

Derechos reservados de El Colegio de Sonora, ISSN 1870-3925

## Factores asociados al desempeño en organismos operadores de agua potable en México

Alejandro Salazar Adams\*  
América N. Lutz Ley\*\*

Resumen: en este estudio se investigan los factores asociados con el desempeño de los organismos operadores de agua en México, mediante el análisis de la estructura de correlación de los principales indicadores para una muestra de 106 de ellos. Se clasificaron a partir de un análisis de cluster sobre componentes más importantes, para identificar patrones de eficiencia relacionados con variables contextuales. Los resultados indican que el volumen de agua no contabilizada es mayor en organismos con más empleados, por cada mil tomas. Esto también se correlaciona con bajos costos de producción y tasas elevadas de precipitación. Las ciudades más grandes y desarrolladas tienen mejor acceso a los servicios de agua potable y alcantarillado; aunque la cobertura tiende a ser menor en las que crecen con mayor rapidez. El porcentaje de recaudación y el ingreso promedio por metro cúbico son mayores en localidades con micromedición alta, donde también la relación ingreso-costo es mejor.

**Palabras clave:** administración del agua, organismos operadores (oo) de agua, indicadores de desempeño, análisis multivariado, componentes principales, eficiencia.

\* Profesor-investigador del Programa de Estudios Políticos y de Gestión Pública de El Colegio de Sonora. Correo electrónico: [asalazar@colson.edu.mx](mailto:asalazar@colson.edu.mx)

\*\* Estudiante del doctorado en Arid lands resource sciences, asistente de investigación en Udall Center for Studies in Public Policy. The University of Arizona. Correo electrónico: [alutz@gmail.com](mailto:alutz@gmail.com)

**Abstract:** factors associated with performance in Mexican water utilities are investigated by analyzing the correlation structure of the most important indicators for a sample of 106 water utilities. A classification of these utilities using clustering on principal components identifies patterns of efficiency related to contextual variables. Results indicate that non-revenue water is higher in utilities with a high number of staff per thousand connections. Non-revenue water is also correlated to low production costs and high precipitation rates. Larger and more developed cities have better access to water and sewage services; however, high population growth rates seem to be associated with lower coverage ratios. Collection ratio and average revenue per cubic meter are greater in localities with higher metering level, and these utilities also have a larger operating revenue-cost ratio.

**Key words:** water management, water utilities, performance indicators, multivariate analysis, principal components, efficiency.

## Introducción

El agua para uso urbano en México es un asunto crucial en la agenda pública debido a la demanda creciente de servicios de agua potable y saneamiento, lo que se relaciona con el incremento demográfico y la rápida urbanización del país durante las últimas décadas. En 1930 la población urbana representaba 33 por ciento del total; en 2010 aumentó a 78. En la actualidad, alrededor de 87 millones de mexicanos habitan en localidades urbanas (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, INEGI 2010), y se proyecta que la cifra ascienda a más de 121 millones en 2050 (Consejo Nacional de Población, CONAPO 2006), que estarán viviendo en metrópolis aún más concentradas y complejas. De esta manera, los 60 de agua potable en México enfrentarán el reto mayúsculo de proporcionar agua a cada

vez más personas, en especial en las zonas áridas del norte del país (Pineda y Salazar 2010). Además, existe un factor de incertidumbre con respecto a la disponibilidad de agua en el futuro, debido a los posibles efectos del cambio climático sobre la reducción de precipitación en el país. Según lo pronosticado por los modelos con los que se cuenta hasta ahora, implicaría una disminución del agua disponible, y una elevación en la temperatura a lo largo del siglo xxi (Montero y Pérez 2008), lo que podría incrementar su demanda.

El servicio de agua potable para uso urbano en México es proporcionado, en su gran mayoría, por ooo administrados por los gobiernos locales, puesto que el artículo 115 constitucional establece que la prestación del servicio es responsabilidad de los municipios, y que éstos pueden definir mecanismos de cooperación con los gobiernos de los estados. Existen algunos otros gestionados por empresas privadas (Saltillo, Cancún y Aguascalientes), establecidos a partir de que la Ley de Aguas Nacionales de 1992 que definió con precisión las formas y procedimientos para que entraran las empresas del sector privado (Contreras 2008), además del apoyo del Fondo para el Financiamiento de Infraestructura y del Programa para la Modernización de Organismos Operadores de Agua, creados para fomentar su participación durante las administraciones de Ernesto Zedillo y Vicente Fox respectivamente (Sandoval 2005).

De acuerdo con Tortajada (2000), México ha alcanzado ciertas metas importantes en cuanto al abasto y cobertura de agua potable y alcantarillado, incluso son más altas que en otros países latinoamericanos (International Benchmarking Network for Water and Sanitation Services, IBnet 2013). Sin embargo, aún existen profundas diferencias entre los organismos municipales. Mientras que algunos municipios son capaces de proveer el servicio de agua potable a casi todos sus habitantes, otros se encuentran muy lejos de lograrlo, pues aún requieren conectar a grandes segmentos de la población a su red de distribución. Además de las deficiencias en cobertura, los organismos enfrentan otros problemas que dificultan la provisión adecuada de agua potable a los municipios. Conforme las localidades crecen, el agua se vuelve relativamente más escasa y costosa, pues debe ser trasportada desde lugares más lejanos o extraída del subsuelo, mediante sistemas de bombeo eléctrico.

Por otra parte, a pesar del crecimiento poblacional y la escasez de recursos hídricos, casi la mitad del agua producida se pierde en la distribución, debido a las deficiencias de su infraestructura, o bien no es contabilizada ni se factura de manera adecuada (Salazar y Lutz 2012). Las pérdidas de agua potable implican la insolvencia financiera de los oo, riesgos a la salud por la contaminación, a través de las fugas, y el deterioro ambiental asociado con la sobreexplotación de los recursos hídricos. Un asunto que empeora esta situación es la baja proporción de recaudación de pagos por el servicio, la cual desincentiva su conservación y perjudica la sustentabilidad financiera de los oo.

Aunque este panorama resulta desalentador, también existen ejemplos de buena gestión documentados en estudios de caso y evaluaciones globales del desempeño (Lutz y Salazar 2011; Caldera 2006; Pineda y Briseño 2012; Guerrero 2008). Estos trabajos muestran que mientras muchos organismos tienen grandes pérdidas de agua, deficiencias notables en la recaudación y son financieramente insostenibles hay algunos cuyos indicadores de gestión son similares a los de países desarrollados, en los cuales las pérdidas de agua son menores a 10 por ciento, y se recauda casi el total del cobro por el servicio. Esto obliga a preguntarse ¿por qué unos organismos tienen mejor desempeño que otros? González Gómez y García Rubio (2008) sostienen que ciertos factores que inciden en el desempeño pueden ser controlados en forma efectiva por los administradores, mientras que otros están influidos de manera parcial por la política pública, incluso hay otros fuera del control de la administración.

Algunos de los factores incontrolables, que inciden en la eficiencia en el manejo del agua son la precipitación, el tamaño de la población y el ingreso. Una precipitación alta podría estar asociada con bajos costos de producción, y con menor motivación para reducir las pérdidas de agua. El crecimiento poblacional aumenta la demanda total de agua en una ciudad, también la presión sobre la disponibilidad del recurso e incrementa su costo marginal, esto puede provocar mayor urgencia para reducir las pérdidas y motivar el uso de medidores y alzas en las tarifas. Una población más grande también eleva la presión para aumentar la cobertura de los servicios. El aumento en el ingreso se asocia a una mayor demanda de agua

por habitante, y las mejoras en la eficiencia del manejo físico del agua podrían proporcionar los volúmenes adicionales requeridos; de esta manera, se esperaría que la eficiencia en el uso del agua se correlacionara positivamente con el ingreso.

El costo de producción y el consumo per cápita son variables que se localizan en la parte media de este continuo de factores controlables-incontrolables. El primero tiene componentes fuera del alcance de los administradores, como el costo de los químicos y de la energía requerida para producir el agua, pero en cierta medida se puede manejar el total de personal contratado y algunos aspectos operativos, que inciden en el costo total de producción. En un escenario de escasez, las pérdidas de agua (debido a factores físicos y comerciales) también se reflejan en las finanzas de los oo, de modo que es muy deseable reducirlas en el mayor grado posible, siempre y cuando el costo del agua perdida exceda al de evitar las pérdidas. Se espera que los organismos con altos costos de producción promuevan medidas de conservación y busquen un uso más eficiente de los recursos (Agthe et al. 2003). El consumo, por su parte, depende del precio del agua, del ingreso y de los hábitos de los consumidores, que se pueden modificar por medio de instrumentos de política pública. Es posible considerar al consumo como una variable proxy para la demanda que, en términos generales, se espera se correlacione negativamente con las pérdidas de agua (Park 2006).

El primer objetivo de este artículo es investigar cuáles son los factores relacionados con el desempeño en los oo de agua en México, mediante el análisis de la estructura de correlaciones de los indicadores de desempeño más importantes en una muestra de 106. El segundo, es clasificar a los organismos en función de estos factores, para identificar patrones de eficiencia relacionados con variables contextuales, como el producto interno bruto (PIB) per cápita, la precipitación y el tamaño de la red. El documento se divide en tres secciones; en la primera se describen los indicadores incluidos en el análisis, y se presentan los métodos y procedimientos desarrollados para analizar los datos y clasificar a los organismos. En la segunda se revisa y discute la estadística descriptiva de los indicadores y los resultados del análisis de componentes principales y de los clusters construidos, y se termina con las conclusiones.

## Métodos y procedimientos

Se analizaron los indicadores de desempeño de una muestra de 106 organismos, ubicados en ciudades con poblaciones mayores a 50 mil habitantes, con el fin de describir la situación actual de los organismos de agua en México. Aunque esta no es una muestra aleatoria, debido a que la selección de casos estuvo basada en la disponibilidad de los datos, incluye a muchos de los principales municipios en el país. Estos indicadores se obtuvieron, o bien fueron estimados, a partir de los datos presentados por la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA 2005-2011) en los informes anuales del subsector. Aquí se incluyó el último indicador publicado para cada organismo, y los utilizados se muestran en la figura 1.

Los indicadores de cobertura de agua potable y de alcantarillado se obtuvieron de los datos del censo del INEGI (2010). Se incluyeron tres variables contextuales más que, de acuerdo con González Gómez y García Rubio (2008), podrían estar asociadas al desempeño de los organismos en la muestra: la precipitación promedio en el municipio (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, IMTA 2007); el número de tomas en la red de distribución (CONAGUA 2010) y el PIB per cápita (CONAGUA 2001).

Con el propósito de investigar si existen factores subyacentes a los indicadores de desempeño, se realizó un análisis de componentes principales con los diez indicadores descritos y las tres variables contextuales asociadas con ellos. Se extrajeron los componentes, y se retuvieron los que en conjunto explicaran al menos 60 por ciento de la varianza acumulativa. Luego se aplicó una rotación ortogonal varimax, con el fin de maximizar la correlación de las variables con el menor número posible de factores (Hair et al. 2006), para facilitar el agrupamiento de indicadores. Las variables se agruparon de acuerdo con sus cargas asociadas a cada componente. El punto de corte utilizado para este agrupamiento fue 0.25.

Después de que se obtuvieron y rotaron los componentes principales, se sacaron los puntajes individuales para cada organismo y se usaron para crear clusters. Se aplicó el método de Ward (Ward 1963), para la creación de clusters jerárquicos, con varianza total mínima dentro de cada uno. Como medida de disimilitud se usó la distancia

Figura 1

## Principales indicadores de desempeño

Indicador	Forma de calcularlo
Eficiencia física Indicador de pérdidas de agua	$\text{Eficiencia física} = \frac{\text{volumen total de agua facturada}}{\text{volumen total de agua producida}}$
Eficiencia comercial Proporción del volumen facturado, recaudado por el organismo	$\text{Eficiencia comercial} = \frac{\text{volumen total de agua cobrada}}{\text{volumen total de agua facturada}}$
Relación ingresos/costos Indicador de la viabilidad financiera	$\text{Relación} \frac{\text{ingresos}}{\text{costos}} = \frac{\text{recaudación total}}{\text{costo total de operación}}$
Precio (o tarifa) Precio promedio del agua	$\text{Precio} = \frac{\text{recaudación total}}{\text{volumen total de agua facturada}}$
Costo de producción Costo promedio por m <sup>3</sup>	$\text{Costo de producción} = \frac{\text{costo total de operación}}{\text{volumen total de agua producida}}$
Empleados por cada mil tomas Medida del número de personal con respecto al tamaño del organismo	$\text{Empleados por cada 1 000 tomas} = \frac{\text{número total de empleados}}{\text{número total de tomas}} \times 1 000$
Consumo Consumo per cápita promedio anual	$\text{Consumo} = \frac{\text{volumen total de agua facturada}}{\text{población}}$
Micromedición Porcentaje de tomas que tienen medidor	$\text{Micromedición} = \frac{\text{conexiones que tienen medidor}}{\text{número total de conexiones}} \times 1 000$
Cobertura de agua potable Porcentaje de viviendas con conexión a la red de agua potable	$\text{Cobertura de agua potable} = \frac{\text{viviendas con servicio de agua potable}}{\text{total de viviendas}} \times 1 000$
Cobertura de alcantarillado Porcentaje de viviendas con conexión a la red de drenaje	$\text{Cobertura de alcantarillado} = \frac{\text{viviendas con servicio de alcantarillado}}{\text{total de viviendas}} \times 1 000$

Fuente: elaboración propia.

euclídea cuadrada (L2). El número de clusters creados se escogió de acuerdo con el primer máximo local del estadístico pseudo-F de Calisnki-Harabasz (Calisnki y Harabasz 1974). De acuerdo con Milligan y Cooper (1985), el estadístico Calisnki-Harabasz provee una mejor regla de corte para la determinación del número de clusters en comparación con otras reglas. Después de la jerarquización de clusters, se empleó un procedimiento de K-medias con la L2 como medida de disimilitud, para afinar la distribución de los oo en los clusters. Los promedios de los indicadores en cada cluster se obtuvieron con el fin de analizar y comparar los perfiles de desempeño de los organismos.

## Resultados y discusión

A pesar del crecimiento demográfico y la dificultad cada vez mayor para abastecer a las ciudades, el problema de las grandes pérdidas de agua no se ha resuelto. La figura 2 muestra que, en promedio, la eficiencia física en los oo de México es de 52.7 por ciento. Esto significa que 47.3 del agua no se factura, y mucha de ésta se pierde debido a las fugas en las redes de distribución. Este indicador también denota gran variabilidad: el valor máximo es de 92.4 por ciento (comparable con lo observado en naciones desarrolladas) y el mínimo es de 15.2 (casi 85 por ciento del agua se pierde o no se factura).

Las pérdidas, tanto de agua como las financieras inciden en los oo. En la figura 2 se muestra que, en promedio, la eficiencia comercial en la muestra es de 76.3 por ciento. Esto es, del total de agua que se factura, casi una cuarta parte (23.7) no se recauda. Esto desincentiva la conservación del recurso y perjudica la viabilidad financiera de los organismos operadores. En la figura 2 también se señala que el promedio de este indicador es de 0.8, lo cual significa que los ingresos en los 106 organismos corresponden a 80 por ciento de sus costos de producción, los cuales, cabe señalar, no incluyen las inversiones necesarias para mejorar la infraestructura y ampliar la cobertura. De esta manera, en promedio, 20 por ciento de los costos operativos de los oo en México tienen que ser financiados, mediante

Figura 2

Resumen de indicadores y variables contextuales  
para 106 organismos operadores

	Promedio	Desviación estándar	Mínimo	Máximo
Eficiencia física (%)	52.7	16.3	15.2	92.4
Eficiencia comercial (%)	76.3	16.6	24.8	100.0
Relación ingresos/costos	0.8	0.3	0.2	1.9
Precio (\$/m <sup>3</sup> )	8.0	3.9	1.2	19.7
Costo de producción (\$/m <sup>3</sup> )	5.4	3.1	0.7	19.4
Empleados por cada mil tomas	5.0	2.3	2.0	19.8
Micromedición (%)	63.3	30.5	2.0	100.0
Consumo (m <sup>3</sup> /persona/año)	54.7	30.0	8.0	197.6
Cobertura de agua (%)	88.8	8.9	40.7	96.8
Cobertura de alcantarillado (%)	87.4	9.6	33.6	97.3
Número de tomas	125 154	245 289	10 955	2 001 194
Precipitación (mm)	740	515	31	3 041
PIB per cápita (dólares estadounidenses)	8 390	3 860	2 200	27 695

Fuente: elaboración propia, a partir de CONAGUA (2005-2011); IMTA (2007); INEGI (2010).

deuda pública o subsidios gubernamentales. Sin embargo, algunos son financieramente autosustentables, como lo demuestra el valor máximo de este indicador, 1.9, lo cual señala que dicho organismo tiene ingresos que casi duplican sus costos. Existen otros que están subsidiados casi por completo, como se observa en el que tiene el valor mínimo del indicador, 0.2, lo que significa que sus ingresos equivalen a 20 por ciento de sus costos totales de operación.

Otra variable que agrega presión a los sistemas financieros es el precio del agua. Las bajas tarifas no sólo influyen de manera directa en los organismos, al reducir sus ingresos potenciales, sino también en la sociedad en su conjunto, al desincentivar la conservación del recurso, ya que los consumidores no perciben la escasez del agua que se podría señalar a través de su precio, que en la muestra es de 8 pesos por metro cúbico en promedio. Sin embargo, existe gran

variación entre organismos: el mínimo es de 1.2 pesos/m<sup>3</sup>, mientras que el máximo es de 19.8 pesos/m<sup>3</sup>. Los precios o tarifas del agua se deben establecer de tal forma que se cubran los costos de producción; para cumplir este objetivo, el valor promedio para dicha variable es de 5.4 pesos/m<sup>3</sup>, el mínimo es 3.1 pesos/m<sup>3</sup> y el máximo de 19.4 pesos/m<sup>3</sup>. Esto refleja nuevamente la variabilidad en la gestión del agua para uso urbano en México.

En cuanto al número de empleados por cada mil tomas, cuando este indicador tiene valores muy altos indica que la fuerza de trabajo es muy grande en comparación con el tamaño y densidad de la red, y es muy probable que exista gran ineficiencia en el empleo de recursos humanos. La muestra tiene un promedio de cinco empleados por cada mil tomas; un mínimo de dos y un máximo de casi veinte. Es decir, el organismo más ineficiente tiene hasta diez veces más empleados por cada mil tomas que el más eficiente en este indicador.

La existencia de medidores es necesaria para la conservación y facturación del agua basada en el consumo de los usuarios. En la muestra, esta variable tuvo un promedio de 63 por ciento de tomas con medidor, un valor mínimo de 2 y un máximo de 100. Es decir, hay organismos que casi no tienen medición del volumen utilizado por sus clientes, hasta aquéllos que tienen medidor en cada toma conectada a la red de distribución. En promedio, las personas consumen 54.7 m<sup>3</sup> al año. La variabilidad en el consumo es amplia, pues el rango va de un mínimo de 8 hasta 127 m<sup>3</sup>/persona/año. Sin embargo, estos resultados pueden incluir una subestimación del agua total facturada, debido a la inexistencia de medición volumétrica en las tomas. La cobertura de agua potable es, en promedio, de 88.8 por ciento, pero el mínimo llega incluso a 40.7, mientras que el máximo es de 96.8. En términos del servicio de alcantarillado, el promedio es de 87.4, el mínimo es de 33 y el máximo de 97.

Las últimas tres variables proveen el contexto de operación para los organismos incluidos en la muestra. El número de tomas a la red de distribución va de 11 mil hasta unos 2 millones, con un promedio de 125 mil. El rango de precipitación es de 31 a 3.041 milímetros por año (de zonas desérticas hasta selvas tropicales), que es un indicador de la variabilidad en la disponibilidad de agua en México.

Por último, puede observarse que el PIB per cápita en los municipios de la muestra es de 8 390 dólares anuales, en promedio, pero tiene un valor mínimo de 2 200 y uno máximo de 27 695 dólares por año, lo cual refleja la diversidad en los niveles de desarrollo económico entre las zonas del país.

### Extracción de componentes principales

Tras la extracción de los componentes principales, se retuvieron los cuatro con la suma más alta de cuadrados, ya que explican 62 por ciento de la varianza en los datos. Después se aplicó una rotación varimax, cuyo resultado se muestra en la figura 3. Para cada componente también se incluye el valor de la carga factorial con cada una de las variables; las que rebasaron el punto de corte (0.25) aparecen sombreadas, para facilitar su identificación.

Las variables con mayores cargas factoriales en el componente principal 1 (CP1) (se denominó “costos”, para facilitar su interpre-

Figura 3

Componentes principales rotados

Variables	CP1	CP2	CP3	CP4
Eficiencia comercial	0.0332	0.1121	-0.0531	0.5286
Eficiencia física	0.2530	-0.0967	0.5021	0.0106
Empleados por cada mil tomas	0.2198	0.0664	-0.3272	-0.2607
Micromedición	0.2412	-0.1448	0.0070	0.3900
Costo de producción	0.6531	-0.0341	0.1221	-0.1102
Relación ingresos/costos	-0.1307	-0.0228	0.0347	0.6136
Precio	0.4444	0.0346	-0.2310	0.2896
Consumo	-0.0607	0.2270	0.4626	-0.0760
Cobertura de agua	-0.2352	0.4256	0.1961	0.1385
Cobertura de alcantarillado	-0.0442	0.6333	-0.1287	-0.0153
Logaritmo (número de tomas)	0.3137	0.4165	0.0446	0.0058
Precipitación	-0.0316	0.1051	-0.5422	-0.0045
PIB per cápita	0.1642	0.3627	0.0595	-0.0502

Fuente: elaboración propia.

tación) son la eficiencia física, los costos de producción, el precio y el número de tomas. Esto indica la relación entre el tamaño de la población atendida y el costo de proveer agua a una ciudad, ya que el crecimiento poblacional influye en la demanda total de agua y, por lo tanto, se deben incorporar al sistema de abastecimiento fuentes de agua más costosas y de difícil acceso. Este incremento en los costos de producción se refleja también en el precio del agua, pues los organismos intentan mantenerlo a un nivel en donde dichos costos se puedan cubrir (como se establece en los reglamentos relacionados con el agua en algunos estados), de modo que conserven su viabilidad financiera. La inclusión de la eficiencia física en este componente indica la relación negativa entre las pérdidas de agua y el costo de producción; el organismo tiende a reducir sus pérdidas físicas de agua cuando los costos de producirla son altos (Park 2006; Salazar y Lutz 2012).

Las variables con altas cargas factoriales en el CP2 (“disponibilidad”) son la cobertura de agua, la cobertura de alcantarillado, el número de tomas y el PIB per cápita. Éstas, en conjunto, indican la disponibilidad de los servicios proporcionados por los organismos, y su inclusión en este componente sugiere que la cobertura se correlaciona con el tamaño de la ciudad y con su desarrollo económico. Esta relación concuerda con la asociación existente entre la urbanización y el crecimiento económico, así como con la alta correlación entre el PIB per cápita y otros indicadores de desarrollo humano.

Con respecto al CP3 (“conservación”), las variables que mostraron mayores cargas factoriales fueron: eficiencia física, empleados por cada mil tomas, consumo y precipitación. Este componente se relaciona con las causas de las altas pérdidas de agua y, en consecuencia, con la baja eficiencia física. Las ciudades con menor precipitación por lo general tienen consumos elevados de agua, por ello el signo de esa variable es negativo, mientras que el del consumo es positivo. También se encontró que una mayor proporción de empleados con respecto al número de tomas es una señal de bajo desempeño, y está correlacionada negativamente con la eficiencia física; por ello se observa un signo negativo para la primera y uno positivo para la segunda. El consumo y la eficiencia física por lo general se correlacionan de manera positiva, puesto que cuando el consumo de agua aumenta, los organismos deben proveer cantidades adicionales del recurso, lo

que incrementa el costo marginal, y entonces la reducción de pérdidas se vuelve una opción más rentable.

Las variables con mayores cargas factoriales en el CP4 (“rentabilidad”) son la eficiencia comercial, empleados por cada mil tomas, micromedición, relación ingresos/costos y precio. Están relacionadas con la recaudación, así que este componente puede considerarse como un indicador de la rentabilidad, o de cómo los organismos son capaces de incrementar sus ingresos. Todas las variables tienen signo positivo, con excepción del número de empleados por cada mil tomas. Esto significa que una micromedición alta y un precio mayor se asocian con una recaudación superior, y con una relación ingresos/costos más elevada. Una micromedición alta es señal de que el organismo tiene una política de facturación y recaudación efectiva motivada, en parte, por los altos precios del agua, ya que los volúmenes facturados que no se recaudan representan un costo de oportunidad para los oo. El signo negativo de la variable empleados por cada mil tomas indica que tener demasiado personal se asocia con menor desempeño, y también induce a una nómina muy costosa.

### Agrupamiento de organismos operadores

El agrupamiento o clustering de los organismos operadores resultó en cinco grupos, en la figura 4 se muestran los que integran cada uno.

En la figura 5 se incluye el promedio de cada indicador por grupo. Los números sombreados indican los valores más altos y los que están en cursivas señalan el cluster con el valor más bajo. Por ejemplo, el valor más alto para la eficiencia comercial fue de 90.5, que corresponde al promedio del indicador en el cluster 1, mientras que el más bajo, 66.4, corresponde al cluster 4.

El cluster 1 incluye cuatro oo, todos en Baja California, en el noroeste de México, y con administración estatal, como en la mayoría del país (Pineda y Briseño 2012); su eficiencia física y comercial es particularmente alta. El promedio de los dos indicadores en este cluster es más elevado que en cualquiera de los otros. Los oo en este grupo también tienen la micromedición más alta de la muestra, así como mayor número de tomas en promedio. En contraste, la precipitación es, en promedio, la más baja (186 mm/año), y los costos de

Figura 4

## Grupos formados a partir de análisis de cluster

Cluster 1			
Ensenada, B. C.	Tecate, B. C.	Mexicali, B. C.	Tijuana, B. C.
Cluster 2			
Aguascalientes, Ags.	Manzanillo, Col.	Guadalajara, Jal.	Cancún, Q. Roo
Chihuahua, Chih.	Celaya, Gto.	Puerto Vallarta, Jal.	Cozumel, Q. Roo
Cuauhtémoc, Chih.	Cortázar, Gto.	Tlalnepantla, Edo. de Mex.	Playa del Carmen, Q. Roo
Parral, Chih.	Irapuato, Gto.	Monterrey, N. L.	Culiacán, Sin.
Juárez, Chih.	León, Gto.	Querétaro, Qro.	Nuevo Laredo, Tamps.
Saltillo, Coah.	San Francisco del Rincón, Gto.	San Juan del Río, Qro.	Victoria, Tamps.
Torreón, Coah.	Pachuca, Hgo.	Tequisquiapan, Qro.	Mérida, Yuc.
Cluster 3			
Calvillo, Ags.	Allende, Gto.	Iguala, Gro.	Jiutepec, Mor.
Tapachula, Chis.	Dolores Hidalgo, Gto.	Tula, Hgo.	Atlixco, Pue.
Francisco I. Madero, Coah.	Purísima del Río, Gto.	Cuautla, Mor.	Huauchinango, Pue.
San Pedro, Coah.	Valle de Santiago, Gto.		
Cluster 4			
Campeche, Camp.	Durango, Dgo.	Mazatlán, Sin.	San Luis Río Colorado, Son.
Acuña, Coah.	Gómez Palacio, Dgo.	Guamúchil, Sin.	Matamoros, Tamps.
Matamoros, Coah.	Lerdo, Dgo.	Agua Prieta, Son.	Reynosa, Tamps.
Monclova, Coah.	Zamora, Mich.	Ciudad Obregón, Son.	Tampico, Tamps.
Piedras Negras, Coah.	Temixco, Mor.	Guaymas, Son.	Veracruz, Ver.
Ramos Arizpe, Coah.	Tepic, Nay.	Hermosillo, Son.	Fresnillo, Zac.
Sabinas, Coah.	Puebla, Pue.	Navojoa, Son.	Zacatecas, Zac.
Colima, Col.	San Luis Potosí, S.L.P.	Nogales, Son.	
México, D. F.	Los Mochis, Sin.	Puerto Peñasco, Son.	
Cluster 5			
Ciudad del Carmen, Camp.	Acapulco, Gro.	Cuernavaca, Mor.	Coatzacoalcos, Ver.
Tuxtla Gutiérrez, Chis.	Naucalpan, Edo. de Mex.	Chetumal, Q. Roo.	Córdoba, Ver.
Acámbaro, Gto.	Uruapan, Mich.	Villahermosa, Tab.	Xalapa, Ver.
Guanajuato, Gto.			

Fuente: elaboración propia.

Figura 5

Promedios de los indicadores en cada grupo o cluster

	Cluster				
	1	2	3	4	5
Eficiencia comercial	90.5	88.7	75.3	66.4	68.5
Eficiencia física	85.0	60.5	45.5	54.6	32.2
Empleados por cada mil tomas	4.6	4.4	4.8	4.6	8.4
Micromedición	96.9	82.2	65.9	42.3	54.9
Costo de producción	16.3	5.8	3.4	5.1	5.7
Relación ingresos/costos	0.73	1.08	0.76	0.64	0.70
Precio	15.2	9.6	5.9	5.8	11.6
Consumo	60.1	60.34	34.73	72.9	31.66
Cobertura de agua	83.3	91.9	83.1	91.8	86.9
Cobertura de alcantarillado	80.8	90.1	80.1	89.9	91.5
Tomas	244 561	189 134	21 526	148 518	80 338
Precipitación	185.1	605.2	861.3	590.4	1 429.149
PIB per cápita (dólares estadounidenses)	8 451	9 662	5 384	9 545	8 417

Fuente: elaboración propia.

producción y el precio promedio son los más altos, lo cual quizá se deba a la necesidad de cubrir los costos de producción. Sin embargo, a pesar de tener un precio promedio más alto, éste es más bajo que el costo promedio, esto incide en su relación ingresos/costos, que es de 0.73. Pese a los buenos indicadores de eficiencia física y comercial, este cluster se encuentra entre los de bajas coberturas de agua potable y alcantarillado, lo que puede estar relacionado con el tamaño de la población (765 598) y con la tasa de crecimiento demográfico en estas ciudades (3 por ciento), más elevada que en los otros grupos. Al parecer, la población aumenta a un ritmo que los oo no pueden igualar, en términos del crecimiento requerido de las redes de agua potable y alcantarillado.

El cluster 2 comprende organismos operadores que gestionan redes de 189 134 tomas en promedio, en municipios con un promedio

de 784 989 personas. Éste incluye la segunda y tercera zonas metropolitanas más grandes del país (Guadalajara y Monterrey); a los únicos tres con participación privada en México (Aguascalientes, Cancún y Saltillo); así como a otros 15 ubicados en el centro de México; 12 en el norte y 4 en el sur. Es el que tiene la relación ingresos/costos más alta (1.08), lo cual puede deberse en parte a su gran eficiencia comercial y micromedición, así como a sus bajos costos de producción (5.8 pesos/m<sup>3</sup>), y un precio promedio (9.6 pesos/m<sup>3</sup>), superior a su costo de producción. Estos organismos no tienen una eficiencia física notable (60.5 por ciento), pues aunque superan a la media nacional, aún están muy por debajo del cluster 1. Esto quizá se deba a que los bajos costos de producción y la relativa viabilidad financiera, no generan presión para reducir sus pérdidas físicas de agua. Los organismos en este grupo también tienen menos empleados por cada mil tomas (4.4), aunque no es muy diferente de los otros. Las ciudades que atienden tienen el PIB per cápita más alto, debido a que la mayoría son industriales o destinos turísticos internacionales.

El cluster 3 incluye 26 organismos operadores con un promedio de 21 526 tomas, que sirven a poblaciones de 151 689 habitantes, de modo que cuenta con los más pequeños de la muestra. Tienen los menores costos de producción (3.4 pesos/m<sup>3</sup>) y de precio. Su eficiencia comercial (75.3 por ciento) se acerca al promedio de la muestra, mientras que el de la eficiencia física es más bajo. La mayoría se encuentra en déficit, debido a que su relación ingresos/costos es de 0.76. Tienen poca cobertura, tanto en el servicio de agua como en el de alcantarillado, lo cual puede deberse a la relativamente alta proporción de población rural en los municipios. Estos organismos sirven a las localidades menos desarrolladas en términos económicos, su consumo es menor y 54 por ciento de ellos se localizan en el centro de México, 19 en el norte y 27 en el sur.

El cluster 4 está conformado por 34 organismos que proporcionan servicios a ciudades de 573 674 habitantes en promedio, y cuyas redes de distribución cuentan con 148 518 tomas. La Ciudad de México está en este cluster, lo que hace que el promedio de habitantes no sea representativo de la ciudad típica de éste. El promedio de la población de estas ciudades, sin considerar a la capital del país, es de

306 945 habitantes; la mayoría de ellas está en el norte del país (70 por ciento), algunas en la región central (24) y una minoría en el sur (6). En promedio, los organismos de este grupo tienen la eficiencia comercial y la micromedición más bajas (66.4) y (42.3), así como el menor precio ( $5.8 \text{ pesos/m}^3$ ) pero, contrario al cluster 3, sus costos de producción son más altos. Debido a la baja eficiencia comercial y micromedición y menor precio, este grupo tiene la menor relación ingresos/costos, cuenta con el segundo mayor PIB per cápita y el consumo más elevado. La eficiencia física (54.6 por ciento) se encuentra apenas por encima del promedio de la muestra. Muchos de estos organismos enfrentan retos asociados con el abasto de agua, pues aunque su precipitación no está entre las más bajas, muchas ciudades tienen poca disponibilidad natural de agua.

El cluster 5 comprende organismos del sur (75 por ciento) y centro del país (25). En promedio, tienen 80 338 tomas y proveen de servicios a poblaciones de 409 116 personas. Aunque la cobertura de alcantarillado y agua potable de este grupo es cercana al promedio de la muestra, su eficiencia física es menor (32.2 por ciento), y cuenta con el segundo menor promedio de eficiencia comercial (68). Tiene la mayor cantidad de empleados por cada mil tomas (8.4), que representa casi el doble del promedio en los otros grupos. Aunque el precio ( $11.6 \text{ pesos/m}^3$ ) es casi el doble de los costos de producción, la relación ingresos/costos es una de las más bajas (0.7); asimismo, estos organismos operan en ciudades con precipitación más alta en la muestra, aunque su consumo es el más bajo ( $34.3 \text{ m}^3/\text{persona/año}$ ).

## Conclusiones

Los resultados arrojan que la eficiencia física, empleada aquí como un indicador de disponibilidad de agua, es más baja en los organismos con más empleados por cada mil tomas; también se relaciona con altos costos de producción y bajas tasas de precipitación. La cobertura de agua y el alcantarillado se correlacionan positivamente con el PIB per cápita y con el número de tomas, lo cual indica que las ciudades grandes y más desarrolladas, en términos económicos,

tienen también mejor acceso a estos servicios. Sin embargo, las elevadas tasas de crecimiento demográfico parecen influir en la cobertura, pues los organismos no logran aumentar sus redes de servicios al ritmo que la dinámica poblacional lo requiere. La eficiencia comercial y el precio promedio por metro cúbico son mayores en localidades con mejor medición, lo cual influye para que estos organismos tengan ingresos que alcancen a cubrir la mayoría o el total de sus costos. Los organismos operados por empresas privadas se ubicaron en el cluster con menos empleados por cada mil tomas, y la mejor relación ingresos/costos. Los oo con mejor desempeño, en términos generales, se localizan en el norte de México, donde el agua es escasa; mientras que los peores donde hay mayor disponibilidad del recurso.

En general, este estudio provee un mejor entendimiento de las correlaciones entre indicadores de desempeño, y la clasificación de los organismos proporciona a los tomadores de decisiones una perspectiva de la variedad de perfiles existentes en el sector, con el fin de formular políticas acordes con la diversidad de problemáticas que enfrentan dichos organismos. Los incluidos en el cluster 1 deben atender los altos costos de producción y la extensión de los servicios, con el fin de cubrir los requerimientos de una población creciente. Los del 2 necesitan resolver las pérdidas de agua pues, a pesar de su buena viabilidad financiera, existe aún un atraso importante en la eficiencia física, comparada con los organismos del cluster 1. Los del cluster 3 deben ocuparse de la cobertura, que aún es un problema importante en estos municipios. Los de los 4 y 5 requieren desarrollar sus sistemas de medición volumétrica. Aunque los del 4 se ubican en municipios con gran desarrollo económico, similar a los de los 1 y 2, su desempeño es más deficiente; tienen más pérdidas de agua y menos eficiencia comercial lo cual, aunado a los bajos precios que se cobran, resulta en su menor viabilidad financiera. En consecuencia, estos organismos deben enfocarse en aumentar la eficiencia física y la comercial, así como incrementar sus precios para que sean similares a los del cluster 2. Los organismos en el 5 deben reducir el tamaño de sus nóminas, con respecto al de sus servicios, así como el asunto de las pérdidas de agua. Aunque los precios del agua no son en sí mismos un problema para éstos, el pobre desempeño en otras áreas hace que estos precios no sean suficientes para cubrir sus costos totales de operación.

La clasificación de los organismos permite observar que la problemática del agua potable en México es muy diversa, por lo que no se puede resolver mediante la aplicación uniforme y estandarizada de políticas públicas, sino a través de un análisis de la situación que enfrenta cada organismo y de la integración del conocimiento local, para atacar los problemas específicos en cada municipio. Si bien en este análisis se presentan las correlaciones existentes entre los factores asociados al desempeño, las causas que originan los indicadores observados se deben buscar en los arreglos y capacidades institucionales de cada organismo. Por ello, como parte de la agenda de investigación en el sector, se recomienda llevar a cabo estudios de caso con el fin de analizar a fondo a los organismos de los municipios incluidos en la muestra, para lo cual la clasificación aquí presentada puede servir como una guía para la selección de los casos.

Recibido en noviembre de 2013  
Aceptado en abril de 2014

## Bibliografía

- Agthe, Donald, Bruce Billings y Nathan Buras. 2003. *Managing urban water supply*. Holanda: Kluwer Academic Publishers.
- Caldera, Alex. 2006. Agua, participación privada y gobernabilidad en Aguascalientes (1989-2001). En *La gestión del agua urbana en México. Retos, debates y bienestar*, editado por D. Barkin, 197-216. México: Universidad de Guadalajara.
- Calinski, T., y J. Harabasz. 1974. A Dendrite method for cluster analysis. *Communications in Statistics* 3 (1): 1-27.
- CONAGUA. 2005-2011. *Situación del subsector agua potable, alcantarillado y saneamiento*. México: CONAGUA.
- CONAPO. 2006. Proyecciones de la población de México 2005-2050. <http://www.conapo.gob.mx> (10 de enero de 2013).

\_\_\_\_\_. 2001. Índices de desarrollo humano 2000. México: CONAPO.

Contreras, Hugo. 2008. La última generación de proyectos de participación privada en sistemas de agua en México: quince años de experiencias. En *El agua potable en México. Historia reciente, actores, procesos y propuestas*, editado por Roberto Olivares y Ricardo Sandoval, 105-122. México: Asociación Nacional de Empresas de Agua y Saneamiento en México.

González Gómez, Francisco y Miguel Ángel García Rubio. 2008. Efficiency in the management of urban water services. What have we learned after four decades of research? *Hacienda Pública Española. Revista de Economía Pública* 185 (2): 39-67.

Guerrero García Rojas, Hilda R. 2008. El costo del suministro de agua potable, análisis y propuestas de políticas. En *El agua en México. Consecuencias de las políticas de intervención en el sector*, editado por Hilda R. Guerrero, Antonio Yúnez Naude y Josué Medellín Azuara. México: Fondo de Cultura Económica.

Hair, Joseph, William Black, Barry Babin, Rolph Anderson y R. Tatham. 2006. *Multivariate data analysis*. Nueva Jersey: Pearson Prentice Hall.

IBnet. 2013. Latest IBnet countries indicators. <http://www.ib-net.org/sp> (15 de junio de 2013).

IMTA. 2007. *Extractor rápido de información climatológica V.2.0. (disco compacto)*. México: IMTA.

INEGI. 2010. Censo de población y vivienda 2010. <http://www.inegi.org.mx> (10 de enero de 2013).

Lutz, América y Alejandro Salazar. 2011. Evolución y perfiles de eficiencia de los organismos operadores de agua potable en México. *Estudios Demográficos y Urbanos* 26 (3): 563-599.

- Milligan, Glenn y Martha Cooper. 1985. An examination of procedures for determining the number of clusters in a data set. *Psychometrika* 50 (2): 159-179.
- Montero, Martín José y José Luis Pérez. 2008. Regionalización de proyecciones de precipitación y temperatura en superficie aplicando el método REA para México. En *Efectos del cambio climático en los recursos hídricos de México*, volumen II, editado por Polioptro Martínez y Ariosto Aguilar, 11-22. México: IMTA.
- Park, Hyun Jung. 2006. A study to develop strategies for proactive water-loss management. Tesis de doctorado, Georgia State University.
- Pineda, Nicolás y Hugo Briseño. 2012. ¿Por qué son mejores los organismos de agua de Baja California que los de Sonora? Instituciones locales y desempeño de los organismos públicos. *región y sociedad* (número especial 3): 181-212.
- \_\_\_\_\_ y Alejandro Salazar. 2010. Managing water amid rapid urbanization: Mexico's norte borderlands. En: *Water and sustainability in arid regions: bridging the gap between physical and social sciences*, editado por Graciela Schneier-Madanes y Marie F. Courel, 245-260. Nueva York: Springer.
- Salazar, Alejandro y América Lutz. 2012. An empirical study of factors affecting water loss in Mexican cities. *Journal of Water Sustainability* 2 (3): 167–178.
- Sandoval Minero, Ricardo. 2005. Participation of the private sector in water and sanitation services: assessment of Guanajuato, Mexico. *International Journal of Water Resources Development* 21 (1): 181-197.
- Tortajada, Cecilia. 2000. Environmental impact assessment of water projects in Mexico. *International Journal of Water Resources Development* 16 (1): 73-87.

Ward, Joe H. Jr. 1963. Hierarchical grouping to optimize an objective function. *Journal of the American Statistical Association* 58: 236–244.