	-110	-99	-110	-120	-110	-110

Entre paréntesis los estadísticos *t*. Valores *p* entre corchetes.
* Indica significativo al nivel del 10 por ciento. ** Indica significativo al nivel del 5 por ciento.
Fuente: Elaboración propia.

A lo largo de esta sección se pudieron verificar los resultados de las estimaciones planteadas para los fines de este trabajo, mostrando ampliamente la consistencia y robustez de los mismos. De la misma manera, se analizan los modelos que arrojaron los mejores resultados, señalando puntualmente su potencial de análisis. Un último paso será, en consecuencia, dedicar una sección para ver cuáles serían las implicaciones que tendrían estos hallazgos sobre el futuro en la disponibilidad de este recurso vital.

3.6. Análisis e interpretación

A partir de los resultados del Cuadro 3.12 correspondientes al modelo de demanda total de agua, se puede interpretar que el volumen facturado está fuertemente influenciado por el crecimiento de la población. El número de tomas es el coeficiente que genera mayor impacto sobre el volumen facturado: por cada uno por ciento que aumente la población, la demanda de agua se incrementará también en 0.72 por ciento, un aumento de prácticamente tres cuartas partes de la demanda.

En cuanto al precio la demanda total muestra una alta sensibilidad; sin embargo, el coeficiente es de -0.12 lo que significa que la demanda es inelástica al precio. Por tanto, si se planteara una propuesta para tratar de reducir la demanda por medio de aumentos en el precio, el impacto sería muy reducido. Además de que el nivel de ingresos de la localidad también impulsa el aumento de la demanda en 0.3 por ciento. Junto al crecimiento del número de tomas, los ingresos hacen que un aumento de la misma proporción en el precio no sea suficiente siquiera para nulificar el impacto del aumento en los ingresos y el crecimiento poblacional.

En este sentido, resulta interesante averiguar si es factible aumentar el precio promedio del agua, como una alternativa de política para controlar o reducir la demanda. Si ello es posible, en cuánto sería necesario aumentar el precio para lograr contrarrestar los efectos del inminente crecimiento de la población de México, manteniendo todo lo demás constante.

Para evaluar la sustentabilidad del patrón de consumo de agua que existe actualmente, se harán proyecciones con base a los pronósticos de crecimiento poblacional de México para el año 2050 publicados por el CONAPO (2006). De estas proyecciones poblacionales se desprenden tres escenarios. Uno de mínimo crecimiento poblacional que considera un alto nivel de migración a Estados Unidos, baja tasa de natalidad y otros factores que pudieran propiciar dicho escenario. Otro escenario es el que generalmente publica el Consejo como proyección oficial más probable y que se puede decir que mantiene las variables de población en un nivel moderado. Un tercer escenario es en el que se plantea un mayor crecimiento de población y una reducción importante de los niveles de migración y por consecuencia es el nivel máximo de población que se pronostica para el 2050.

A partir de estos escenarios de crecimiento poblacional se buscaron los niveles históricos del porcentaje de población urbana del país, para estimar la tasa media de crecimiento anual de la población en localidades de más de 2,500 habitantes. Esto se hizo para el periodo del año 2000 al año 2010, obteniendo el porcentaje de población urbana para cada uno de los escenarios de crecimiento total de la población. Con base en estos porcentajes de proyección de la población urbana se calcularon los requerimientos de agua para cada escenario y el porcentaje en el que debería aumentar el precio, en términos reales, si se quisiera contrarrestar la creciente demanda por medio de este instrumento.

En el Cuadro 3.21 se muestran las proyecciones realizadas para cada uno de los tres escenarios. Considerando solamente aumentos en la población urbana que en un nivel de máximo crecimiento sería de 45 por ciento. En relación al número de tomas, esto significaría un aumento de 32.4 por ciento en la demanda de agua. Entonces, si se sigue con el mismo comportamiento actual en el consumo, contrarrestar ese aumento mediante el precio supondría la necesidad de un aumento de 270 por ciento en el precio promedio (en términos reales), por lo que al agregar el efecto inflacionario sería aún mucho mayor.

Estos escenarios demuestran que buscar la reducción de la demanda solo con subir el precio es prácticamente imposible. Dado el paradigma político y cultural actual, habría serias dificultades para llevar a cabo un aumento significativo en las tarifas del agua. Al ser el agua un recurso vital, habría también altos impactos sociales y políticos. Por lo tanto, el precio como instrumento de manejo de la demanda tiene un potencial muy bajo y habría que ver entonces si tiene alguna justificación aumentarlo para mejorar, al menos, las finanzas de los OOAP. Además estas proyecciones son muy conservadoras, pues no se tiene en cuenta el impacto que pudiera causar un cambio en los niveles de ingreso de los usuarios, así como los efectos del cambio climático, factores ampliamente determinantes a la luz de estos resultados.

Cuadro 3. 21. Escenarios del consumo de agua en México para el año 2050.

	Población		Aumento en la demanda	Incremento en el precio para neutralizar el aumento en la demanda (%)
Escenarios de crecimiento	**Total en 2050**	**Urbana con respecto al 2010 (%)**	**Número de Tomas (%)**	
Mínimo	116,571,269	21	15.12	126
Más probable	121,855,703	27	19.44	162
Máximo	139,825,104	45	32.4	270

Fuente: Elaboración propia con base a datos del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI) y del Consejo Nacional de Población (CONAPO).

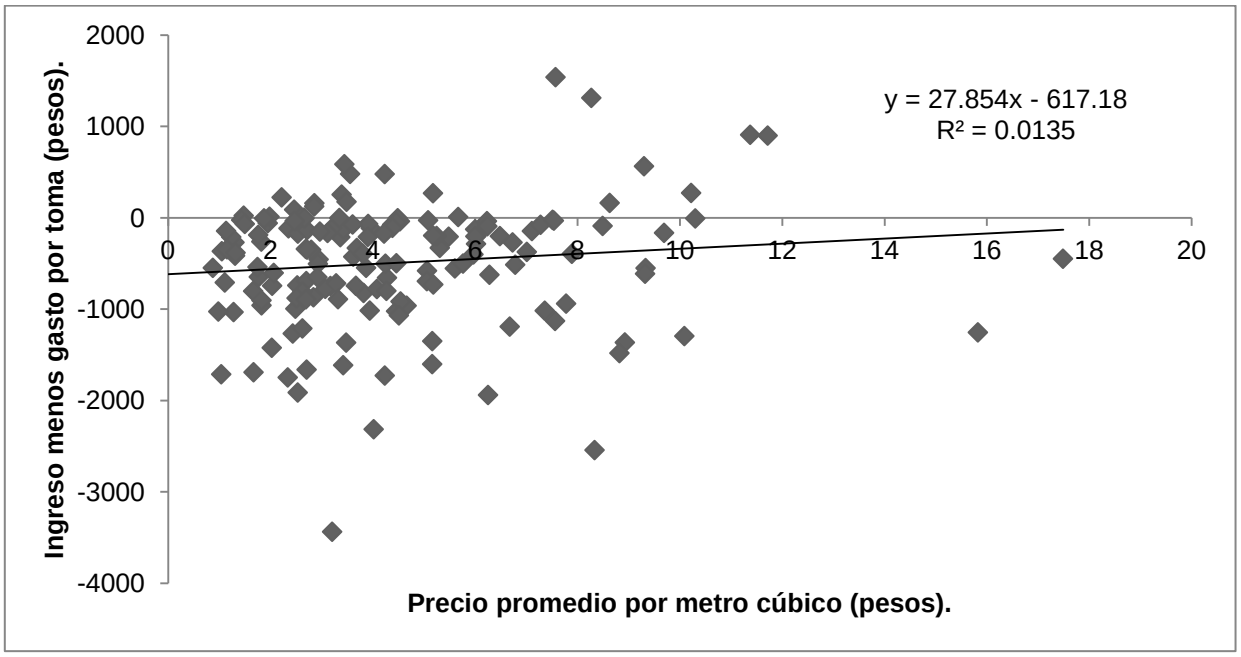
Pero antes de llevar el análisis hacia el desempeño de los organismos, es necesario resaltar que estas proyecciones para estos escenarios mandan un mensaje claro de que se requieren acciones más profundas e integrales en el manejo y cultura del agua. De seguir con los mismos patrones actuales de consumo, se necesitará aumentar la oferta significativamente, situación que tal vez no sería sostenible. Es por ello que ha surgido el enfoque de controlar la demanda, para ir paliando los problemas crecientes de disponibilidad y acceso que se presentan como resultado de la dinámica de crecimiento y estilo de vida de la población.

Ahora, los resultados del Cuadro 3.20, en general, indican que a mayores niveles de ineficiencia mayor es el precio que cobran los organismos operadores. Esto contradice las expectativas que se generan con la inelasticidad precio de la demanda, pues se supondría que el gobierno podría autorizar aumentos del precio con el afán de ayudar a sanear las finanzas de los OOAP, esperando que al tener mayores ingresos logren generar utilidades. Sin embargo, como se observa en la Gráfica 3.16 existe una gran cantidad de organismos que cobran tarifas mayores al promedio y aún así muestran pérdidas en sus balances financieros.

Esto significa que autorizar el aumento de las tarifas contribuye poco para el control de la demanda por su baja elasticidad, así como tampoco parece ser suficiente para revertir los niveles deficitarios de las finanzas que reportan la mayoría de los organismos operadores. Entonces, se refuerza el argumento de que la alternativa de sostenibilidad, por el lado del control de la demanda, requiere de acciones más

integrales que van más allá de promover acciones que impliquen simples aumentos en el precio del agua como una panacea del control de la demanda.

Gráfica 3. 16. Relación del precio promedio por metro cúbico de agua con el nivel de utilidades generadas en los OOAP.



Fuente: Elaboración propia.

3.7. Conclusiones

En este capítulo se ha podido evaluar el potencial del precio como mecanismo de control de la demanda de agua urbana en México. También se pudo explorar acerca de los determinantes del precio promedio por metro cúbico que cobra cada organismo operador. Los resultados de estos análisis hicieron posible plantear algunos escenarios de crecimiento de la población y sus implicaciones en los niveles de demanda.

Para el análisis de la demanda se desarrolla un marco metodológico en el que se plantea la estimación de dos funciones de demanda. La primera es una función de demanda total, es decir, se buscan los determinantes de los niveles de demanda que enfrenta un OOAP. La segunda es una función de demanda por toma. En este sentido,

la primera es uno de los aportes principales de este trabajo, ya que permite identificar la sensibilidad de la demanda al crecimiento poblacional, a otras variables socioeconómicas y evidentemente al precio, lo que puede ser de utilidad para evaluar el impacto sobre el medio ambiente. En tanto que la segunda sólo es útil para analizar el comportamiento individual de la demanda. No obstante, ésta última es la que más se ha desarrollado en la literatura sobre el tema y por ello se realiza aquí para contrastar los resultados, específicamente sobre las elasticidades del precio y del ingreso.

El volumen facturado es la variable que se considera como una proxy de la cantidad demandada de agua. Por un lado, tiene la virtud de que representa el consumo efectivo que realizan los usuarios durante un determinado periodo de tiempo. Pero por otra parte, tiene la limitante de que no representa la demanda total y potencial (i. e. los usuarios que no están conectados a la red de distribución). Sin embargo, otro punto fundamental a su favor es la accesibilidad y disponibilidad de los datos, por lo que en la literatura también se ha recurrido a este tipo de información. No obstante, la mayoría de los trabajos previos centran su análisis sólo en el uso residencial, mientras que en este trabajo se analiza el total del uso público urbano, que incluye, además del residencial, el resto de usos contemplados en su definición.

Las variables explicativas consideradas para el modelo de demanda total son cinco. El precio promedio por metro cúbico, el ingreso monetario anual de la localidad, el número de tomas, la temperatura promedio anual y la aridez. Para el modelo de demanda por toma son las mismas variables, a excepción del número de tomas. Además la variable del ingreso monetario anual está normalizada por el número de tomas.

Otra de las aportaciones de este trabajo es la estimación de una función del precio promedio por metro cúbico. Dado que no se ha encontrado evidencia de un trabajo previo que trate de estimar una función del precio, los hallazgos pretenden, más que nada, identificar patrones y tendencias de esta variable en los OOAP. Para ello, el precio se define como la razón del monto de la recaudación monetaria y el volumen facturado de cada organismo. Con esto se tiene una aproximación al precio promedio que en realidad pagan los usuarios. Se consideran cuatro variables explicativas. El gasto promedio por metro cúbico en que incurren los organismos. El número de tomas

que representa el tamaño del sistema que atienden. El índice de agua no contabilizada y el porcentaje de cobertura de micro-medición.

La información necesaria para la estimación de estos tres modelos proviene principalmente de la CONAGUA, mientras que la información sobre el ingreso monetario promedio de los usuarios proviene del CONEVAL. Estos datos corresponden al año 2010. La muestra consta de 231 organismos con información completa para todas las variables, a excepción de la variable del gasto promedio por metro cúbico, para la que sólo 159 organismos cuentan con información.

El análisis preliminar de las variables de cada modelo permite verificar la consistencia de los datos utilizados. A través de los respectivos resúmenes estadísticos se observan disparidades significativas en todas las variables, lo que hace factible la realización de las estimaciones planteadas. A partir de esto, se llevan a cabo las correlaciones de cada una de las variables explicativas con sus respectivas dependientes. La mayoría de estas correlaciones muestran bajos niveles de relación de las variables independientes con su correspondiente variable dependiente. No obstante, al controlar por otras variables la relación puede ser significativa.

Las estimaciones econométricas se realizan por el método de Mínimos Cuadrados Ordinarios, bajo cuatro formas funcionales en cada uno de los tres modelos planteados. La lineal-lineal, la lineal-logarítmica, la logarítmica-lineal y la doble logarítmica. En los tres modelos la forma funcional que arroja los mejores resultados es la doble logarítmica.

En el caso de la demanda total los resultados muestran que todas las variables independientes son significativas. Dado que la mejor forma funcional es la doble logarítmica, los coeficientes pueden interpretarse como elasticidades. Así, la elasticidad precio es de -0.12, mientras que la del ingreso es de 0.30. Resultados consistentes con los rangos encontrados en la literatura. Esta inelasticidad precio de la demanda implica que el precio, por sí solo, como instrumento de control de la demanda puede ser muy débil. Significa que, manteniendo lo demás constante, los aumentos en el precio hacen que los niveles de demanda varíen muy poco. Ahora, si se suma el efecto del ingreso, tratar de contrarrestar el correspondiente aumento de la demanda por medio del precio,

resulta en la necesidad de plantear aumentos significativamente elevados del mismo, que en el paradigma actual puede ser poco factible.

En cuanto a las variables climáticas, se encuentra que ante mayores temperaturas y niveles de aridez la demanda aumenta. Esto significa que un organismo que opere en una localidad con altas temperaturas y un elevado nivel de aridez enfrentará un aumento importante de la demanda. Al combinarse con el efecto del ingreso y la escasa sensibilidad al precio, puede haber problemas muy serios, considerando que las localidades con estas características suelen contar con una reducida disponibilidad natural.

Los resultados de la demanda por toma también muestran sensibilidad a todas las variables explicativas contempladas. Los niveles de elasticidad son prácticamente similares a los de la demanda total, por lo que también guardan consistencia con lo encontrado en la literatura. En general, se encuentra que el aumento en el precio tendría que ser muy alto para lograr tener reducciones importantes en los niveles de consumo de agua que prevalecen actualmente.

Otra manera de evaluar el potencial del precio, dada la inelasticidad de la demanda, es verificando si a partir del aumento en las tarifas cobradas, los OOAP pudieran mejorar sus finanzas. Es por ello que es importante indagar acerca de los determinantes del precio que cobran los organismos a los usuarios.

En cuanto a los determinantes del precio, es importante señalar la significativa relación con el gasto por metro cúbico, cuya interpretación no es clara. Por un lado se puede inferir que los organismos que gastan más son más ineficientes, traspasando los costos de sus ineficiencias a los usuarios a través del precio. Pero por otro lado, cabe la posibilidad de que los organismos que gastan y cobran más son los que ofrecen un mejor servicio, de modo que quizá para los usuarios resulte razonable un mayor cobro por el agua pero que les garantice un abasto de mejor calidad.

La relación directa encontrada entre el precio y el índice de agua no contabilizada, puede inferirse como el traspaso sistemático de las ineficiencias del organismo operador a los usuarios a través del precio. En tanto que el mismo tipo de relación encontrada con el nivel de micro-medición implica que por cada unidad porcentual que ésta aumente, el precio tenderá a incrementarse. Esto significa, tal vez,

que un mayor control sobre el consumo se traduce en un aumento de precio para los usuarios, lo que no sucede cuando no hay manera de medir el consumo. La relación con el tamaño del sistema significa que el precio tiende a aumentar cuando se incrementa el número de usuarios que atiende. Esto implica que los organismos más grandes tienden a estar cobrando más por el servicio.

A partir de estos resultados, se plantearon tres escenarios de crecimiento de la población urbana del 2010 al 2050, con datos del CONAPO. Uno de mínimo crecimiento que se proyecta con 21 por ciento de aumento. El más probable, que es el que se publica oficialmente, implica un aumento del 27 por ciento. Y el tercero de máximo crecimiento, implica un aumento del 45 por ciento. La relación de la demanda con respecto al número de usuarios muestra un coeficiente de 0.72, por lo que contrarrestar los respectivos aumentos de la demanda mediante el precio, significará aumentos muy elevados. Concretamente, 126, 162 y 270 por ciento respectivamente. En términos porcentuales estos aumentos pueden parecer muy elevados, pero si se tiene en cuenta el promedio de precios encontrado en los datos, tal vez esos aumentos no sean muy altos en términos absolutos. Sin embargo, existen limitaciones políticas, culturales y administrativas que pueden impedir la aplicación de una política de esta naturaleza.

Finalmente, en cuanto al manejo sostenible del agua queda claro que las medidas que se deben tomar no son tan simples como aumentar el precio del agua. Se requieren acciones que involucren medidas ambientales, culturales e institucionales y dentro de ello promover el desempeño eficiente de los organismos operadores.

4. CONCLUSIONES

En esta última parte se discute acerca de los principales hallazgos y aportaciones del trabajo, así como de sus limitaciones y futuras líneas de trabajo. Primero se destaca la relevancia del tema, es decir, se presentan los elementos que justifican investigar acerca del agua urbana. Luego se abordan las cuestiones metodológicas que se implementaron para desarrollar el trabajo. Enseguida se discuten los principales hallazgos sobre el análisis de la oferta. Subsecuentemente se discuten los resultados acerca de la demanda. Posteriormente se hace una vinculación entre las conclusiones derivadas de los análisis de oferta y demanda. Luego se hace una recapitulación de las principales lecciones que deja este trabajo. Finalmente se mencionan los alcances y limitaciones que derivan en el planteamiento de futuras líneas de trabajo.

Importancia del agua urbana en México

El agua urbana posee una relevancia significativa respecto al resto de usos a los que se destina el agua. Por un lado posee una relación más directa con los usuarios. Por su definición constituye el abasto para las necesidades más vitales y cotidianas, así como para una importante cantidad de actividades económicas. De manera que su disponibilidad se considera prioritaria. Por otra parte, el 61 por ciento del agua destinada a este uso proviene de fuentes subterráneas, por lo que depende bastante del manejo adecuado de los acuíferos para no poner en riesgo su disponibilidad.

Aunado a lo anterior, el crecimiento y concentración de la población en las zonas urbanas impone un importante desafío para la prestación del servicio, ya que por ejemplo, los asentamientos irregulares significan demanda de servicios que no son contemplados en el diseño de las ciudades. El problema se hace mayor si estas grandes ciudades se ubican en zonas de escasa disponibilidad natural de agua, tal como se ha podido observar que ocurre para el caso de México.

Es por esto que resulta imperante canalizar esfuerzos en tratar de comprender el comportamiento en la gestión del agua, desde el punto de vista del consumidor, así como del prestador del servicio. Tratando de generar información que resulte útil para el diseño de políticas sobre la materia.

Oferta

Desde el punto de vista económico, en este trabajo se desarrolla primero un análisis espacial de la oferta de agua urbana. La variable proxy que se considera para representar la oferta es la dotación media por habitante al día, que es la razón del volumen extraído y la población total de la localidad en la que se desempeña cada organismo operador. Los datos de esta variable provienen de la CONAGUA. La muestra inicial consta de 232 observaciones.

Para el análisis espacial se construye una matriz de contigüidad bajo el criterio de la distancia inversa, en el que todos los organismos de una misma subregión se consideran vecinos. No obstante, la ponderación se va reduciendo a medida que aumenta la distancia euclídia entre dichas unidades espaciales.

Una vez construida la matriz de pesos espaciales el siguiente paso consiste en la verificación de la presencia de autocorrelación espacial mediante las técnicas desarrolladas para el análisis exploratorio de datos espaciales. Específicamente mediante la estimación de los indicadores global y local de Moran. El índice global de Moran muestra evidencia de una moderada autocorrelación espacial en los niveles de oferta. En tanto que el indicador local permite visualizar la aglomeración de valores similares de la variable en diferentes zonas del territorio. Predominan los valores altos de la dotación en la zona norte, mientras que en el centro y sur se observan agrupaciones de organismos con bajos niveles de oferta.

La evidencia acerca de la asociación espacial de la oferta exige evaluar sus efectos sobre los modelos de regresión en los que se pretende averiguar acerca de los determinantes de la oferta. En efecto, sobre los residuos de la estimación por MCO se realizan las pruebas de autocorrelación espacial. Dichas pruebas son el índice global de Moran que resulta significativo y los multiplicadores de Lagrange en los que se sugiere la estimación por el modelo de error espacial. Al contrastar los resultados de las estimaciones de MCO versus error espacial, resulta con un mejor ajuste este último. Esto es lo que se denomina análisis confirmatorio de autocorrelación espacial, que en este caso se presenta en el término de error.

Las estimaciones econométricas de los modelos de oferta se realizan para dos paquetes de variables explicativas. El primero consta de cuatro y se mantiene la muestra de 232 observaciones. En el segundo se incluyen las cuatro anteriores y cuatro adicionales, sin embargo, esto implica la reducción de la muestra a 159 observaciones. Entonces la matriz de contigüidad también se debe ajustar para poder realizar las estimaciones del modelo de error espacial, que es el que se sugiere al realizar las pruebas de asociación espacial sobre los residuos del modelo de MCO.

Uno de los principales hallazgos es la evidencia sobre la existencia de una moderada autocorrelación espacial positiva en los niveles de oferta, así como la presencia de patrones de valores similares de dicha variable en el territorio nacional. Esto implica que el desempeño de un OOAP incide significativamente en el desempeño de sus contrapartes contiguas, al igual que éstos influyen sobre él. En términos de política, se muestran elementos para indicar que se requieren acciones de carácter regional, más que políticas de alcance federal.

En las estimaciones econométricas de la oferta uno de los hallazgos importantes es la significativa sensibilidad a las variables climáticas. Se muestra que la oferta aumenta cuando la temperatura y la aridez aumentan. Tal vez esto ayude a explicar la concentración de los niveles altos de oferta en la zona norte del país, ya que son regiones que precisamente enfrentan estas condiciones climáticas.

Por otra parte, se encuentra que la oferta de los OOAP tiende a aumentar ante incrementos en la cobertura del servicio y ante aumentos del índice de agua no contabilizada. Esto implica que la expansión del servicio es un factor importante de acuerdo a estas tendencias. Además, los organismos que enfrentan elevados niveles de agua no contabilizada muestran una tendencia a ofertar más, de modo que al combinar ambos efectos, la presión sobre la fuente de abastecimiento puede ser muy seria. La recomendación es clara, se deben buscar los mecanismos que permitan a los OOAP reducir sus niveles de agua no contabilizada, ya que eso puede contrarrestar la presión que se ejerce por la vía de la ampliación del servicio.

Otro hallazgo interesante es la nula significancia de la variable que representa el grado de presión que se ejerce sobre los acuíferos. Esto indica que tal vez los OOAP no toman en cuenta las condiciones de sostenibilidad de esta fuente de abastecimiento,

lo que puede ser un problema serio dadas las condiciones de manejo que se han mencionado. La recomendación al respecto es analizar la posibilidad de incentivar los organismos para tener en cuenta la sostenibilidad de sus fuentes de abastecimiento. Estos resultados de la oferta son consistentes con la literatura analizada. Se encuentra evidencia de autocorrelación espacial y un mejor ajuste del modelo de error espacial.

Demanda

Después del análisis de la oferta se realiza un análisis de la demanda. se desarrolla un marco metodológico en el que se plantea la estimación de dos funciones de demanda. Una función de demanda total que trata de identificar los determinantes de los niveles de demanda que enfrenta un OOAP. La segunda es una función de demanda por toma. Uno de los aportes principales de esta parte es la estimación de la función de demanda total, que permite identificar la sensibilidad de la demanda al crecimiento de la población, así como a otras variables como el ingreso y evidentemente al precio, lo que puede ser de utilidad para evaluar el impacto sobre el medio ambiente.

El volumen facturado es la variable que se considera como una proxy de la demanda de agua. Por un lado, tiene la virtud de que representa el consumo efectivo que realizan los usuarios durante un determinado periodo de tiempo. No obstante, tiene la limitante de que no representa la demanda total y potencial. Aunque en la literatura también se ha utilizado esta misma información.

Cabe señalar que en la mayoría de los trabajos previos los análisis se centra únicamente en el uso residencial, mientras que en este trabajo se analiza el total del uso público urbano, que incluye, además del residencial, el resto de usos que abastece la red de distribución. Para el modelo de demanda total se consideran cinco variables independientes. El precio promedio por metro cúbico, el ingreso monetario anual de la localidad, el número de tomas, la temperatura promedio anual y la aridez. En tanto que son las mismas que se consideran para el modelo de demanda por toma, excepto el número de tomas.

Otra de las aportaciones metodológicas de este trabajo es la estimación de una función de los determinantes del precio. Para ello, el precio se define como la razón del monto de la recaudación monetaria y el volumen facturado de cada organismo. Con

esto se tiene una aproximación al precio promedio que en realidad pagan los usuarios. Se consideran cuatro variables explicativas. El gasto promedio por metro cúbico en que incurren los organismos. El número de tomas que representa el tamaño del sistema que atienden. El índice de agua no contabilizada y el porcentaje de cobertura de micro-medición.

Uno de los hallazgos principales es la elasticidad precio de la demanda de -0.12, mientras que la del ingreso es de 0.30. Estos resultados son consistentes con los rangos encontrados en la literatura. Esto significa que la demanda es inelástica al precio, de modo que tratar de controlar la demanda únicamente por el precio resulta muy difícil. Por ejemplo, para contrarrestar el impacto que ocasiona el aumento de una unidad en el ingreso, requeriría aumentos significativamente elevados del precio, lo que puede resultar difícil de aplicar en la realidad.

Las variables climáticas también resultan significativas. Se encuentra que ante un aumento en la temperatura o en el nivel de aridez la demanda también aumenta. Esto significa que un organismo que opere en una localidad con altas temperaturas y un elevado nivel de aridez enfrentará un aumento importante de la demanda. Al combinarse con el efecto del ingreso y la escasa sensibilidad al precio, puede haber problemas muy serios, considerando que las localidades con estas características suelen contar con una reducida disponibilidad natural.

Si bien el precio muestra un limitado potencial para controlar la demanda, es interesante evaluar si ante la condición de inelasticidad, una política de aumentos en el precio puede contribuir a mejorar las condiciones financieras de los OOAP. Para ello los determinantes de la función del precio pueden arrojar luz al respecto.

Se encuentra una relación significativa con el gasto por metro cúbico, cuya interpretación no es clara. Por un lado se puede inferir que los organismos que gastan más son más ineficientes, traspasando los costos de sus ineficiencias a los usuarios a través del precio. Pero por otro lado, cabe la posibilidad de que los organismos que gastan y cobran más son los que ofrecen un mejor servicio. También se encuentra una relación con el índice de agua no contabilizada, que puede inferirse como el traspaso sistemático de las ineficiencias del organismo operador a los usuarios a través del precio. Por otra parte, la relación encontrada con el nivel de micro-medición implica que

por cada uno por ciento que ésta aumente, el precio tenderá a incrementarse. Esto puede interpretarse como el efecto de un mayor control sobre el consumo que se traduce en un aumento de precio para los usuarios, contrario a cuando no hay manera de medir el consumo. La relación con el tamaño del sistema significa que el precio tiende a aumentar cuando se incrementa el número de usuarios que atiende. Esto significa que los organismos más grandes tienden a estar cobrando más por el servicio.

De esta manera, el potencial del precio para mejorar las finanzas de los organismos también resulta muy débil. Además de las implicaciones que tienen al respecto los hallazgos mencionados, se encuentra también que los organismos que cobran más por el servicio, no necesariamente mantienen condiciones financieras sanas.

Por otra parte, el análisis de los escenarios de crecimiento de la población urbana confirma el bajo potencial del precio para contrarrestar los aumentos en la demanda, como consecuencia del aumento del número de usuarios. Se sugieren aumentos de más del cien por ciento para estabilizar la demanda en los niveles actuales, de modo que si además se quisiera disminuir dichos niveles, el aumento debería ser mucho mayor. Queda claro que las medidas que se deben tomar no son tan simples como aumentar el precio del agua. Se requieren acciones que involucren medidas ambientales, culturales e institucionales y dentro de ello promover el desempeño eficiente de los organismos operadores.

Oferta y demanda

La principal aportación general de este trabajo es analizar de manera conjunta los modelos de oferta y de demanda de agua urbana. Es posible mostrar que están estrechamente relacionadas, no se puede abordar la demanda sin tomar en cuenta la oferta. Una de las ventajas de realizar conjuntamente ambos análisis es que se pueden evaluar los impactos de las diferentes variables explicativas en ambos modelos.

Uno de los principales hallazgos conjuntos es la sensibilidad de los dos modelos a las condiciones climáticas. Para los dos la relación es directa, es decir, que los aumentos en la temperatura o en la aridez ocasionan aumentos en la oferta y la demanda. Esto muestra que hay una correspondencia clara entre ambas, ya que si

aumentan los niveles de demanda los niveles de oferta responden también con un aumento.

Otra relación entre la oferta y la demanda es que las dos incluyen también la variable ingreso. La relación con las dos variables es positiva, sin embargo, en el caso de la oferta sólo resulta significativa en el modelo de error espacial y con un coeficiente muy reducido. Lo relevante de esta relación es que nuevamente se observa cómo la oferta responde cuando los demandantes (usuarios) registran incrementos en sus niveles de ingreso.

La función del precio también comparte dos variables explicativas con la oferta. El índice de agua no contabilizada y el gasto por metro cúbico. Las implicaciones de esta relación son más complejas. Un aumento en el índice de agua no contabilizada ocasiona que aumente el precio y también la oferta. Mientras que un aumento en los gastos por metro cúbico provoca que la oferta se reduzca, pero hace que los organismos tiendan a cobrar un mayor precio. Aparentemente, se puede inferir que, de acuerdo con la teoría económica, un aumento del precio está asociado con una mayor demanda, mientras que si los gastos aumentan los niveles de oferta se reducen y el precio debe ser mayor. Esto último tal vez depende del nivel del impacto en cada uno de los modelos, pare ver cuál es el efecto que predomina.

Este análisis simultáneo de la oferta y la demanda, además del precio, es una aportación muy valiosa, ya que se pueden observar los efectos que ocasionaría el cambio en alguna de estas variables que comparten. En general, se muestra claramente que la oferta y la demanda responden simultáneamente ante los efectos exógenos y que brinda un mejor panorama sobre las implicaciones en términos de política.

Alcances y limitaciones

La principal virtud de este trabajo es que se logra verificar que la hipótesis planteada se cumple. Efectivamente, los datos generados por la CONAGUA permitieron mostrar que los análisis estadísticos desarrollados a partir de ellos tienen sentido económico y lógico. De este modo los resultados obtenidos se consideran adecuados para generar información que coadyuve al diseño de políticas de manejo del agua urbana.

Por otra parte, este trabajo ofrece un amplio horizonte de análisis. Se realiza un análisis espacial de la oferta la identificación algunos de sus determinantes. Esto permite darnos cuenta de los aspectos regionales que inciden en la gestión de la oferta por parte de los OOAP y que a partir de ello se requiere un mayor énfasis en el diseño de políticas de alcance regional. También se analizan los determinantes de la demanda, enfocando el análisis sobre el potencial del precio para el manejo de la demanda y el efecto de las características socioeconómicas sobre los niveles de la misma. Incluso, se amplía el análisis sobre el precio con la estimación de una función que trata de encontrar los factores que lo determinan. Todo esto junto en un mismo trabajo representa la presentación de información robusta acerca de la gestión del agua urbana en México. Sin embargo, esto representa solamente el inicio de una amplia gama de líneas de trabajo que se pueden desarrollar a partir de lo obtenido aquí.

La temporalidad de este trabajo se limita a los datos de 2010, por lo que valdría la pena investigar si estos hallazgos son consistentes a lo largo del tiempo. Es decir, un siguiente paso sería replicar este análisis para datos de diferentes años. De entrada se esperaría que no se presentaran variaciones significativas, pues se supone que difícilmente el comportamiento en el consumo de agua cambie significativamente de un año a otro. Pero es precisamente eso lo que justifica la necesidad de corroborarlo.

Por otra parte, sería interesante incorporar otras variables que ayuden a aproximar a la realidad los modelos planteados. Por ejemplo, el aspecto institucional que rodea a los OOAP es un aspecto que sin duda tiene influencia en su desempeño, de manera que sería pertinente incorporar una variable que represente tales efectos.

La participación del capital privado en los organismos operadores es otro aspecto que sería relevante incorporar al análisis que se ha desarrollado aquí. Así se ofrecería una mayor información acerca de las implicaciones que conlleva la participación de la iniciativa privada en el manejo del agua. Esto permitiría plantear recomendaciones al respecto de una manera más informada.

La cuestión de los efectos distributivos sería un análisis que puede reforzar las posturas que se asumen aquí acerca del precio como instrumento de manejo de la demanda. Se considera indispensable averiguar si la manera en que se gestiona actualmente el agua está teniendo efectos regresivos o progresivos. Con base en esto,

valdría la pena profundizar sobre la focalización de los subsidios destinados al agua urbana.

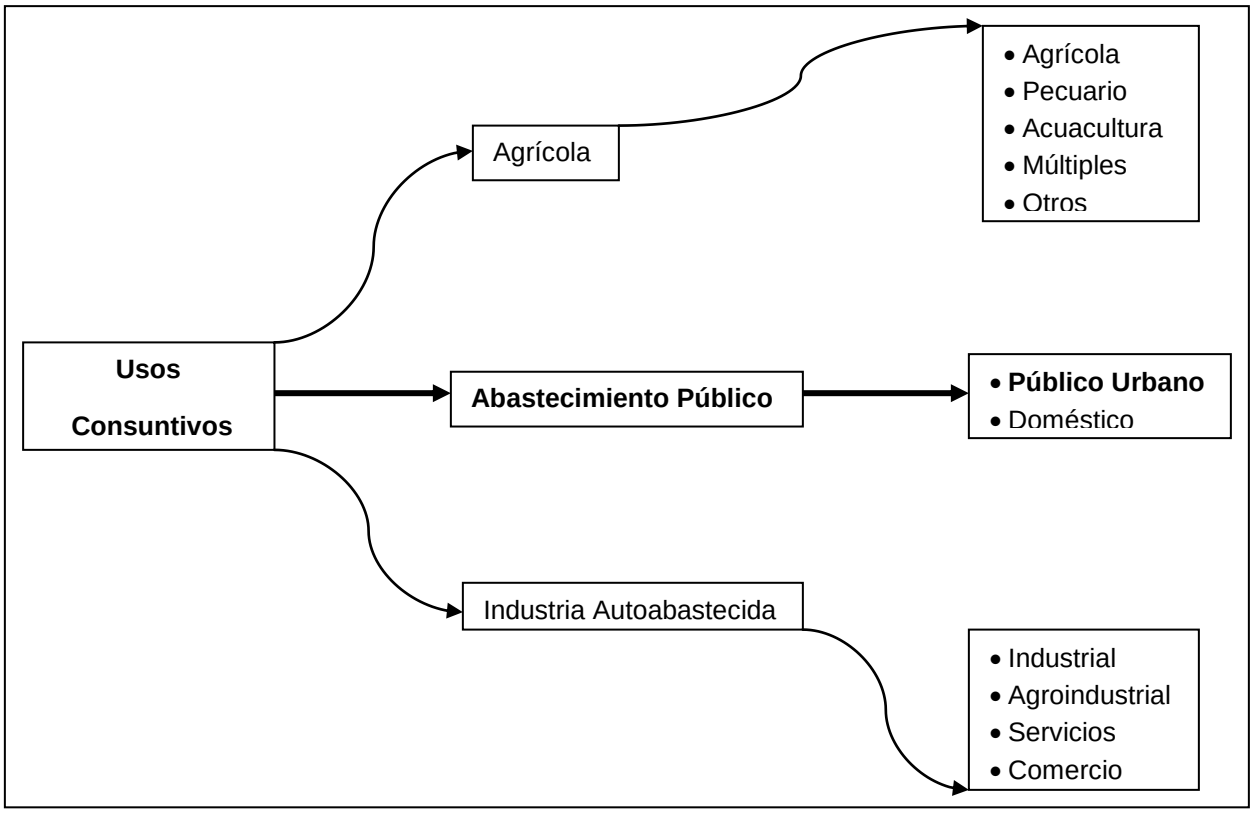
Otro aspecto fundamental es llevar el análisis a la cuestión de las tarifas. Es decir, ampliar el estudio hacia la manera en que se fijan las tarifas del agua urbana. Esto puede arrojar más luz acerca de los determinantes del precio que se cobra a los usuarios, así como sobre los criterios que se toman en cuenta para el establecimiento de las tarifas.

Por su parte, el análisis espacial nos muestra que los hallazgos aquí vertidos no describen toda la realidad. Se deben realizar análisis regionales. Estudios de caso que permitan identificar los aspectos más relevantes que son particulares a cada región u organismo. Como consecuencia, mediante estos estudios de caso se podrán hacer recomendaciones más precisas sobre las políticas a seguir en la gestión del agua.

Finalmente, en el plano metodológico, se pretende que el siguiente paso sea un análisis espacial basado en la especificación de una matriz de contigüidad más robusta. No es que se considere que la utilizada aquí tenga limitaciones serias, al contrario, es con el fin de verificar si con una matriz sometida a mayores pruebas de robustez se afecta de manera significativa los hallazgos que se obtuvieron mediante la metodología que se siguió en este trabajo. Además, sería pertinente explorar otras maneras alternativas de incorporar las variables explicativas en cada uno de los modelos. Por ejemplo, en lugar de usar la temperatura promedio anual de las localidades, ver si incorporando el número de días con temperaturas altas se refleja un mejor ajuste de los modelos.

ANEXOS

Anexo 1. Clasificación de los usos del agua en el Registro Público de Derechos de Agua.



Fuente: Elaboración propia.

Anexo 2. Subregiones de planeación por Región Hidrológica Administrativa. (Primera parte).

Área [Km2]	Perímetro [Km]	Número de registro	Subregiones de Planeación	Clave
9773.932	545.016	1	VALLE DE MÉXICO	XIII.2
6503.045	476.284	2	TULA	XIII.1
14425.759	1148.854	3	CANDELARIA	XII.3
39477.057	1132.313	4	PENINSULAR PONIENTE	XII.2
83908.265	2192.148	5	PENINSULAR ORIENTE	XII.1
12160.407	1034.054	6	COSTA DE CHIAPAS	XI.8
10662.679	717.274	7	ALTO GRIJALVA	XI.7
19063.129	855.647	8	LACANTÚN-CHIXOY	XI.6
20378.272	905.532	9	MEDIO GRIJALVA	XI.5
8656.935	809.598	10	BAJO GRIJALVA-SIERRA	XI.4
14042.462	762.896	11	USUMACINTA	XI.3
11747.094	712.182	12	BAJO GRIJALVA-PLANICIE	XI.2
7125.383	619.681	13	TONALÁ-COATZACOALCOS	XI.1
23841.532	994.22	14	COATZACOALCOS	X.6
12038.382	987.831	15	LA CAÑADA	X.5
16471.811	1033.404	16	MEDIO PAPALOAPAN	X.4
18767.295	1294.721	17	BAJO PAPALOAPAN	X.3
10763.634	577.632	18	VERACRUZ CENTRO	X.2
23140.351	924.183	19	VERACRUZ NORTE	X.1
58416.688	1919.956	20	AMECA-ARMERIA	VIII.6
39077.023	1180.621	21	BAJO SANTIAGO	VIII.5
33524.463	1228.711	22	ALTO SANTIAGO	VIII.4
11340.933	976.68	23	BAJO LERMA	VIII.3
33239.939	1107.27	24	MEDIO LERMA	VIII.2
14072.588	917.625	25	ALTO LERMA	VIII.1
84045.106	1876.192	26	EL SALADO	VII.6
15531.113	751.261	27	AGUANAVAL	VII.5
53175.175	1263.415	28	COMARCA LAGUNERA	VII.4
8992.996	599.025	29	SIERRA MOJADA	VII.3
4702.582	316.215	30	VILLA HIDALGO	VII.2

Anexo 2. Subregiones de planeación por Región Hidrológica Administrativa. (Última parte).

Área [Km2]	Perímetro [Km]	Número de registro	Subregiones de Planeación	Clave
36403.212	1335.072	31	NAZAS	VII.1
10365.09	661.637	32	BAJO BRAVO	VI.6
51114.57	1584.938	33	SAN JUAN	VI.5
83404.674	1630.118	34	MEDIO BRAVO	VI.4
39214.115	1421.418	35	ALTO BRAVO	VI.3
122743.501	2623.452	36	CONCHOS	VI.2
70474.044	1636.291	37	CUENCAS CERRADAS DEL NORTE	VI.1
11944.448	985.06	38	TEHUANTEPEC	V.6
6549.551	988.682	39	COMPLEJO LAGUNAR	V.5
8637.709	842.046	40	COSTA DE OAXACA	V.4
19062.207	1265.461	41	RÍO VERDE-ATOYAC	V.3
20669.228	1227.57	42	COSTA CHICA	V.2
9636.366	625.67	43	COSTA GRANDE	V.1
83693.889	2513.877	44	PÁNUCO	IX.3
28402.508	1221.917	45	SOTO LA MARINA	IX.2
12226.754	596.949	46	SAN FERNANDO	IX.1
51323.431	1865.268	47	ALTO BALSAS	IV.3
29663.243	1184.134	48	MEDIO BALSAS	IV.2
38372.646	1291.54	49	TEPALCATEPEC	IV.1
7982.955	631.558	50	TUXPAN	III.5
33567.41	1119.595	51	VALLE DE GUADIANA	III.4
29063.104	1024.693	52	SINALOA SUR	III.3
28162.669	1079.126	53	SINALOA CENTRO	III.2
49005.749	1541.995	54	SINALOA NORTE	III.1
25393.998	884.763	55	RIO MAYO	II.5
82533.917	1910.325	56	RIO YAQUI	II.4
37555.366	1220.487	57	RIO SONORA	II.3
42983.968	943.094	58	RIO CONCEPCION	II.2
19193.367	725.581	59	BAJA CALIFORNIA	II.1
73109.836	2855.156	60	BAJA CALIFORNIA SUR	I.2
73810.621	2276.376	61	BAJA CALIFORNIA	I.1

Fuente: CONAGUA. Disponible en:

http://siga.cna.gob.mx/vector/Subregiones%20de%20planeacion/DataBaseSubRegPlan_x_region.htm

Anexo 3. Resultados por MCO de los determinantes de la dotación media de agua urbana.

```
Regression_232obs1
SUMMARY OF OUTPUT: ORDINARY LEAST SQUARES ESTIMATION
Data set            :  Localidades_prueba_6
Dependent variable  :     DOT_LHD  Number of Observations:  232
Mean dependent var  :     362.445  Number of Variables   :    5
S.D. dependent var  :      130.81  Degrees of Freedom    :  227



R-squared           :    0.306858  F-statistic           :     25.1236
Adjusted R-squared  :    0.294644  Prob(F-statistic)     : 3.0729e-017
Sum squared residual:2.75163e+006  Log likelihood        :    -1417.39
Sigma-square        :     12121.7  Akaike info criterion :     2844.77
S.E. of regression  :     110.099  Schwarz criterion     :     2862.01
Sigma-square ML     :     11860.5
S.E of regression ML:     108.906



------------------------------------------------------------------------------
     Variable    Coefficient     Std.Error    t-Statistic   Probability
------------------------------------------------------------------------------
    CONSTANT     -485.2655       105.6485      -4.593208    0.0000072
    TEMP_MED      5.621865       1.900104       2.958714    0.0034164
         ANC      3.615862      0.4767944       7.583692    0.0000000
   POBATEN_P      5.476225       0.990141       5.530753    0.0000001
      ARIDEZ    0.03684666     0.01076593       3.422526    0.0007358
------------------------------------------------------------------------------



REGRESSION DIAGNOSTICS
MULTICOLLINEARITY CONDITION NUMBER   40.874051
TEST ON NORMALITY OF ERRORS
TEST                     DF          VALUE            PROB
Jarque-Bera               2          0.9223901        0.6305297



DIAGNOSTICS FOR HETEROSKEDASTICITY
RANDOM COEFFICIENTS
TEST                     DF          VALUE            PROB
Breusch-Pagan test        4            4.00439        0.4054121
Koenker-Bassett test      4            4.49577        0.3430493
SPECIFICATION ROBUST TEST
TEST                     DF          VALUE            PROB
White                    14           15.92963        0.3176907
```

Anexo 4. Diagnóstico de dependencia espacial.

```
DIAGNOSTICS FOR SPATIAL DEPENDENCE
FOR WEIGHT MATRIX : W_general_232obs - copia.gwt
   (row-standardized weights)
TEST                            MI/DF       VALUE           PROB
Moran's I (error)            0.255043     4.9425553       0.0000008
Lagrange Multiplier (lag)           1    10.9722244       0.0009249
Robust LM (lag)                     1     2.2685130       0.1320265
Lagrange Multiplier (error)         1    21.4979246       0.0000035
Robust LM (error)                   1    12.7942132       0.0003477
Lagrange Multiplier (SARMA)         2    23.7664376       0.0000069
```

Anexo 5. Resultados del modelo de error espacial.

```
Regression_232obs1
SUMMARY OF OUTPUT: SPATIAL ERROR MODEL - MAXIMUM LIKELIHOOD ESTIMATION
Data set            : Localidades_prueba_6
Spatial Weight      : W_general_232obs - copia.gwt
Dependent Variable  :     DOT_LHD   Number of Observations:  232
Mean dependent var  :  362.445416  Number of Variables   :    5
S.D. dependent var  :  130.809672  Degrees of Freedom    :  227
Lag coeff. (Lambda) :    0.312405



R-squared           :    0.384053  R-squared (BUSE)      : -
Sq. Correlation     : -           Log likelihood        :-1407.509393
Sigma-square        :     10539.6  Akaike info criterion :     2825.02
S.E of regression   :     102.662  Schwarz criterion     :     2842.25


------------------------------------------------------------------------
    Variable    Coefficient     Std.Error    z-value      Probability
------------------------------------------------------------------------
    CONSTANT     -528.1949       107.7405     -4.902473    0.0000009
    TEMP_MED      5.738763       2.153844      2.664429    0.0077120
         ANC      4.050703      0.4578519       8.84719    0.0000000
   POBATEN_P      5.689842      0.9859626      5.770849    0.0000000
      ARIDEZ    0.03614338     0.01214525      2.975928    0.0029212
      LAMBDA     0.3124054       0.065902      4.740454    0.0000021
------------------------------------------------------------------------


REGRESSION DIAGNOSTICS
DIAGNOSTICS FOR HETEROSKEDASTICITY
RANDOM COEFFICIENTS
TEST                                    DF      VALUE          PROB
Breusch-Pagan test                      4        3.300742      0.5088147


DIAGNOSTICS FOR SPATIAL DEPENDENCE
SPATIAL ERROR DEPENDENCE FOR WEIGHT MATRIX : W_general_232obs - copia.gwt
TEST                                    DF      VALUE          PROB
Likelihood Ratio Test                   1        19.75289      0.0000088
```

Anexo 6. Resultados por MCO para los determinantes de la dotación media de agua.

```
Regression_lhd_159obs_1
SUMMARY OF OUTPUT: ORDINARY LEAST SQUARES ESTIMATION
Data set            :  Localidades_159_prueba2
Dependent Variable  :     DOT_LHD  Number of Observations:  159
Mean dependent var  :     363.389  Number of Variables   :    9
S.D. dependent var  :     133.408  Degrees of Freedom    :  150



R-squared           :    0.383012  F-statistic           :     11.6396
Adjusted R-squared  :    0.350106  Prob(F-statistic)     :8.50174e-013
Sum squared residual:1.74596e+006  Log likelihood        :    -965.272
Sigma-square        :     11639.7  Akaike info criterion :     1948.54
S.E. of regression  :     107.888  Schwarz criterion     :     1976.16
Sigma-square ML     :     10980.9
S.E of regression ML:      104.79



------------------------------------------------------------------------
     Variable    Coefficient     Std.Error    t-Statistic   Probability
------------------------------------------------------------------------
     CONSTANT     -501.6277      154.1121      -3.254954     0.0014018
    POBATEN_P       5.51201      1.464686       3.76327     0.0002401
          ANC      2.866716     0.5928937      4.835127     0.0000033
      GAS_PM3     -11.58802      3.763091      -3.079389     0.0024675
     TEMP_MED      6.749302      3.005349       2.245763     0.0261804
       ARIDEZ    0.03734976    0.01523915       2.450908     0.0153989
      PRESION     -22.26509      28.33457      -0.7857924     0.4332276
      CONEVAL    0.01695025    0.01116997       1.517484     0.1312492
    PIB_INDPC      2.121306      1.038295       2.043068     0.0427961
------------------------------------------------------------------------


REGRESSION DIAGNOSTICS
MULTICOLLINEARITY CONDITION NUMBER   65.124185
TEST ON NORMALITY OF ERRORS
TEST                     DF          VALUE            PROB
Jarque-Bera               2          2.095916         0.3506530


DIAGNOSTICS FOR HETEROSKEDASTICITY
RANDOM COEFFICIENTS
TEST                     DF          VALUE            PROB
Breusch-Pagan test        8          4.966507         0.7611498
Koenker-Bassett test      8          5.223025         0.7334947
SPECIFICATION ROBUST TEST
TEST                     DF          VALUE            PROB
White                    44          55.34082         0.1174020
```

Anexo 7. Diagnóstico de asociación espacial.

```
DIAGNOSTICS FOR SPATIAL DEPENDENCE
FOR WEIGHT MATRIX : W_general_159obs - copia.gwt
   (row-standardized weights)
TEST                             MI/DF       VALUE           PROB
Moran's I (error)              0.342653     5.1169310      0.0000003
Lagrange Multiplier (lag)             1    16.7006206      0.0000438
Robust LM (lag)                       1     0.0723131      0.7879982
Lagrange Multiplier (error)           1    21.0427543      0.0000045
Robust LM (error)                     1     4.4144469      0.0356358
Lagrange Multiplier (SARMA)           2    21.1150675      0.0000260
```

Anexo 8. Resultados del modelo de error espacial.

```
Regression_lhd_159obs_1
SUMMARY OF OUTPUT: SPATIAL ERROR MODEL - MAXIMUM LIKELIHOOD ESTIMATION
Data set            : Localidades_159_prueba2
Spatial Weight      : W_general_159obs - copia.gwt
Dependent Variable  :     DOT_LHD   Number of Observations:  159
Mean dependent var  :  363.388631   Number of Variables   :    9
S.D. dependent var  :  133.407550   Degrees of Freedom    :  150
Lag coeff. (Lambda) :    0.359942



R-squared           :    0.491062   R-squared (BUSE)      : -
Sq. Correlation     : -            Log likelihood        : -954.542807
Sigma-square        :     9057.87   Akaike info criterion :     1927.09
S.E of regression   :     95.1728   Schwarz criterion     :     1954.71


------------------------------------------------------------------------
    Variable     Coefficient       Std.Error     z-value      Probability
------------------------------------------------------------------------
    CONSTANT     -551.3358        148.6955      -3.707818     0.0002091
   POBATEN_P      6.528278        1.301457       5.016129     0.0000005
         ANC      2.858509       0.5620231       5.086106     0.0000004
      GAS_PM3     -12.5309        3.401513      -3.683919     0.0002297
    TEMP_MED      5.515088        3.140252       1.756257     0.0790445
      ARIDEZ    0.02336947      0.01612966       1.448851     0.1473793
     PRESION     -12.85489        30.50488     -0.4214044     0.6734599
     CONEVAL    0.02260808      0.01070609        2.111702     0.0347119
   PIB_INDPC     0.7980341        1.127502       0.7077896     0.4790758
      LAMBDA      0.359942      0.06879666        5.231969     0.0000002
------------------------------------------------------------------------


REGRESSION DIAGNOSTICS
DIAGNOSTICS FOR HETEROSKEDASTICITY
RANDOM COEFFICIENTS
TEST                                    DF      VALUE          PROB
Breusch-Pagan test                      8        4.400663      0.8192873



DIAGNOSTICS FOR SPATIAL DEPENDENCE
SPATIAL ERROR DEPENDENCE FOR WEIGHT MATRIX : W_general_159obs - copia.gwt
TEST                                    DF      VALUE          PROB
Likelihood Ratio Test                   1        21.45875      0.0000036
```

REFERENCIAS

Abildtrup, Jens, Garcia, Serge y Stenger, Anne 2011. The effect of forest land use on the cost of drinking water supply: A spatial econometric analysis. *Ecological Economics,* 92**,** 126-136.

Acevedo Bohórquez, I. y Velásquez Ceballos, E. 2008. Algunos conceptos de la econometría espacial y el análisis exploratorio de datos espaciales. *Ecos de Economía ISSN 1657-4206,* 12**,** 9-2.

Aguilar Benítez, Ismael 2011. *Los servicios del agua en el norte de México: gestión, manejo financiero y aspectos ambientales,* Tijuana, Baja California, México. Hermosillo, Sonora, México, Tijuana: El Colegio de la Frontera Norte; Hermosillo: El Colegio de Sonora.

Aguilera Klink, F. 2006. Hacia una nueva economía del agua: cuestiones fundamentales. *Polis: revista académica de la Universidad Bolivariana***,** 1.

Anselin, Luc 1980. Estimation methods for spatial autoregressive structures. *Regional Science Dissertation & Monograph Series, Program in Urban and Regional Studies, Cornell University*.

Anselin, Luc 1988. *Spatial econometrics: methods and models*, Springer.

Anselin, Luc 1995. Local indicators of spatial association—LISA. *Geographical analysis,* 27**,** 93-115.

Anselin, Luc 2004. Exploring spatial data with GeoDaTM: a workbook. *Urbana,* 51**,** 61801.

Anselin, Luc 2007. Spatial econometrics in RSUE: Retrospect and prospect. *Regional Science and Urban Economics,* 37**,** 450-456.

Arbués, F., Garcia-Valinas, M.A. y Martínez-Espiñeira, R. 2003. Estimation of residential water demand: a state-of-the-art review. *Journal of Socio-economics,* 32**,** 81-102.

Balling Jr, Robert C y Gober, Patricia 2007. Climate variability and residential water use in the city of Phoenix, Arizona. *Journal of applied meteorology and climatology,* 46**,** 1130-1137.

Balling, Robert C, Gober, Patricia y Jones, Nancy 2008. Sensitivity of residential water consumption to variations in climate: An intraurban analysis of Phoenix, Arizona. *Water Resources Research,* 44.

Barkin, David 2006. *La gestión del agua urbana en México -retos, debates y bienestar-*, Uiversidad de Guadalajara.

BM, Banco Mundial. 2010. *Sistemas de ciudades: la urbanización, motor del crecimiento y el alivio de la pobreza* [Online]. Washington, D. C. Available: http://siteresources.worldbank.org/INTURBANDEVELOPMENT/Resources/336387-1269651121606/UrbanStrategy_web_Spanish.pdf [Accessed 12/08/2013, 11:55 p. m. 2013].

Bunge, Verónica 2010a. La disponibilidad natural de agua en las cuencas de México. *In:* (coord.), Helena Cotler (ed.) *Las cuencas hidrográficas de México: diagnóstico y priorización.* México, D. F.: Semarnat-Instituto Nacional de Ecología-Fundación Gonzalo Río Arronte.

Bunge, Verónica 2010b. La presión hídrica en las cuencas de México. *In:* (coord.), Helena Cotler (ed.) *Las cuencas hidrográficas de México: diagnóstico y priorización.* México, D. F.: Semarnat-Instituto Nacional de Ecología-Fundación Gonzalo Río Arronte.

Carvalho, Pedro, Marques, Rui Cunha y Berg, Sanford 2012. A meta-regression analysis of benchmarking studies on water utilities market structure. *Utilities Policy,* 21**,** 40-49.

Cliff, Andrew David y Ord, J Keith 1981. *Spatial processes: models and applications*, Pion London.

CONAGUA, Comisión Nacional del Agua 2009. Tabla maestra de acuíferos, cierre al 31 de diciembre de 2009.

CONAGUA, Comisión Nacional del Agua 2011a. *Estadísticas del Agua en México, edición 2011,* Coyoacán, México, D. F., Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

CONAGUA, Comisión Nacional del Agua 2011b. Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento, Edición 2010. Coyoacán, México D. F.: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

CONAPO, Consejo Nacional de Población 2006. *Proyecciones de la población de México 2005-2050,* México.

CONAPO, Consejo Nacional de Población 2012a. *Catálogo. Sistema Urbano Nacional 2012,* México, D. F., Secretaría de Desarrollo Social; Consejo Nacional de Población.

CONAPO, Consejo Nacional de Población 2012b. *Delimitación de las zonas metropolitanas de México 2010,* México, D. F., Secretaría de Desarrollo Social; Consejo Nacional de Población; Instituto Nacional de Estadística y Geografía.

CONEVAL, Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Soacial 2013. *Ingreso corriente total per cápita mensual por municipio* [Online]. Available: http://www.coneval.gob.mx/Medicion/Paginas/Medici%C3%B3n/Medicion-de-la-pobreza-municipal-2010.aspx [Accessed].

Consejo Consultivo del Agua 2010. *La gestión del agua en las ciudades de México. Indicadores de desempeño de organismos operadores*, Consejo Consultivo del Agua, A. C.

Chang, Heejun, Parandvash, G Hossein y Shandas, Vivek 2010. Spatial variations of single-family residential water consumption in Portland, Oregon. *Urban geography,* 31**,** 953-972.

Chasco Yrigoyen, Coro. 2002. *Econometría espacial aplicada a la predicción-extrapolación de datos microterritoriales.* Universidad Autónoma de Madrid.

Cheruseril, J 2007. Determining an urban water consumption model based on socio-demographic factors.

Dalhuisen, J. M., Florax, R. J. G. M., de Groot, H. L. F. y Nijkamp, P. 2003. Price and income elasticities of residential water demand: a meta-analysis. *Land Economics,* 79**,** 292-308.

Dalhuisen, J.M., Florax, R.J.G.M., de Groot, H.L.F.M. y Nijkamp, P. 2001. Price and income elasticities of residential water demand: Why empirical estimates differ. *Tinbergen Institute Discussion Papers*.

DOF, Diario Oficial de la Federación 2011. Ley de Aguas Nacionales. *In:* Cámara de Diputados LXI Legislatura (ed.). Ciudad de México: Congreso de los Estados Unidos Mexicanos.

Espey, M., Espey, J. y Shaw, W.D. 1997. Price elasticity of residential demand for water: A meta-analysis. *Water Resources Research,* 33**,** 1369-1374.

Fondo para la Comunicación y la Educación Ambiental A. C. Guía para Organismos Operadores de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento.

Franczyk, Jon y Chang, Heejun 2009. Spatial Analysis of Water Use in Oregon, USA, 1985–2005. *Water resources management,* 23**,** 755-774.

Fullerton Jr, T.M. y Nava, A.C. 2003. Short-term water dynamics in Chihuahua City, Mexico. *Water Resources Research,* 39**,** 1258.

Fullerton, Thomas, Tinajero, Roberto y Barraza de Anda, Martha 2006. Short-Term Water Consumption Patterns in Ciudad Juárez, Mexico. *Atlantic Economic Journal,* 34**,** 467-479.

Fullerton, Thomas, Tinajero, Roberto y Mendoza Cota, Jorge 2007. An Empirical Analysis of Tijuana Water Consumption. *Atlantic Economic Journal,* 35**,** 357-369.

García-Salazar, J.A. y Mora-Flores, J.S. 2008. Tarifas y consumo de agua en el sector residencial de la Comarca Lagunera. *Región y sociedad,* 20**,** 119-132.

Garrocho Rangel, Carlos 2013. *DINÁMICA DE LAS CIUDADES EN EL SIGLO XXI: CINCO VECTORES CLAVE PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE,* Zinacantepec, Estado de México, El Colegio Mexiquense, A. C.; Consejo Nacional de Población; Fondo de Población de las Naciones Unidas.

Gleick, Peter H 1998. The human right to water. *Water Policy,* 1**,** 487-503.

Góngora Gómez, Jorge Luis. 2007. *Dimensión espacial de las remesas de migrantes internacionales en México.* Maestría, Universidad Autónoma del Estado de Morelos y Universidad Nacional Autónoma de México.

Guzmán-Soria, E., Hernández-Martínez, J., García-Salazar, J.A., Rebollar-Rebollar, S., de la Garza-Carranza, M.T. y Hernández-Soto, D. 2009. Consumo de agua subterránea en Guanajuato, México. *Agrociencia,* 43**,** 749-761.

House-Peters, Lily A y Chang, Heejun 2011. Urban water demand modeling: Review of concepts, methods, and organizing principles. *Water Resources Research,* 47.

House-Peters, Lily, Pratt, Bethany y Chang, Heejun 2010. Effects of Urban Spatial Structure, Sociodemographics, and Climate on Residential Water Consumption in

Hillsboro, Oregon1. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association,* 46**,** 461-472.

Howard, Guy y Bartram, Jamie 2003. *Domestic water quantity, service level, and health*, World Health Organization Geneva.

Hu, The-wei 1972. The fitting of log-regression equation when some observations in the regressand are zero or negative. *Metroeconomica,* 24**,** 86-90.

INEGI, Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática 1953. *Séptimo Censo General de Población 1950. Resumen general,* México, D. F, Dirección General de Estadística.

INEGI, Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática 2011. *Principales Resultados del Censo de Población y Vivienda 2010*.

INEGI, Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. 2012. *Banco de Información Económica, Cuentas Nacionales* [Online]. Available: http://dgcnesyp.inegi.gob.mx/cgi-win/bdieintsi.exe/NIVR150070#ARBOL [Accessed 12 de marzo 2012].

Jaramillo M, Luis A 2003. Modelando la demanda de agua de uso residencial en México. *Documento de Trabajo, INE-DGIPEA/01/03*.

Lee, Seung-Jae, Wentz, Elizabeth A y Gober, Patricia 2010. Space–time forecasting using soft geostatistics: a case study in forecasting municipal water demand for Phoenix, Arizona. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment,* 24**,** 283-295.

Moran, Patrick AP 1948. The interpretation of statistical maps. *Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological),* 10**,** 243-251.

Moreno Serrano, Rosina y Vayá Valcarce, Esther 2000. *Técnicas econométricas para el tratamiento de datos espaciales: La econometría espacial,* Barcelona, España, Edicions Universitat de Barcelona.

Nauges, C. y Whittington, D. 2010. Estimation of water demand in developing countries: An overview. *The World Bank Research Observer,* 25**,** 263-294.

Ojeda-Bustamante, Waldo, González-Camacho, Juan Manuel, Sifuentes-Ibarra, Ernesto, Isidro, Esteban y Rendón-Pimentel, Luis 2007. Using spatial information

systems to improve water management in Mexico. *Agricultural Water Management,* 89**,** 81-88.

OMS, Organización Mundial de la Salud 2003. *The right to water,* Geneva, World Health Organization (WHO).

Richardson, Harry W. 1986. *Economía regional y Urbana*, Alianza Universidad Textos.

Ruiz Bedolla, Karina 2010. Población por cuenca y zona funcional. *In:* (coord.), Helena Cotler (ed.) *Las cuencas hidrográficas de México: diagnóstico y priorización,*

. México, D. F.: Semarnat-Instituto Nacional de Ecología-Fundación Gonzalo Río Arronte.

Salazar Adams, A. y Pineda Pablos, N. 2010a. Escenarios de demanda y políticas para la administración del agua potable en México: el caso de Hermosillo, Sonora. *Región y sociedad,* 22**,** 105-122.

Salazar Adams, A. y Pineda Pablos, N. 2010b. Factores que afectan la demanda de agua para uso doméstico en México. *Región y sociedad,* 22**,** 3-16.

Satterthwaite, David 2007. *The transition to a predominantly urban world and its underpinnings*, lied.

Scott, Christopher A, Dall'erba, Sandy y Caravantes, Rolando Díaz 2010. Groundwater rights in Mexican agriculture: spatial distribution and demographic determinants. *The Professional Geographer,* 62**,** 1-15.

Sisto, N.P. 2010. Manejo sustentable del uso de agua y crecimiento urbano. *Ensayos Revista de Economia,* 29**,** 23-38.

SMN, Servicio Meteorológico Nacional 2013. Normales Climatológicas. Periodo 1951-2010. Comisión Nacional del Agua.

Sohn, Jungyul 2011. Watering cities: spatial analysis of urban water use in the Southeastern United States. *Journal of Environmental Planning and Management,* 54**,** 1351-1371.

Stakhovych, Stanislav y Bijmolt, Tammo HA 2009. Specification of spatial models: A simulation study on weights matrices. *Papers in Regional Science,* 88**,** 389-408.

Tong, Susanna TY y Chen, Wenli 2002. Modeling the relationship between land use and surface water quality. *Journal of Environmental Management,* 66**,** 377-393.

Wentz, Elizabeth A y Gober, Patricia 2007. Determinants of small-area water consumption for the city of Phoenix, Arizona. *Water resources management,* 21**,** 1849-1863.

WHO, World Health Organization 2003. *The right to water,* Geneva, World Health Organization (WHO).

Yu, Yihua, Zhang, Li, Li, Fanghua y Zheng, Xinye 2011. On the determinants of public infrastructure spending in Chinese cities: A spatial econometric perspective. *The Social Science Journal,* 48**,** 458-467.