

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE COAHUILA
CENTRO DE INVESTIGACIONES SOCIOECONÓMICAS

TESIS

TESIS
2014

ULISES VÍCTOR JESÚS GENIS CUEVAS

“Tecnología del Suministro de Agua Potable en México:
Evidencia Empírica e Implicaciones de Política Pública”



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE COAHUILA

CENTRO DE INVESTIGACIONES SOCIOECONOMICAS

MAESTRIA EN ECONOMIA REGIONAL

TESIS

“Tecnología del Suministro del Agua en México: Evidencia Empírica e Implicaciones de Política Pública”

que se presenta como requisito parcial para obtener
el grado de Maestro en Economía Regional

ULISES VÍCTOR JESÚS GENIS CUEVAS

Comité Evaluador:

Dr. Nicholas P. Sisto
Dr. Sergio Colin Castillo
Dr. Aldo Iván Ramírez Orozco

Saltillo, Coahuila.

Agosto de 2014

Agradecimientos

Quisiera agradecer a mi director, el Dr. Nicholas P. Sisto por su apreciable apoyo, sus innumerables consejos, su paciencia y el tiempo tomado para dirigir y corregir esta tesis. Al Dr. Sergio Colín Castillo, co-director de esta tesis, por los amables comentarios y correcciones, además de sus consejos. Ambos fueron parte crucial en mi formación profesional, me enseñaron y guiaron en cómo realizar esta investigación y por ello les estoy profundamente agradecido.

Al Dr. Nicolás Gravel (Université d'Aix-Marseille), Dr. Sergei Severinov (University of British Columbia), Dr. Frederick Wallace (University of Minnesota) y Dr. Aldo Iván Ramírez Orozco (Tecnológico de Monterrey) lectores de este trabajo. Por haberse tomado el tiempo de leer y asistir a las presentaciones que se llevaron a cabo, por las valiosas sugerencias que enriquecieron el trabajo y por ofrecer su apoyo en lo que fuera necesario.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por la beca de estudio de posgrado (CVU 484611) que me otorgó.

A mis padres porque siempre me muestran su apoyo incondicional, su amor y fortaleza. A ambos los admiro mucho y han servido como un ejemplo para cada día y todo aquello que he conseguido ha sido gracias a ellos.

A todos aquellos que de alguna u otra manera facilitaron esta investigación, sea de forma directa o indirecta. Cada aportación fue muy valiosa.

Índice

AGRADECIMIENTOS	1
1. INTRODUCCIÓN	3
2. REVISIÓN DE LITERATURA	5
3. MARCO TEÓRICO Y METODOLÓGICO	15
3.1 Economías a escala	15
3.2 Eficiencia de escala	16
3.3 Métodos empleados	19
3.3.1 Análisis de Regresión	19
3.3.2 Análisis por envoltura de datos	22
3.3.3 Análisis regional	29
4. DESCRIPCIÓN DE LA BASE DE DATOS Y ANÁLISIS PRELIMINAR	32
4.1 Descripción de la base de datos	32
4.2 Estadísticos descriptivos	32
4.3 Análisis de correlación y regresión simple	35
4.4 Análisis por submuestra	41
4.5 Análisis de la productividad media del trabajo	56
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	58
5.1 Regresiones	58
5.3 Análisis por Envoltura de Datos	69
5.3 Análisis Regional	72
6. CONCLUSIONES	77
REFERENCIAS	80

1. Introducción

El agua es un insumo esencial para las actividades económicas y el bienestar general en los asentamientos urbanos. Sin embargo, que sea vital no quiere decir que no se deba prestar atención a los costos y su operación en general. Es necesario, pues, que aquellos entes encargados del suministro a empresas y hogares sean eficientes en sus costos y su operación en general. Existe una amplia literatura que investiga la relación de la escala de operaciones y la eficiencia. La presente investigación se pretende llenar una brecha en esta literatura. El enfoque dominante ha sido el uso de datos de costos y análisis por regresiones. Las funciones de costos se definen como el costo mínimo dados los precios de los insumos y la cantidad producida, tanto, la función de costos lleva implícita la función de producción. No obstante, poco se ha hecho considerando la producción. Adicionalmente, se impone el supuesto de racionalidad y minimización de costos que no necesariamente es ajustado a la realidad del suministro de agua potable urbana.

Conocer las características tecnológicas del suministro de agua potable urbana en México dará una idea general de la actual situación del país, así como de las oportunidades que se pueden aprovechar, de manera que la primera pregunta de investigación es: ¿Cuáles son las características tecnológicas del suministro de agua potable en los asentamientos urbanos de México? Actualmente, existen suministradores de agua de tamaños muy distintos; organismos pequeños coexisten con organismos muy grandes y de ahí surge la duda: ¿Existe un tamaño óptimo? Por eso la segunda y tercera preguntas de investigación serán: ¿Existen economías a escala en el suministro de agua? Y ¿Cuáles son las implicaciones de política pública?

Este trabajo tiene la siguiente estructura: en el siguiente capítulo 2 se hace la revisión de literatura, que abarca el estado actual de las investigaciones que se han llevado a cabo en distintos países. Se enumeran, artículo por artículo, los temas abordados, los distintos enfoques y métodos que se han utilizado y las principales conclusiones concernientes a las economías a escala y su conexión con el caso mexicano. El capítulo 3 describe el marco teórico y metodológico, donde se presentan los conceptos de economías a escala y eficiencia de escala. También se describen las distintas formas funcionales empleadas para abordar el tema, así como el análisis por envoltura de datos. Finalmente, describe y

justifica el uso de cuatro submuestras y un análisis regional. En el capítulo 4 se describe la base de datos usada, se presentan los estadísticos descriptivos de cada variable utilizada y un análisis preliminar por cada par de variables. El capítulo 5 reporta los resultados de cada forma funcional usando toda la muestra y cada submuestra, después del análisis por envoltura de datos y el análisis regional de la productividad media de la mano de obra. Finalmente, en el capítulo 6 están las conclusiones finales extraídas de cada sección y los resultados del análisis.

2. Revisión de literatura

El tema de las economías a escala en el suministro de agua ha generado una cantidad considerable de estudios empíricos, de distintos países, enfoques y puntos de vista que han enriquecido el conocimiento que se tiene en la materia. De ellos los trabajos más relevantes que se tiene conocimiento para la presente investigación son Abbot y Cohen (2009) y Carvalho, Marques y Berg (2012). Ambos hacen una revisión de la literatura, pero con métodos distintos. El primero revisa la argumentación y las conclusiones a las que llegaron los autores de más de 70 artículos. El último hace un análisis meta-regresivo que aporta perspectivas con respaldo matemático. De estos dos artículos se han extraído los artículos que a continuación se comentan.

Abbot y Cohen (2009) clasifican los artículos en cuatro grandes ramas: economías a escala, economías de alcance, tipo de propiedad y la regulación de los suministradores de agua. De aquí se tomaron aquellos que tratan específicamente el tema de las economías a escala para su análisis. En el más antiguo de ellos, Ford y Warford (1969) calcularon una función de costos unitarios en el suministro de agua para Inglaterra y Gales. Partieron de la función cuadrática usando como variable dependiente el costo total y como variables independientes el suministro diario y el área de cobertura. Los resultados no arrojaron una gran significancia estadística, sin embargo sugirieron que amalgamar distintos suministradores de agua en uno solo podría beneficiar al organismo con una reducción de sus costos, dependiendo de las áreas y el consumo observado en cada una de las áreas. Este trabajo, si bien fue el más simple de todos, introdujo la idea de la existencia de economías a escala en el suministro de agua urbana.

En respuesta a la simplicidad de ese estudio, Fox y Hofler (1985) propusieron formas funcionales más complejas y completas para el análisis del caso estadounidense, que permitieron la aportación de mayor información. Tomaron la función homotética de error compuesto considerando dos productos: agua producida (en galones) y tubería de distribución (en millas), controlando las siguientes variables: el agua distribuida a no residentes, agua comprada a otros suministradores, capacidad de almacenamiento de agua, porcentaje de captación de fuentes superficiales, variables de calidad y variables dummy para cada región. Concluyeron que las ineficiencias encontradas podían deberse a la

búsqueda de una eficiencia de largo plazo y su principal hallazgo, en relación a las economías de escala, fue que «la distribución del agua se caracteriza por fuertes economías de escala que se incrementan al crecer las millas de distribución».

La conclusión del estudio anterior podría ser incompleta, pues Kim y Clark (1988) encontraron que la relación entre escala y costo medio de suministro varía según si es para usuarios domésticos o no domésticos. Prestar el servicio a usuarios no domésticos tales como industriales, comerciales o mayoristas ofrecía economías a escala mientras que el servicio a los usuarios domésticos presentaba deseconomías a escala. Habiendo usado una función translog, donde la variable dependiente, que es el costo medio, se explica por la cantidad de agua de uso residencial, cantidad de agua de uso no residencial, distancia del servicio, uso de la capacidad instalada y los insumos mano de obra, energía y capital con sus respectivos precios, destacaron que los dos efectos se cancelaban. Al no considerar la distinción entre estos dos tipos de usuarios, se sugirió la existencia de rendimientos constantes a escala, quedando explícito que los efectos se pueden cancelar, o bien, puede dominar uno de ellos sobre el otro.

Otra aportación influyente en el tema del suministro de agua fue Bhattacharyya et al. (1994), quienes propusieron un modelo que sería utilizado para otros países, incluido México (Ozuna y Gómez, 1998). La lógica rectora de ese trabajo fue que la eficiencia de los organismos públicos o privados difería porque estos enfrentaban esquemas de incentivos y marcos regulatorios muy distintos. Propusieron una función de costos variables, pero considerando que la minimización de costos estaba sujeta a un conjunto de restricciones para los suministradores públicos de agua distinto al de los privados. Debido a esto, concluyeron que los suministradores de agua en Estados Unidos, de propiedad pública, eran más eficientes que los privados y ambos enfrentaban retornos crecientes a escala. El modelo propuesto no restringe su uso para comparar privados contra públicos, sino que puede usarse para medir los efectos de la regulación, la escala o cualquier factor que tenga efectos sobre la eficiencia de los suministradores de agua.

El efecto que la integración espacial de las empresas de agua tiene en la productividad depende de atributos espaciales como el área servida, la densidad de la población, la densidad del empleo y la estructura económica, de acuerdo con Kim y Lee (1998). En su

estudio, realizado en Corea del Sur, encontraron que algunas regiones podrían ser más eficientes en sus costos si la integración espacial se ajustaba con respecto a sus atributos económicos y espaciales, lo cual concuerda con el estudio de Ford y Warford (1968) pero incorporando elementos de la teoría de producción y del instrumental econométrico.

La correcta especificación de la forma funcional es relevante para el diseño de medidas de eficiencia por parte de los reguladores. Filippini, Hrovatin y Zorić (2007), por ejemplo, hicieron distintas pruebas de robustez a los modelos que utiliza el organismo regulador eslovaco y encontraron que una mala especificación provocaba un sesgo en los resultados, calificando a organismos ineficientes como eficientes. Coelli (2003) menciona que la falta de metodologías precisas en la medición de la productividad de servicios públicos, puede ser una «trampa para los incautos», debido a que comparar dos firmas distintas conlleva muchas sutilezas como el tamaño, la existencia de economías de escala que enfrentan, distintos precios o marcos regulatorios, entre otras. La forma funcional elegida *a priori*, por ejemplo, tiene efectos importantes en el cálculo de economías a escala. Fabbri y Fraquelli (2000) llevaron a cabo un estudio en Italia y encontraron que la función de costos Cobb-Douglas y la función de costos Translog pueden llevar a conclusiones muy distintas entre sí. Antonioli y Filippini (2001), por ejemplo, usaron la función Cobb-Douglas, que conlleva los supuestos de elasticidad de sustitución constante unitaria y homoteticidad, (los cuales no están presentes en la función Translog y conllevan implicaciones importantes para el cálculo de las economías a escala de la industria) y encontraron ligeras deseconomías a escala. Al cambiar la forma funcional a la Translog, se encontraron fuertes economías a escala y la inclusión de variables hedónicas (que capturan el efecto de factores no necesariamente bajo el control de la empresa) también mostró impactos en el costo. La densidad de consumidores por kilómetro de tubería, el costo del agua comprada y el costo de tratamiento fueron estadísticamente significativos y dieron un mejor ajuste. La conclusión final fue, por tanto, que la mejor función de costos es la Translog hedónica, que además mostró economías a escala que se agotan.

Dentro de la misma idea de incluir variables hedónicas, las características de la red son las que tienen mayor relevancia puesto que es necesario explicitar las economías de densidad y así calcular el tamaño óptimo que más aprovecha las economías de escala y de

densidad. Mizutani y Urakami (2001), habiendo calculado la función de costos y las economías de escala y densidad, propusieron que en Japón los organismos operadores minimizan el costo promedio al atender un total de 766,00 personas. Si bien encontraron que no existen economías a escala en la media de la población, encontraron economías de densidad para todos los tamaños de la muestra seleccionada. La combinación de los efectos llevaría a que la desintegración de los organismos operadores más grandes los vuelva más eficientes en costo. Estos resultados contradijeron estudios anteriores de Japón (Takada y Shigeno, 1998; Kuwahara, 1998), pero los autores argumentan que se debe a la muestra escogida. También cabe destacar que el estudio anterior demostró que las economías a escala se agotan en algún punto. Conclusión confirmada por Martins, Fortunato y Coelho (2006) para el caso portugués.

Otra forma de incorporar factores de calidad, como las fugas, es incluirlas en la función de costos como un producto no deseable. García y Thomas (2001) lo hicieron en un modelo panel translog para Francia y encontraron economías de alcance entre el agua vendida y las pérdidas en la red. Profundizando en su análisis calcularon que un incremento en 1% de la producción de agua al consumidor final incrementa los costos en un 0.65%, lo que sugería economías a escala. Como dato interesante, un incremento de 1% en el agua perdida por fugas incrementa los costos en apenas un 0.22%. Esto deja claro que los suministradores de agua potable no ven la atención de las fugas como una prioridad, puesto que cuesta menos que el agua suministrada a los consumidores finales. Picazo, Saez y González (2011), usaron un análisis por envoltura de datos donde consideran el agua no contabilizada como proxy de un servicio de calidad para medir la eficiencia relativa de los organismos operadores de agua potable de España.

También es importante destacar que hay economías a escala en cobranza, compras y sistemas de cómputo, por lo que para aprovechar el beneficio de la escala óptima no es necesario que los sistemas estén conectados en una gran red (Shih et al., 2004). Este poder de negociación de los organismos operadores grandes podría traducirse en un menor gasto en los insumos.

La mayoría de los estudios revisados se han enfocado en los países más desarrollados. Pocos estudios como el de Tynan y Kingdom (2005) han analizado los países en vías de

desarrollo. Calculando economías a escala para 33 países de África, además de Indonesia, Perú, Estados Unidos y Vietnam, los resultados obtenidos fueron heterogéneos por lo que la conclusión más importante a la que llegaron es que la escala óptima de operaciones depende en mayor medida de las características de los usuarios que del volumen producido. De manera general, el número de conexiones ofreció economías a escala significativas. Por su parte Nauges y van den Berg (2008) también confirmaron la existencia de heterogeneidad en Moldavia, Rumania, Vietnam y Brasil, destacando que esta heterogeneidad también se daba en el tiempo.

El análisis meta-regresivo de Carvalho, Marques y Berg (2012) mencionado al principio del capítulo, toma una muestra (cuasi censal) de estudios empíricos enfocados en las economías a escala y las economías de alcance y hacen un análisis meta-regresivo que consiste en identificar los factores particulares de cada investigación que pudieran influir en el valor de los parámetros estimados. Para las economías a escala, utilizan la medida de Baumol (1976) de «grados de economías a escala» como variable dependiente de las variables «tamaño de la muestra», «año de publicación», «PIB del país del estudio», «continente», «método de estimación», «tipo de operador», «tipo de publicación», «tamaño medio de la muestra de suministradores de agua» y «existencia de un regulador». Dentro de sus hallazgos, cabe destacar que a mayor PIB probabilidad de encontrar deseconomías a escala. Las demás variables no alcanzaron significancia estadística. Con respecto a las cuales, los autores argumentan que entre más reciente sea la publicación, más años sean cubiertos y exista un regulador es más probable encontrar economías a escala.

Los estudios de eficiencia con métodos de frontera empírica han encontrado que los factores fuera del control de los organismos operadores de agua potable como la estructura de la propiedad, el tamaño y la ubicación geográfica tienen un efecto en su eficiencia (Romano y Guerrini, 2011). De ellos, la estructura de propiedad (privada vs pública) es el enfoque más proliferante, pero la revisión de investigaciones empíricas realizada por Renzetti y Dupont (2003) demuestra la falta de resultados contundentes. Se sugirió teórica y empíricamente que los privados superan en eficiencia a los públicos, sin embargo estos estudios «no carecen de sus limitaciones y críticas». De la misma manera

la autonomía funcional ha demostrado resultados ambiguos (*e.g.* Gupta, Kumar y Sarangi, 2012 y Anwandter y Ozuna, 2002)

En cuanto al impacto de la regulación, Carvalho y Marques (2010) encontraron que en Portugal la regulación impactaba de manera positiva mientras que la provisión de agua y saneamiento simultáneamente y la venta mayorista y detallista por el mismo organismo afectaron negativamente. La propiedad arrojó resultados inconclusos. La tasa de usuarios domésticos y densidad de consumidores tuvieron un efecto mixto de la misma manera que la fuente del agua.

Renzetti y Dupont (2009) encontraron que algunas variables sobre las que el organismo no tiene control también afectaron el proceso de provisión de agua potable urbana. Proponiendo una metodología de tres etapas encontraron que la máxima temperatura en verano, la precipitación, la fuente de extracción, la densidad de población, la elevación del terreno, el porcentaje de usuarios domésticos y el número de viviendas fueron estadísticamente significativas para describir el uso de mano de obra, materiales y la distribución. Aplicando esa misma metodología en Jordania, Al'assad y Sauer (2010) encontraron que las actividades de comercialización y la tasa de usuarios no domésticos tuvieron un efecto positivo mientras que el uso de agua superficial tuvo un efecto negativo en la eficiencia.

En Canadá se encontraron economías a escala en los Organismos Operadores de Ontario (Renzetti, 1998). También se concluyó que los precios del suministro de agua son menores a los costos marginales, lo que desalienta la innovación tecnológica. Otro estudio que halló economías a escala en Inglaterra y Gales fue Ashton (2000), quien argumentó que se debían a su condición de monopolio natural. Calculó que si se duplicara la producción de las empresas de agua ubicadas en la media, sus costos subirían 67.8%. También infirió que la privatización no consiguió incrementar la productividad total de los factores y que solo los llevó a mejorar la calidad de los insumos. El trabajo anterior contrasta con Saal y Parker (2000). Ellos encontraron deseconomías a escala en Inglaterra y Gales.

Para el caso mexicano se encontraron tres estudios: Ferro et al. (2010), Ozuna y Gómez (1998) y Andwanter y Ozuna (2002). Ninguno aborda como objetivo específico la

relación entre escala y eficiencia, pero son de interés por los resultados obtenidos. Ferro et al. (2010) analizaron a 14 países de América Latina, incluido México, con datos del 2005, y encontraron la existencia de economías a escala. Ellos sugieren la fusión de los suministradores más pequeños. Ozuna y Gómez (1998) estudio mencionado se basó en Battacharyya et al. (1994). Usaron datos de la «Unidad de Programas Rurales y de Participación Social» de la Comisión Nacional del Agua, de una muestra de 146 Organismos Operadores del año 1995 que después se redujo a 115 por datos incompletos. Las variables escogidas fueron las siguientes: Cantidad total de agua producida y suministrada en millones de litros al año, su precio, los costos variables, el precio de mano, no existía un precio de la energía, por lo que se usó el precio basado en el estado donde se localiza. Se incluyeron también variables dummy para los organismos operados municipalmente, estatalmente, administrados directamente, administrados autónomamente, porcentaje de conexiones con servicio continuo, si adoptaron el marco legal propuesto por CONAGUA y si el organismo se ubicaba en una zona con agua abundante.

El supuesto básico de este estudio es que los organismos enfrentan precios de mercado que son una fracción k de los precios sombra. Los resultados obtenidos fueron que ni la adopción del marco regulatorio modelo de la CONAGUA, ni la ubicación en un lugar de agua abundante, ni el tipo de organización (autónoma o de administración directa) tuvieron un impacto significativo en su desempeño. Si bien no se calcularon explícitamente las economías a escala, se encontró, que los organismos operadores de agua potable regulados municipalmente son más eficientes que los regulados estatalmente a menor nivel de producción, pero más ineficientes al crecer su nivel de producción. Por el contrario, los regulados a nivel estatal son más eficientes entre más grande sea su producción.

En el segundo artículo (Anwandter y Ozuna, 2002) se utilizó una metodología distinta para ver si las reformas desde el sector público pueden mejorar la eficiencia de los organismos operadores de agua potable. El tema central fue conocer los efectos sobre la productividad de la descentralización administrativa, el establecimiento de un regulador autónomo y el permiso de cortar el servicio.

En esta ocasión se utilizó un mecanismo de programación lineal no paramétrico que no requiere la especificación de una forma funcional *ex-ante*: El análisis por envoltura de datos. Se debe considerar, sin embargo, que este método carece de un término de error, por lo que es más sensible a la omisión de características específicas de las firmas. Se usaron tres tipos de productos: suministro de agua, tratamiento primario y tratamiento secundario de aguas residuales. Esto a fin de no comparar las firmas pequeñas con las grandes y las firmas que solo suministran agua con las que hacen tratamientos más intensivos a las aguas residuales. Los datos utilizados provienen del mismo cuestionario que Ozuna y Gómez (1998). Pero esta vez fueron 110 organismos operadores de agua potable del mismo año 1995 excluyendo zonas rurales. En esta ocasión fueron siete los insumos considerados: Personal, electricidad, materiales, químicos, servicios externos, otros costos y costos específicos al tratamiento de agua. Se corrió un análisis por envoltura de datos de donde 34 firmas son completamente eficientes y se calcularon los excedentes en el uso de insumos. Estos excedentes se volvieron a utilizar para una segunda etapa: Primero mediante regresión de la ineficiencia como función de variables dummy para administración municipal, regulado externamente y con permiso de cortar servicio; agua no contabilizada; densidad de población y tasa de usuarios no domésticos. Después se usó el método de Brockett-Golany (1996).

Del primer método se extrae que el agua no contabilizada tuvo un efecto negativo y estadísticamente significativo, igual que usuarios no domésticos que afectó de manera positiva. El resto de las variables no fueron estadísticamente significativas. De aquí se destaca que las dummy concernientes a las reformas aplicadas no tuvieron significancia estadística. El método Brockett-Golany consiste en correr dos DEA separados, el primero para los de administración municipal y el segundo para los de administración estatal. Después se hace una prueba de hipótesis para ver si tienen distribución diferente, la cual no fue rechazada, al igual que la de auto-regulados contra regulados por un externo. Este segundo trabajo tampoco abordó el tema de las economías a escala, pero se llega a algunas conclusiones de interés. En primer lugar, la descentralización del estado a municipios no ha llevado a un incremento en la eficiencia de los organismos operadores. Esto se podría explicar por la ausencia de economías de escala o por la presencia de retornos constantes a escala que no provocarían un cambio en la eficiencia del suministro

de agua potable. También se concluyó que es necesario reducir las asimetrías de la información. No se pueden aplicar mecanismos de regulación precisos sin información de calidad. Y finalmente recomiendan el uso del análisis por envoltura de datos para más detalle en el análisis del caso mexicano. Estas consideraciones se toman en cuenta para la presente investigación.

El tema de las economías a escala en México permanece, entonces, sin ser analizado a profundidad. Ha habido un avance importante en el tema de las economías a escala en el suministro de agua potable. También se puede concluir que las condiciones regulatorias, geográficas y las características de los consumidores influyen en la existencia y forma de economías a escala. Con tantas variables y particularidades influyendo en la productividad de los suministradores de agua, se puede concluir que los resultados no son del todo generalizables y cada país requiere su análisis propio.

La Tabla 2.1 muestra los artículos referenciados de acuerdo con las diferencias en métodos y datos empleados, en ella se observa que solo ha habido un estudio que usa la función de producción y aquellos que usan funciones de costo mediante regresiones son predominantes. En el caso del análisis por envoltura de datos, hay 4 artículos que usan datos de costos contra 2 que usan datos de producción. Para el caso mexicano hay uno que calcula la función de costos y otro que calcula un DEA con datos de costos. Esta tesis pretende llenar una brecha en la literatura, pues de todos los trabajos, el enfoque preponderante es la función de costos mientras que en este trabajo se caracterizará la función de producción. Además, en el análisis por envoltura de datos también se ha dado preferencia a los datos de costos y en esta investigación se hará un análisis por envoltura de datos para la producción. También se debe notar el poco trabajo que se ha hecho sobre México.

Tabla 2.1 Métodos y datos usados en la literatura

Método	Datos usados	Autor(es) - País(es)
Regresión	Costos	Antoniolli y Filippini (2001) — Italia, Ashton (2000) — Inglaterra y Gales, Bhattacharyya et al., (1994) — Estados Unidos, Fabbri y Fraquelli (2000) Italia, Filippini, Hrovatin y Zorić (2007) — Eslovenia, Ford y Warford (1969) — Inglaterra y Gales, García y Thomas (2001) — Francia, Kim y Clark (1988) — Estados Unidos, Kim y Lee (1998) — Corea del Sur, Kuwahara (1998) — Japón, Martins, Fortunato y Coelho (2006) — Portugal, Mizutani y Urakami (2001) — Japón, Nauges y van den Berg (2008) — Brasil, Colombia, Moldavia y Vietnam, Ozuna y Gómez (1998) — México, Renzetti (1998) — Canadá, Revollo y Londoño (2010) — Colombia, Saal y Parker (2000) — Inglaterra y Gales, Shih et al., (2004) — Estados Unidos, Takada y Shigeno (1998) — Japón y Tynan y Kingdom (2005) — 33 Países.
	Producción	Fox y Hofler (1985) — Estados Unidos
Análisis por Envoltura de Datos	Costos	Al-Assa'd, T., & Sauer, J. (2010) — Jordán, Carvalho, P., & Marques, R. C. (2011) — Portugal, Romano y Guerrini (2011) — Italia, Anwandter y Ozuna (2002) — México
	Producción	Picazo, Saez y González (2011) — España, Renzetti y Dupont (2009) — Canadá

Fuente: Elaboración propia

3. Marco teórico y metodológico

3.1 Economías a escala¹

Las economías a escala se refieren al efecto que tiene en la producción un incremento en el uso de todos los insumos. Formalmente, consideremos una función de producción como la de la Ecuación 3.1 donde y es la cantidad producida y k y l son dos insumos (Pudieran ser, por ejemplo maquinaria y mano de obra respectivamente). Si se incrementa el uso de todos los factores de producción en una misma constante positiva t , donde $t > 1$, los rendimientos a escala se clasifican como muestra la Tabla 3.1.

$$(3.1) \quad y = f(k, l)$$

Tabla 3.1 Tipos de rendimientos a escala

Efecto en la producción	Rendimientos a escala
$f(tk, tl) < tf(k, l)$	Decrecientes
$f(tk, tl) = tf(k, l)$	Constantes
$f(tk, tl) > tf(k, l)$	Crecientes

Fuente: Elaboración propia con datos de Nicholson (2005)

También existe la posibilidad de que un productor enfrente distintos tipos de retornos a escala a diferentes niveles de producción. En estos casos, resulta útil una medida local de los retornos a escala que enfrentan las firmas llamada elasticidad de producción, definido en la Ecuación 3.2, que mide el porcentaje que cambia la producción ante un cambio porcentual en el uso de los insumos.

$$(3.2) \quad \varepsilon_{q,t} = \frac{\partial f(tk, tl)}{\partial t} \times \frac{t}{f(tk, tl)}$$

1 Este capítulo sigue a (Nicholson, 2006)

3.2 Eficiencia de escala²

Conocer la forma de los retornos a escala permite introducir el concepto de eficiencia de escala. Para ello, primero se debe aclarar qué es la eficiencia técnica. Consideremos una industria con tres participantes (A, B y C) donde cada uno produce el mismo bien utilizando un solo insumo. En un plano cartesiano ubiquemos las firmas que participan en la industria. En el eje horizontal se representa la cantidad de insumo usada y en el eje vertical la producción de cada firma. En este ejemplo, la productividad se mide como la cantidad de bien producido por unidad de insumo usada (es decir unidades producidas sobre insumos usados), que en el plano cartesiano representa una línea que nace del origen y que cruza con las coordenadas de la observación. A mayor pendiente de esta recta, mayor productividad.

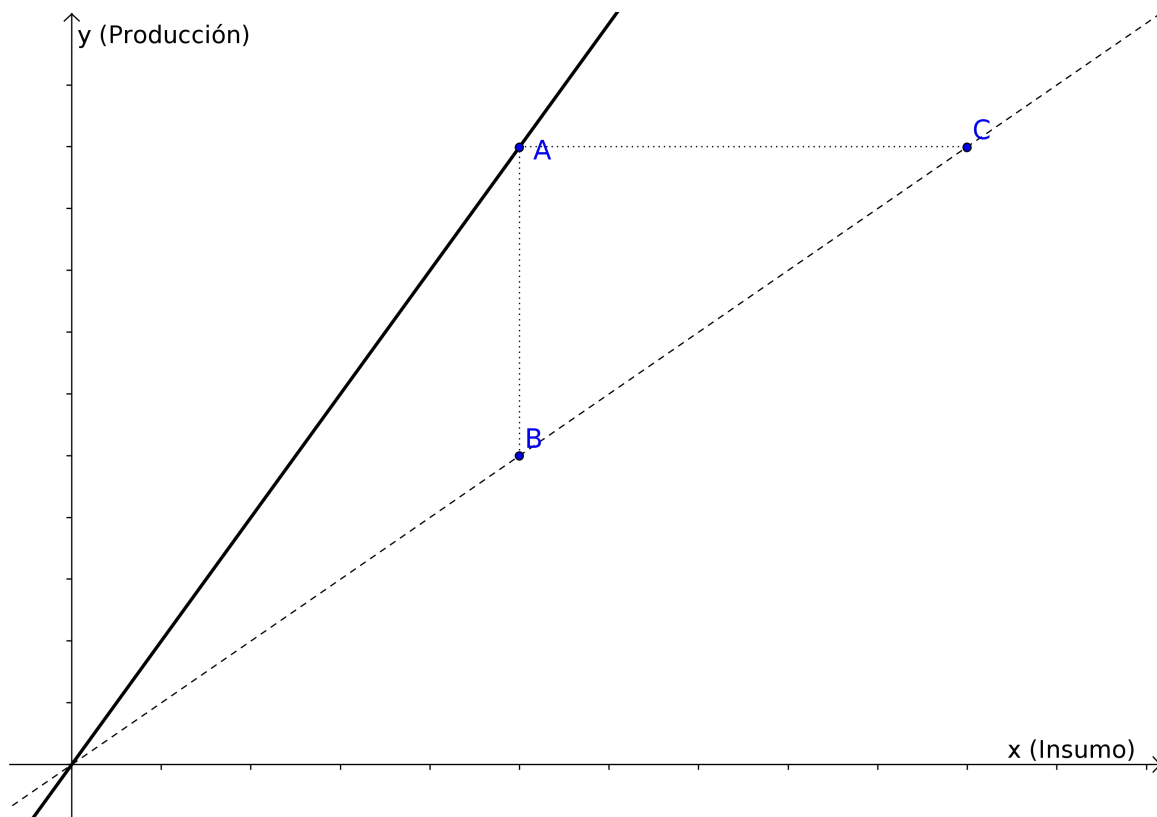
Para su ilustración, véase la Figura 3.1. En ella se ubican las tres firmas, A, B y C, con una tecnología de producción de un solo insumo. Como muestran las líneas que parten del origen y cruzan con las coordenadas de las firmas, A es la de mayor productividad (y por lo tanto la de más eficiencia relativa), mientras que B y C tuvieron la misma productividad entre sí en diferentes niveles de producción que, por ser menor que la de A, se dice que son relativamente ineficientes. A pesar de que B y C tienen la misma productividad, su ineficiencia relativa a la firma A es diferente. La Firma B utilizó la misma cantidad de insumos que la firma A, pero alcanzó menor producción. Contrario a esto, la Firma C tuvo la misma producción que A, pero hizo mayor uso de insumos. Los segmentos punteados de la Figura 3.1 ilustran estas diferencias. El segmento AB es la cantidad de producción que puede aumentar B, manteniendo constantes su uso de insumos, si fuera igual de eficiente que la firma A. El segmento AC es la cantidad de insumos que C dejaría de usar, manteniendo constante su nivel de producción, si fuera igual de eficiente que A.

Empíricamente es imposible determinar cuánto es lo máximo que se puede producir con cierta cantidad de insumo, por lo que la frontera de eficiencia completa es un concepto totalmente teórico. Por ello se usa el concepto de eficiencia relativa para enfatizar que se

2 Este capítulo se basa en (Coelli, 2005)

habla solo en los términos en que la evidencia lo permite. La firma que haya conseguido ser más productiva que las demás se considera la eficiente técnicamente. Así, los datos son fáciles de obtener y los resultados son fáciles de interpretar.

Figura 3.1 Frontera de eficiencia con retornos constantes a escala

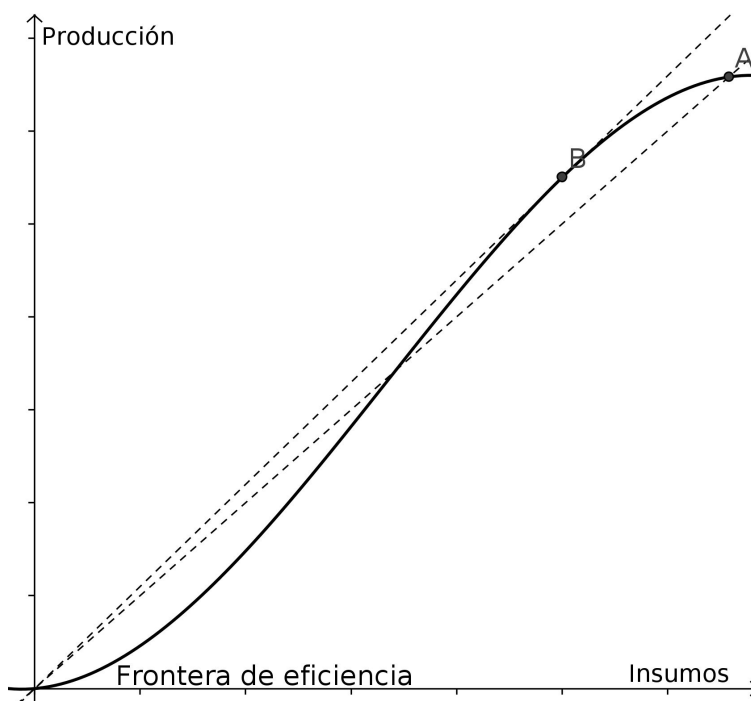


Fuente: Elaboración propia.

A lo largo de todo el ejemplo anterior se tuvo un supuesto implícito: retornos constantes a escala. Es decir, que las firmas pueden mantener constante su productividad por insumo independientemente de su escala de operaciones. En los análisis empíricos, este supuesto resulta bastante limitante porque los insumos presentan, por lo general, Rendimientos Variables a Escala. Más aún, cuando se combinan los distintos Retornos a Escala de todos los insumos empleados. Al tomar en cuenta los Retornos Variables, la frontera de eficiencia deja de ser una línea recta porque no es la misma pendiente en todos los niveles de producción. Las implicaciones prácticas varían de industria a industria. En algunas conviene más ser pequeño en términos de productividad, mientras que en otras industrias ocurre lo contrario: es más productivo ser grande.

La Figura 3.2 presenta un nuevo ejemplo considerando retornos constantes a escala. En una industria con dos participantes, A y B, usan un insumo y producen un mismo bien, se ubican las firmas en el plano cartesiano. En este ejemplo, consideremos que ambas firmas están en la frontera de eficiencia empírica de retornos variables, esto es, que son lo más productivas que pueden ser en base a la evidencia que se tiene. La Firma A tiene más producción y es lo más eficiente que puede ser, pero la Firma B es aún más productiva a pesar de que su nivel de producción es menor. Las rectas que nacen en el origen y cruzan con las coordenadas de las firmas representan sus productividades, entre mayor pendiente más producto por unidad de insumo. En el punto de la frontera donde se alcanza la mayor productividad se conoce como el Punto Óptimo de Escala por ser la que maximiza la eficiencia.

Figura 3.2 Eficiencia de escala con retornos variables a escala



Fuente: Elaboración propia.

Se debe notar que esta productividad no se alcanzó por un mejor uso de los insumos, sino meramente por la escala de producción. Por ello se dice que la Firma B es eficiente en escala y la Firma A es ineficiente en escala, no obstante que es eficiente técnicamente. En este ejemplo, la Firma B tiene la mayor productividad alcanzable considerando la escala y,

por lo tanto, es la escala óptima. La implicación práctica en esta industria es que es más redituable invertir en firmas que produzcan menos que la B hasta alcanzarla. Las empresas que no están en la frontera de eficiencia, pueden mejorar tanto su eficiencia técnica como su eficiencia de escala.

3.3 Métodos empleados

3.3.1 Análisis de Regresión

Para indagar la relación entre el producto y el uso de factores en la industria de agua urbana, en esta tesis haremos un análisis de regresión para caracterizar la estructura de esta tecnología. Se correrán regresiones por mínimos cuadrados ordinarios (MCO) de los datos que se describen más adelante aplicando tres formas funcionales. Cada una de ellas aporta información relevante al tema y cuenta con limitaciones concernientes a las economías a escala que se discutirán en los resultados. La Ecuación 3.3 describe las variables empleadas a lo largo de todo el análisis: y es el Volumen Anual Producido, k es el capital que en este trabajo es el número de tomas de agua potable, l es la mano de obra medida como el número de empleados a lo largo de un año, r el porcentaje de usuarios no domésticos y ε_i es el término de error para la firma i . El porcentaje de usuarios no domésticos se usa para tomar en cuenta las diferencias que tienen los suministradores en cuanto a la composición de los usuarios a quienes dan servicios. Se sabe que los usuarios industriales hacen un uso más intensivo de agua que los usuarios domésticos y por ello se adicionan al análisis.

$$(3.3) \quad y_i = f(k_i, l_i, r_i) + \varepsilon_i$$

Función lineal

La función lineal es aquella en la que la producción resulta de sumar una fracción de cada insumo usado. La definición formal es la Ecuación 3.4. Por construcción, esta función ofrece retornos a escala constantes. Es la más sencilla de las funciones de producción y se corre la regresión para fines comparativos con otras formas funcionales. La función lineal será, por lo tanto, el punto de partida de la presente investigación y servirá para hacer las correspondientes pruebas de hipótesis de la función cuadrática, la cual es una extensión de la función lineal.

$$(3.4) \quad y_i = f(k, l, r) = \alpha + \beta_k k_i + \beta_l l_i + \beta_r r_i + \varepsilon_i$$

Función Cobb-Douglas

La función anterior tiene implícito el supuesto de una relación lineal entre la producción y el uso de insumos. Este supuesto no es necesariamente satisfecho en los estudios empíricos. Por ello, para hacer el análisis más completo, también se incluirá la función exponencial más común: Cobb-Douglas. La función Cobb-Douglas es aquella que considera la producción como la multiplicación de los factores elevados a una potencia formalmente se describe en la Ecuación 3.5. Para su cálculo por Mínimos Cuadrados Ordinarios, se aplicarán logaritmos naturales para que cumpla el supuesto de relación lineal. La Ecuación 3.6 muestra el cálculo a estimar.

$$(3.5) \quad y_i = f(k, l, r) = A k_i^{\beta_k} l_i^{\beta_l} r_i^{\beta_r}$$

$$(3.6) \quad \ln y_i = \ln A + \beta_k \ln k_i + \beta_l \ln l_i + \beta_r \ln r_i + \varepsilon_i$$

La función de la Ecuación 3.5 es ampliamente utilizada por que cumple con la mayoría de los supuestos de la teoría económica, es fácil de capturar y es fácil calcular la elasticidad de producción (véase Ecuación 3.7), aunque no está libre de limitaciones. La función Cobb-Douglas tiene dos supuestos con implicaciones importantes para el presente trabajo. El primero de ellos es el supuesto de elasticidad de sustitución unitaria. Esto contrasta con el supuesto de la función lineal de sustitución infinita, pero al mismo tiempo impone la restricción de que la sustitución de insumos sea de uno a uno para mantener constante el nivel producido. El segundo supuesto que tiene implicaciones importantes para nuestro estudio es el de homoteticidad, que implica que la senda de expansión de las empresas es constante. Ambos supuestos permiten retornos constantes a escala, pero afectan el cálculo de la elasticidad de la producción aun cuando haya un alto nivel de ajuste. Esto será abordado en la discusión de los resultados. Aún a pesar de los posibles problemas que pudieran dar los dos supuestos, se debe recordar que la función Cobb-Douglas es de las más utilizadas por ser exponencial.

$$(3.7) \quad \beta_k + \beta_l = \varepsilon_{q,t}$$

Función cuadrática

La función cuadrática considera la producción como función de los insumos tomando en cuenta los rendimientos decrecientes de cada insumo. La Ecuación 3.8 representa la función algebraica descrita. Esta forma funcional es una extensión de la función Lineal que agrega seis términos. Tres de ellos son el cuadrado de los insumos, los cuales se agregan para relajar el supuesto de retornos constantes a escala y los otros términos consideran que existe algo de sustituibilidad y complementariedad entre los insumos. Esta función será de utilidad si los seis parámetros adicionales son estadísticamente significativos, porque capturan los retornos constantes a escala y aportan información adicional sobre las características tecnológicas del suministro de agua potable urbana. Por ello se hará una prueba Wald para ver si esta especificación es estadísticamente mejor que la función lineal.

$$(3.8) \quad y_i = f(k, l, r) = \alpha + \beta_k k_i + \beta_l l_i + \beta_r r_i + \frac{\beta_{kk}}{2} k^2 + \frac{\beta_{ll}}{2} l^2 + \frac{\beta_{rr}}{2} r^2 + \beta_{kl} kl + \beta_{kr} kr + \beta_{lr} lr + \varepsilon_i$$

División de la muestra

Como el énfasis central de la presente investigación es el efecto que tiene la escala de producción sobre la eficiencia, se hará un análisis usando cuatro submuestras dependiendo de la escala de producción de cada Organismo Operador. En primer lugar, se tomarán aquellos cuyo volumen de agua producido por año sea menor a 750,000 m³, igualmente se tomarán aquellos que producen entre 750,000 y 1'500,000 m³ al año, y adicionalmente aquellos que producen más de 1'500,000 m³. Una cuarta submuestra donde se consideran todos los Organismos de la muestra pero sin considerar a los de Monterrey, Guadalajara y D.F. Estas submuestras se emplean buscando comparar los OOAP que tengan un tamaño similar entre sí y después comparar los resultados con aquellos de otro tamaño y con la muestra completa. Lo que se espera encontrar al separar en cuatro submuestras es confirmar aquello encontrado con la muestra completa.

3.3.2 Análisis por envoltura de datos³

El análisis por envoltura de datos, también llamado DEA por sus siglas en inglés (*Data Envelopment Analysis*), es un método de programación lineal no paramétrico que se caracteriza por ser flexible en sus supuestos. El DEA considera que las Unidades Tomadoras de Decisiones (DMU por sus siglas en inglés: *Decision Making Units*) buscan producir lo máximo posible usando los mínimos insumos posibles, pero sin imponer un comportamiento ni una función de producción. También toma en cuenta que no todas las DMU son técnicamente eficientes, a diferencia de los análisis por regresión. El DEA mide el uso relativo de insumos de las unidades tomadoras de decisiones comparado con las más eficientes, en lugar de medir tendencias centrales, lo que relaja el supuesto de que todas las firmas son completamente eficientes usado en las regresiones. Otra ventaja del DEA es que mide la *eficiencia relativa* en vez del concepto teórico de *eficiencia completa*. La diferencia radica en que la segunda asume que todas las empresas son lo más eficientes que pueden ser, mientras que la primera solo considera lo que muestra la evidencia disponible.

Además, el DEA tiene diferentes especificaciones que permiten indagar sobre la naturaleza empírica de los Retornos a Escala. Esencialmente hay tres modelos: retornos constantes a escala, retornos constantes a escala y Retornos No Crecientes a Escala. Cuando se combinan las conclusiones de los tres modelos se pueden identificar las firmas que son eficientes técnicamente. También se puede conocer qué firmas tienen rendimientos crecientes a escala y cuáles rendimientos decrecientes a escala, así como el punto óptimo de escala.

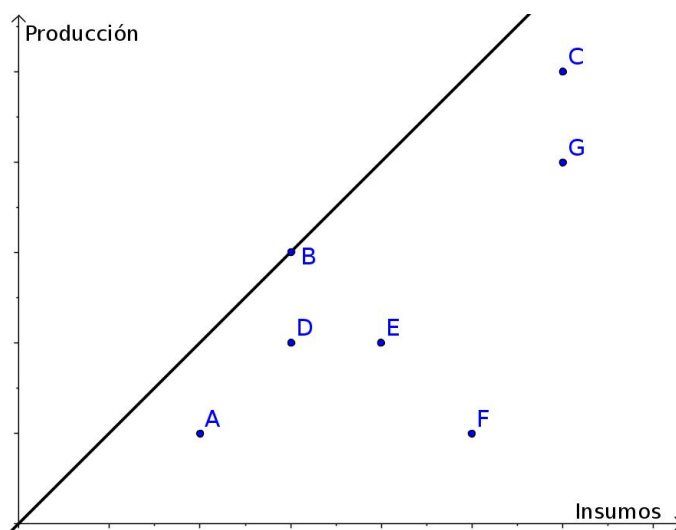
El modelo de retornos constantes a escala

El primero de estos modelos, considera retornos constantes a escala. Y es muy similar a lo descrito en el apartado de la eficiencia de escala. Bajo este modelo, se considera eficiente técnicamente a aquella firma que alcanza una mayor producción por unidad de insumo. Al imponerse la Restricción de retornos constantes a escala, la frontera de eficiencia empírica toma la forma de una recta que nace en el origen y se intersecta con

3 El presente capítulo está basado en Coelli (2005)

las coordenadas de la(s) firma(s) con más productividad. Tomando nuevamente el ejemplo de una industria con un producto y un insumo. Las firmas analizadas están en la Figura 3.3, donde cada punto representa una observación. La Firma C es la que alcanza mayor producción y la Firma B mayor productividad. Si existen retornos constantes a escala, significa que independientemente del tamaño de las firmas existe una misma proporción insumo-producto alcanzable. Por ello, en este modelo, la frontera de eficiencia empírica de retornos constantes a escala es la línea que parte del origen y cruza con las coordenadas de la Firma B. En este ejemplo, solo la Firma B es técnicamente eficiente.

Figura 3.3 Frontera de eficiencia considerando Retornos Constantes a Escala.

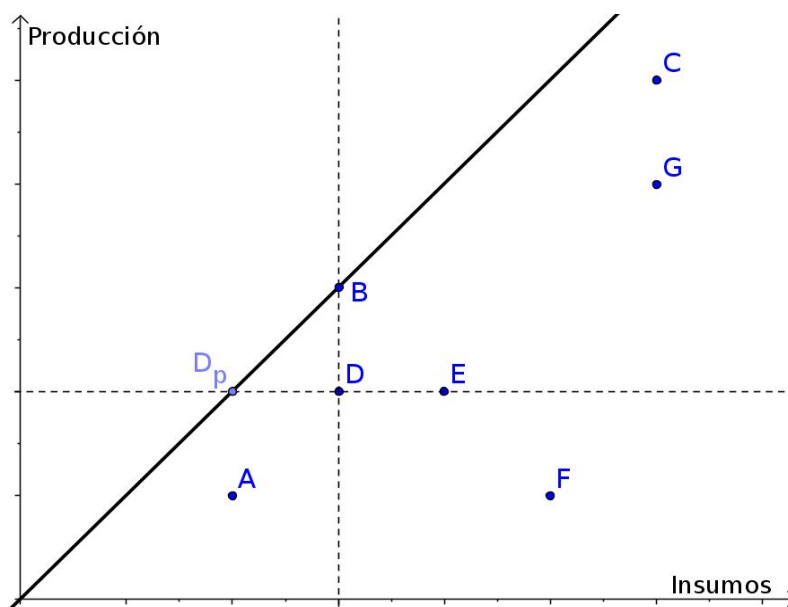


Fuente: Elaboración propia.

El análisis por envoltura de datos ofrece dos enfoques distintos con relación a la frontera de eficiencia: orientado a insumos u orientado a productos. Ambos se ilustran en la Figura 3.4. El enfoque orientado a insumos mide cuánto redujo cada firma, en vista de la evidencia disponible, su uso de insumos. Así, se considera que las firmas tienen una cantidad de producción fija y lo único que varía son los insumos utilizados. En la Figura 3.4, la Firma B es la que alcanzó su nivel de producción dado, reduciendo lo más posible su uso de insumos, es decir la de mayor productividad y por lo tanto la recta que interseca con B es la frontera de eficiencia empírica. En este enfoque todas las firmas buscarían moverse hacia la izquierda hasta llegar a un punto ubicado en la frontera de eficiencia, a este punto se le conoce como punto proyectado. Si tomamos el ejemplo de la

Firma D, que no está en la frontera de eficiencia, su punto proyectado bajo el enfoque orientado a insumos es D_p . La distancia que existe entre esos dos puntos es el exceso de insumos de la firma D (también llamado *input slack*), es decir la cantidad de insumos que usó en exceso debido a ineficiencias y que puede reducir manteniendo constante su nivel de producción si fuera más eficiente.

Figura 3.4 Comparación entre enfoques orientado a insumos y orientado a productos.



Fuente: Elaboración propia.

En el segundo enfoque, el orientado a productos, considera que las firmas tienen un uso de insumos que no puede variar. Y por lo tanto, el objetivo de las firmas es maximizar la producción dada una dotación inicial de insumos constante. En este ejemplo, la firma B sigue determinando la frontera de producción, pero la interpretación es diferente: la Firma B fue la que maximizó su nivel de producción dado un nivel de insumos. Ahora, el resto de las firmas tienen por objetivo moverse hacia la frontera de eficiencia desplazándose verticalmente, en vez de horizontalmente. Retomando el ejemplo de la Firma D, su punto proyectado es la Firma B porque tiene el mismo nivel de insumos pero ubicado en la frontera de eficiencia. La distancia entre los puntos B y D es la cantidad de producto que puede incrementar la firma D haciéndose más eficiente.

Matemáticamente, se consideran N insumos, M productos con I firmas. Para la i -ésima firma, los vectores columna \mathbf{x}_i y \mathbf{q}_i representan el vector de insumos y el vector de productos respectivamente. Las matrices \mathbf{X} y \mathbf{Q} contienen los insumos y productos de todas las firmas. Los valores óptimos se podrían obtener al resolver el problema matemático:

$$\begin{aligned}
 & \text{Max}_{u,v} \left(\frac{u' \mathbf{q}_i}{v' \mathbf{x}_i} \right) \\
 & \text{s.t.} \\
 & \frac{u' \mathbf{q}_j}{v' \mathbf{x}_j} \geq 1, \quad j=1,2,\dots,I \\
 (3.9) \quad & u, v \geq 0
 \end{aligned}$$

Donde las restricciones normalizan la distribución. Este problema tiene un número infinito de soluciones, dado que si (u^*, v^*) es óptimo, también $(\alpha u^*, \alpha v^*)$ lo es para todo $\alpha > 0$. Para solucionarlo se impone la restricción $v' \mathbf{x} = 1$ (Ecuación 3.10)

$$\begin{aligned}
 & \text{Max}_{\mu,v} (\mu' \mathbf{q}_i) \\
 & \text{s.t.} \\
 & v' \mathbf{x}_i = 1 \\
 & \mu' \mathbf{q}_j - v' \mathbf{x}_j \leq 0, \quad j=1,2,\dots,I \\
 (3.10) \quad & \mu, v \geq 0
 \end{aligned}$$

Por dualidad, se calcula también de la siguiente manera:

$$\begin{aligned}
 & \text{Min}_{\theta,\lambda} \theta \\
 & \text{s.t.} \\
 & -\mathbf{q}_i + \mathbf{Q} \lambda \geq 0 \\
 & \theta \mathbf{x}_i - \mathbf{X} \lambda \geq 0 \\
 (3.11) \quad & \lambda \geq 0
 \end{aligned}$$

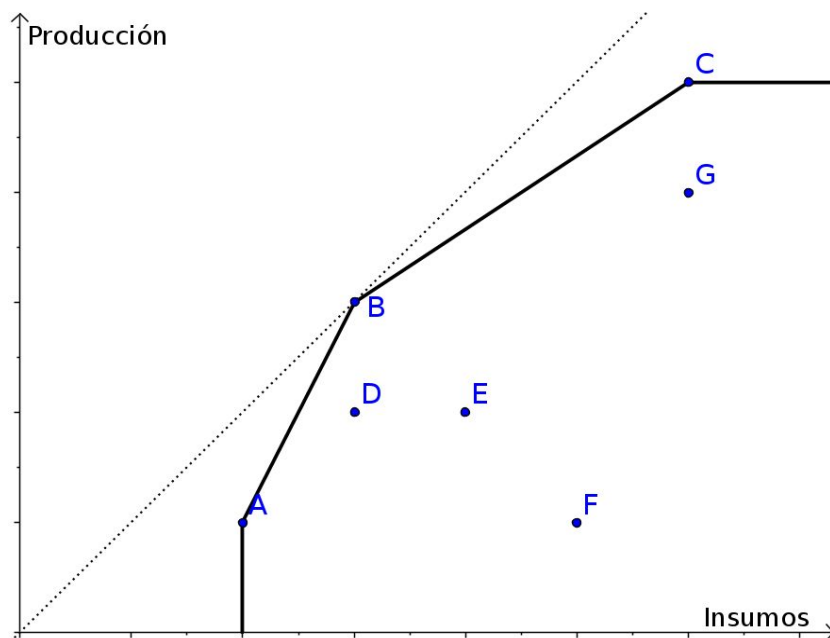
El supuesto esencial es que las DMU buscan reducir radialmente, esto es acercar al origen, lo más posible su vector de insumos \mathbf{x} , permaneciendo en el conjunto de insumos factible. Así, θ representa el porcentaje que cada DMU redujo radialmente sus insumos con respecto a la frontera de eficiencia. Si su valor es de 1, significaría que la firma redujo en 100% su uso de insumos. Por el contrario, si un DMU tiene un θ menor indicaría que

lo redujo en ese porcentaje. Por ejemplo, si una firma tiene un θ de 0.4, significa que redujo en un 40% los insumos con respecto a la frontera de eficiencia empírica, y por lo tanto podría reducir hasta en un 60% adicional para llegar al 100%.

El modelo con retornos variables a escala

Para un modelo que relaje el supuesto de retornos constantes a escala se deja de considerar la frontera de eficiencia como la recta de mayor productividad alcanzada por las firmas, ahora la frontera de eficiencia es la envolvente convexa de las observaciones. Dicho de otra manera, la frontera nace en donde está la observación más cercana al eje vertical conectando el eje horizontal con esta firma. Después se identifica qué firma es la más productiva con respecto a esta primera empresa y se conecta con una recta. Este proceso se repite hasta haber cubierto todas las observaciones. La Figura 3.5 se elaboró usando las mismas observaciones que en el modelo con retornos constantes a escala. Como la Firma A es la más cercana al eje vertical, entra en la frontera de eficiencia. Después se busca qué firma es la más productiva con respecto a la Firma A, que en este ejemplo es la Firma B. Finalmente, la Firma C es la más productiva con respecto a la B, es decir, la de mayor pendiente después de la B y por lo tanto también forma parte de la frontera eficiente. Como ya no hay firmas más eficientes con respecto a C, la frontera de eficiencia se considera horizontal a partir de ahí.

Figura 3.5 Envolvente Convexa de las observaciones

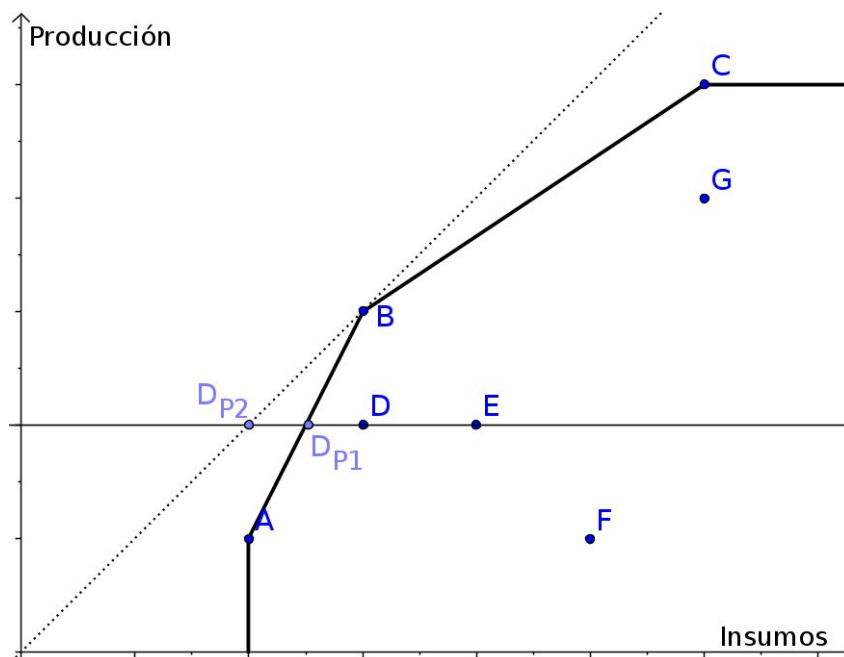


Fuente: Elaboración propia

En este nuevo modelo también está el enfoque orientado a insumos y el enfoque orientado a productos. Si consideramos el enfoque orientado a insumos, la Firma A está en la frontera de eficiencia porque dado su nivel de producción (y por lo tanto su escala), fue la que redujo más los insumos por unidad producida. Lo mismo ocurre con la Firma B y la Firma C. Nótese que la Firma D es la que redujo más sus insumos dado su nivel de producción, pero no está en la frontera de eficiencia por el supuesto de convexidad de la frontera de eficiencia. Es decir, la Firma B fue la más productiva con respecto a A y por lo tanto la frontera intersecta con la firma B y no con la D.

Otro contraste entre los modelos de Retornos Constantes y Retornos Variables se ilustra en la Figura 3.6. Si nuevamente tomamos el enfoque orientado a insumos y la Firma D, notaremos que la distancia a la frontera de eficiencia empírica es menor en el modelo de Retornos Variables que en el de Retornos Constantes. El punto proyectado D_{P2} está más allá de la frontera de eficiencia. Se supone que este nivel de productividad es inalcanzable para la Firma D porque su escala de operaciones no se lo permite. Si la Firma D se desplazara hasta D_{P1} sería más eficiente, pero no lo más eficiente que se puede ser en base a la evidencia disponible. Por ello se dice que la Firma D_{P1} es ineficiente en escala.

Figura 3.6 Comparación entre los modelos con retornos constantes y con variables



Fuente: Elaboración Propia

Para incluir en el análisis matemático los retornos constantes a escala, se debe añadir una restricción a la programación lineal que considera Retornos Constantes. La programación lineal de 3.12 muestra el modelo con la nueva restricción. La restricción de convexidad $I1' \lambda = 1$ asegura que el punto proyectado en la frontera sea una combinación lineal de las firmas observadas. De tal forma que se compara a firmas de tamaño relativamente similar, asegurando así retornos variables a escala. Igual que en el modelo de Retornos Constantes θ es el porcentaje de insumos reducidos radialmente con respecto a la frontera de eficiencia. No obstante, un $\theta = 1$ no implica que la firma sea 100% eficiente, porque no considera la eficiencia de escala.

$$\begin{aligned}
 & \text{Min}_{\theta, \lambda} \theta \\
 & \text{s.t.} \\
 & -q_i + Q \lambda \geq 0 \\
 & \theta x_i - X \lambda \geq 0 \\
 & I1' \lambda = 1 \\
 & \lambda \geq 0
 \end{aligned}
 \tag{3.12}$$

El valor de θ en los dos modelos puede ser diferente. Cuando esto ocurre se debe a la escala. La eficiencia técnica del modelo de retornos constantes se puede descomponer en

eficiencia técnica por retornos variables y eficiencia de escala como se ve en la Ecuación 3.13. Donde TE_{CRS} es la eficiencia técnica bajo el modelo de retornos constantes a escala TE_{VRS} es la eficiencia técnica bajo retornos variables a escala y SE es la eficiencia de escala. Es decir que una firma que es 100% eficiente en el modelo de retornos constantes a escala, pero en el modelo de retornos constantes a escala es eficiente en un 90%, es porque su escala de operaciones es ineficiente en un 10%.

$$(3.13) TE_{CRS} = TE_{VRS} * SE$$

Despejando SE de la Ecuación 3.13, tenemos que la eficiencia de escala se puede medir mediante la Ecuación 3.14. Para ello es necesario el cálculo de los modelos de Retornos Constantes y Retornos Variables. Cuando una firma tiene una Eficiencia de Escala de 100% se ubica en la frontera de eficiencia de ambos modelos y, por lo tanto, es la escala óptima de operaciones. Las demás firmas se pueden beneficiar en su productividad tanto si acercan su escala a este punto, como si mejoraran su eficiencia técnica. Sin embargo se debe notar que la eficiencia de escala puede deberse tanto a Retornos Crecientes como a Retornos Decrecientes. Una DMU cuya escala es mayor a la eficiente tendría que reducirla, mientras que una con menor escala tendría que aumentarla, y la Eficiencia de Escala no es suficiente para conocer qué dirección se debe tomar.

$$(3.14) SE = \frac{TE_{CRS}}{TE_{VRS}}$$

Teniendo, entonces, la eficiencia de escala de cada DMU, se puede indagar sobre la naturaleza de sus rendimientos. Esto es, saber si son rendimientos crecientes o rendimientos decrecientes. Para ello se corre un tercer modelo que puede ser visto como una combinación de los anteriores. Añadiendo la restricción $\sum \lambda = 1$, que asegura que se comparen las firmas solo con aquellas que son más grandes (Ecuación 3.15). Así se consideran Rendimientos No Crecientes a escala. Este modelo considera Retornos Constantes solo hasta el punto óptimo de escala y, a partir de ahí, considera retornos variables a escala. Esto aporta aún más información, pues si $TE_{NIRS} \neq TE_{VRS}$, donde TE_{NIRS} es la eficiencia técnica bajo el modelo de Rendimientos No Crecientes a escala, entonces la firma enfrenta Rendimientos Crecientes a escala, es decir, su escala es mayor

a la óptima. En tanto que si son iguales, existen rendimientos decrecientes a escala. Además, esta información extra permitirá conocer la escala óptima observada.

$$\begin{aligned}
 & \text{Min}_{\theta, \lambda} \theta \\
 & \text{s. t.} \\
 & -q_i + Q\lambda \geq 0 \\
 & \theta x_i - X\lambda \geq 0 \\
 & I1' \lambda \leq 1 \\
 & \lambda \geq 0
 \end{aligned}
 \tag{3.15}$$

3.3.3 Análisis regional

La CONAGUA dividió el territorio de la república mexicana en 13 regiones llamadas «Regiones Hidrológico-Administrativas», las cuales cuentan con un Comité de Cuenca encargado de la planeación y la ejecución del programa hídrico de cada región. La Tabla 3.2 presenta las trece Regiones Hidrológico-Administrativas, el nombre de cada Organismo de Cuenca y el número de municipios que comprende que se describen en el mapa de la Figura 3.7. Como cada Región Hidrológico-Administrativa tiene su propio reglamento y programa hídrico, podría existir un efecto regional en la productividad de cada organismo operador.

Tabla 3.2 Regiones Hidrológico-Administrativas

#	Organismo de Cuenca	Municipios
1	Península de Baja California	11
2	Noreste	78
3	Pacífico Norte	51
4	Balsas	420
5	Pacífico Sur	378
6	Río Bravo	144

7	Cuencas Centrales del Norte	78
8	Lerma-Santiago-Pacífico	332
9	Golfo Norte	148
10	Golfo Centro	432
11	Frontera sur	137
12	Península de Yucatán	126
13	Aguas del Valle de México	121

Fuente: Elaboración propia con datos de CONAGUA (2007)

Figura 3.7 Regiones Hidrológico-Administrativas (1 a 13) y Entidades Federativas



Fuente: Elaborado con datos de CONAGUA (2007)

Para llevar a cabo el análisis regional se tomarán los Organismos Operadores de Agua Potable de la muestra por Región Hidrológico-Administrativa. Se compararán los distintos volúmenes de agua producidos y su dispersión dentro de cada Región y entre todas las Regiones. De aquí, se podría esperar observar un patrón en los volúmenes producidos por cada Región Hidrológico-Administrativa. Después de conocer el comportamiento del volumen de agua, se hará un análisis similar de la productividad media de la mano de obra. Este análisis permitirá conocer si existen regiones que son más productivas que otras y la evidencia podría sugerir qué factores regionales son los que mejoran o empeoran la efectividad de los Organismos Operadores de Agua Potable. En primer lugar se comparará la distribución de la productividad media dentro de cada Región, y después se comparará entre todas las regiones.

4. Descripción de la base de datos y análisis preliminar

4.1 Descripción de la base de datos

Los datos provienen de los anexos del reporte «Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento» emitido por la CONAGUA en su edición 2011. De aquí se toma una muestra de 596 Organismos Operadores de Agua Potable cuyos datos están completos para el análisis. De esta base de datos se extrajeron las cuatro variables que se usan para la función de producción descritas en el marco teórico y metodológico.

4.2 Estadísticos descriptivos

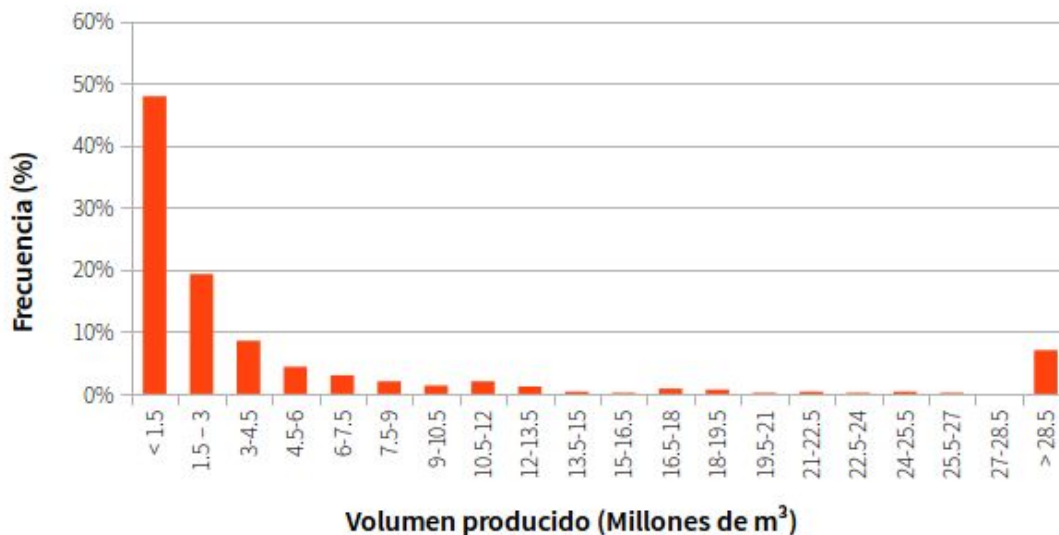
Los estadísticos descriptivos de cada variable nos muestran la dispersión y heterogeneidad que presentan los Organismos Operadores de Agua Potable de la muestra. Como se puede ver en la Tabla 4.1, es notorio que la producción anual de agua es muy variable. A pesar de que el más pequeño de los OOAP produce poco más de 63 mil m³ de agua al año, la desviación estándar es de más de 9 millones que es 142 veces mayor. Además el mayor de ellos alcanza una producción de más de 1,000 millones de m³. La Figura 4.1 muestra cómo existe mucha diferencia en los tamaños de los suministradores de agua, donde existe una clara predominancia de los organismos pequeños. Esta importante variación de tamaños es de interés porque podría tener efectos en la eficiencia técnica y la productividad media de la mano de obra.

Tabla 4.1. Estadísticos descriptivos de las variables

	Volumen anual producido (M ³)	Tomas de agua potable	Número de empleados	Usuarios no domésticos (%)
Mínimo	63,072	396	1	0%
Promedio	9'678,879	25,928	117	6.28%
Máximo	1,001'299,536	2'001,194	10,600	50.51%
Desviación Estándar	47'697,095	113,735	529	7.05%

Fuente: Elaboración propia con datos de Conagua (2011)

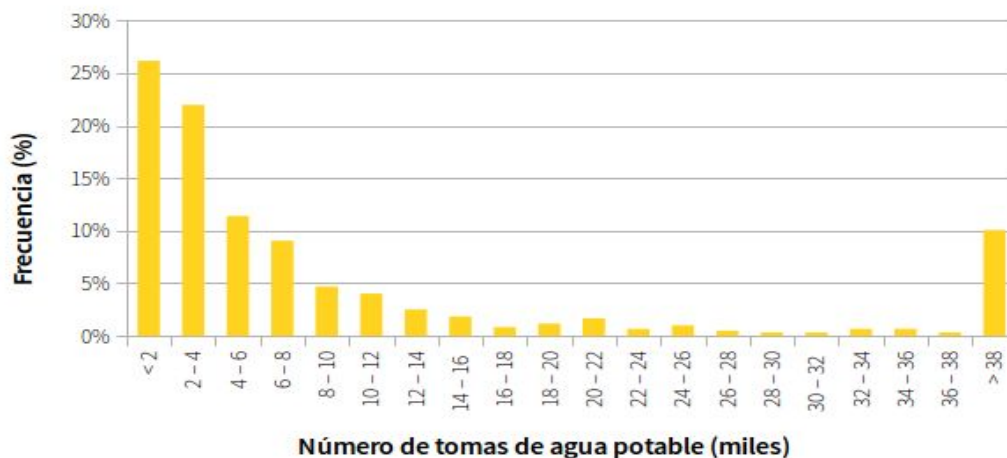
Figura 4.1 Histograma de frecuencias del Volumen Anual Producido



Fuente: Elaboración propia con datos de Conagua (2011)

El número de tomas también presenta mucha diversidad en su distribución. El menor de los organismos operadores de agua potable da servicio a 396 tomas, mientras que el mayor abastece a más de 2 millones. En promedio, cada organismo atiende 25,928 conexiones al sistema, pero como es visible en la Figura 4.2, uno de cada cuatro atiende menos de 2,000, y más de la mitad atiende al menos 6,000. También se destaca que más del 10% tiene más de 38,000 tomas.

Figura 4.2 Histograma de frecuencias del Número de Tomas de Agua Potable



Fuente: Elaboración propia con datos de CONAGUA (2011)

El número de empleados es igual de disperso que las dos variables anteriores. El menor de ellos usó 1 empleado y el mayor ocupó a 10,600 personas. El promedio es de 117, pero como se observa en la Figura 4.3 más de la mitad de los suministradores de agua emplearon 20 empleados o menos. Esto apoya la idea de la abundancia de organismos pequeños. También muestra cómo la media se ve influenciada por los valores extremos superiores.

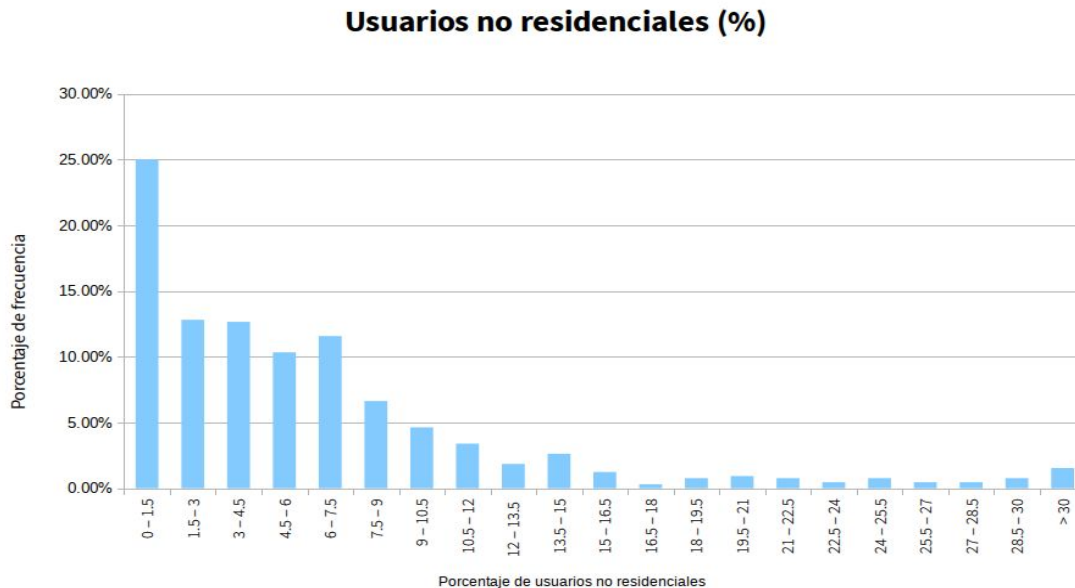
Figura 4.3 Histograma de frecuencias de los empleados



Fuente: Elaboración propia con datos de CONAGUA (2011)

Para el caso de los usuarios no domésticos, en la Figura 4.4, se percibe que los organismos operadores de agua potable de la república mexicana atienden principalmente a usuarios domésticos. De la muestra, solo el 25% atiende de 0 a 1.5% de usuarios no domésticos, y en promedio atienden a 6.28%.

Figura 4.4 Histograma de frecuencias del porcentaje de usuarios no domésticos



Fuente: Elaboración propia con datos de CONAGUA (2011)

4.3 Análisis de correlación y regresión simple

Las variables por sí solas han aportado información relevante a la investigación. Sin embargo, la relación entre las variables es la que nos permitirá hacer una caracterización de la tecnología de provisión de agua potable urbana en México. La Figura 4.5 muestra la matriz de correlación, en la que se reporta cuánto varían en la misma dirección las variables una con la otra. En ella, se observa que el Volumen Anual Producido está altamente correlacionado tanto con la mano de obra como con el número de tomas de agua potable, a diferencia del porcentaje de usuarios no domésticos que tiene una correlación de menos del 5%. El número de tomas de agua potable también está altamente correlacionado con el número de empleados, y su correlación con el porcentaje de usuarios no domésticos es mayor al 5%, patrón que comparte con la mano de obra.

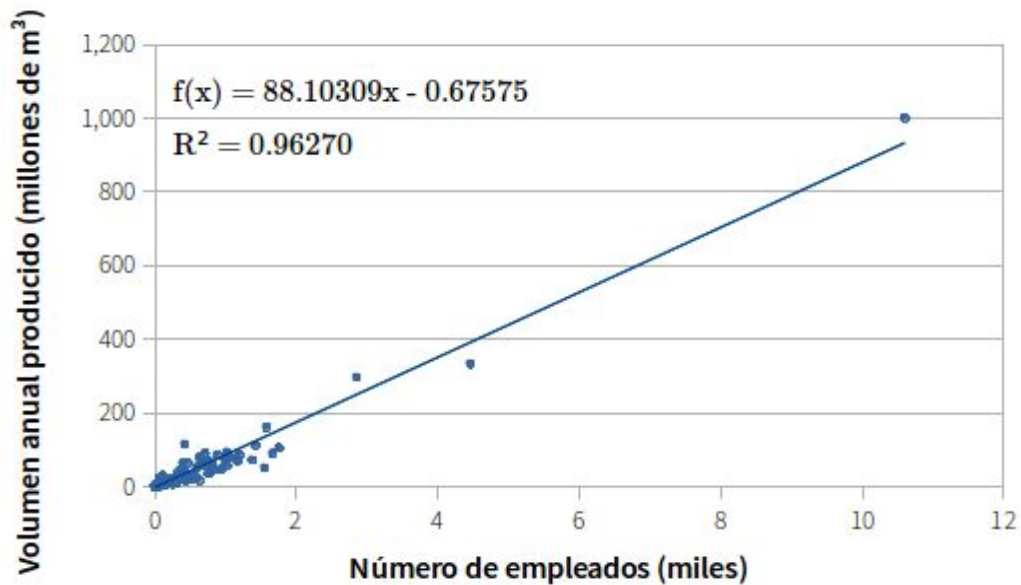
Figura 4.5 Matriz de correlación de Volumen anual producido, Número de tomas de agua potable, mano de obra y porcentaje de usuarios no domésticos.

$$\begin{bmatrix} q & k & l & u \\ 1 & 0.9632 & 0.9811 & 0.04878 \\ .9632 & 1 & .9637 & 0.05741 \\ .9811 & .9637 & 1 & 0.0558 \\ 0.04878 & 0.05741 & 0.0558 & 1 \end{bmatrix}$$

Fuente: Elaboración propia con datos de Conagua (2011)

La Figura 4.5 es una visualización de la relación lineal que hay entre el volumen anual producido por organismo operador y el número de empleados. La pendiente es positiva y el ajuste es alto. Esto es bastante razonable, puesto que para extraer una unidad adicional de agua es necesario incrementar el número de empleados. La gráfica permite visualizar cómo la mayoría de los organismos operadores de agua potable son de tamaño pequeño y la distancia con los tres operadores más grandes, entre los cuales existe también mucha diferencia.

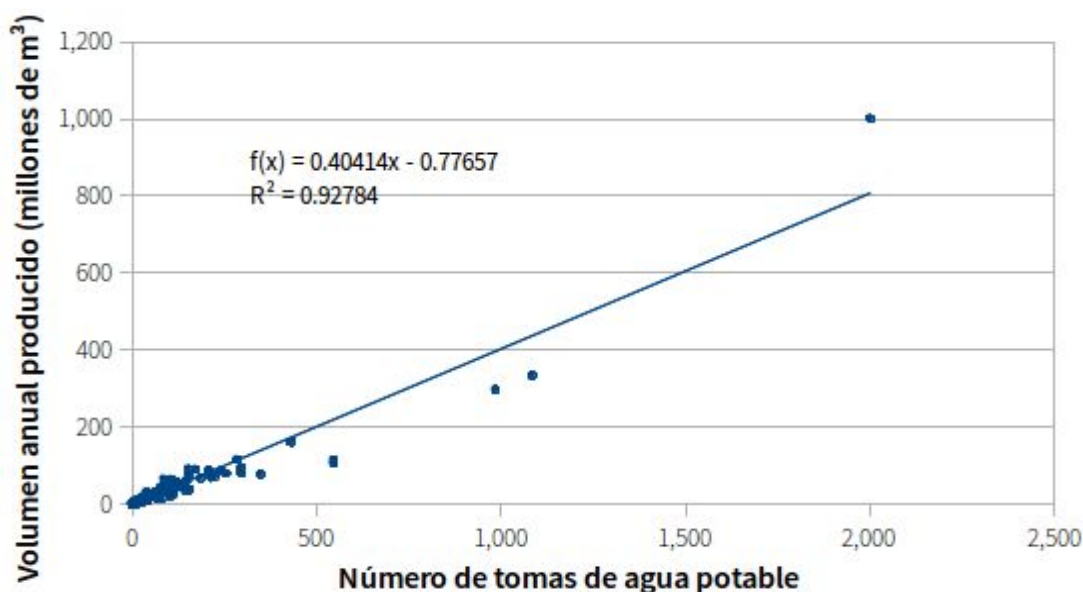
Figura 4.5 Regresión simple de producción contra número de empleados



Fuente: Elaboración propia con datos de Conagua (2011)

La correlación entre el volumen anual producido y el número de tomas también es alto. Aunque no tan alto como el de la regresión anteriormente mencionada, sigue siendo bastante notable. Esta regresión está en la Figura 4.6. Su R^2 de 0.92 indica que volumen y tomas se mueven en forma conjunta. La pendiente es positiva y se confirma el patrón de que predominan los organismos pequeños. A pesar de que los datos se ajustan bien y que la pendiente es positiva, algunos organismos operadores tienen mayor extracción de agua por cada conexión al sistema. Esto podría explicarse en que no todos los usuarios consumen la misma cantidad de agua, por esto se hace también la regresión del volumen producido contra el porcentaje de usuarios no domésticos.

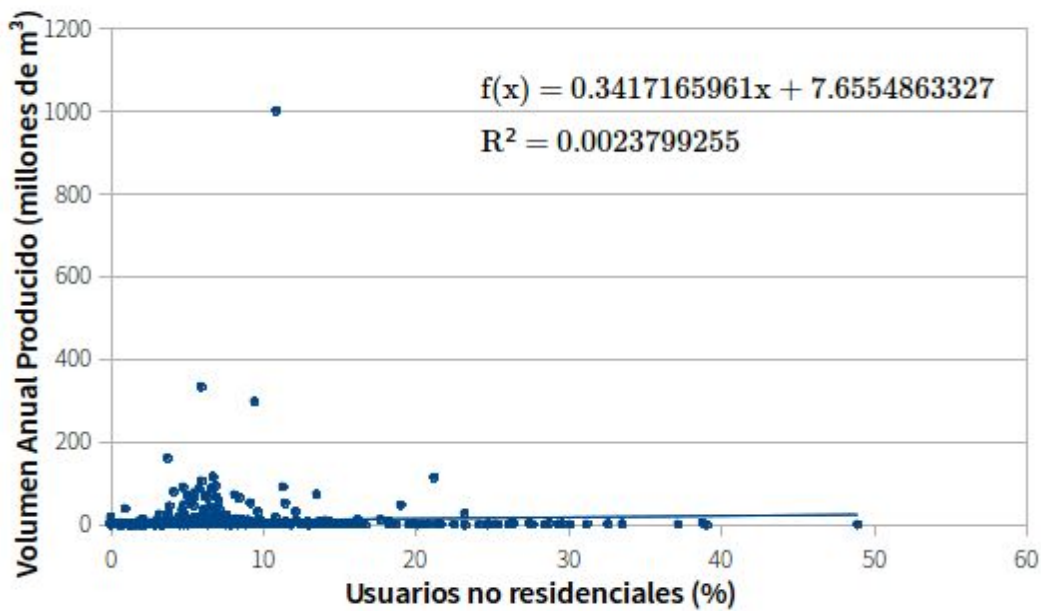
Figura 4.6 Regresión simple de producción contra número de tomas



Fuente: Elaboración propia con datos de CONAGUA (2011)

La Figura 4.7 contiene la regresión simple del volumen anual producido contra el porcentaje de usuarios no domésticos, es decir, los usuarios industriales, comerciales, de servicios entre otros. Lo esperado es que aquellas ciudades con más usuarios no domésticos, tengan un mayor consumo de agua, y por lo tanto la pendiente debería ser positiva. Al correr la regresión, la pendiente resultante es positiva pero no hay buen ajuste ($R^2=0.002$). En la Figura 4.7 se observa que existe mucha dispersión en la extracción de agua aun controlando para la estructura de los tipos de usuarios.

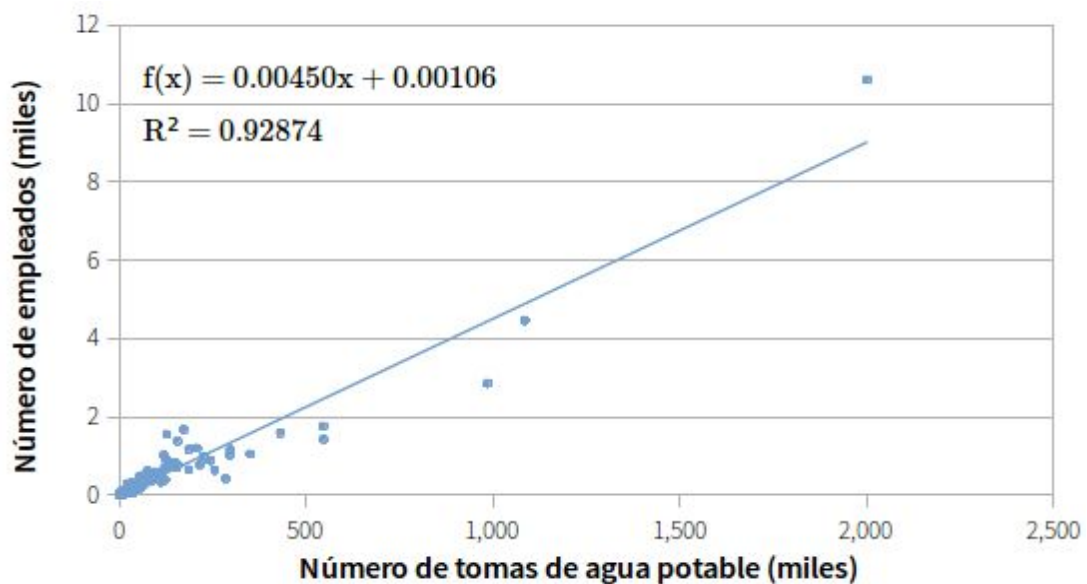
Figura 4.7 Regresión simple de la producción y el porcentaje de usuarios no domésticos



Fuente: Elaboración propia con datos de CONAGUA (2011)

No ocurre lo mismo al comparar el número de tomas de agua potable contra el número de empleados, ya que obtenemos un resultado bastante ajustado. Su R^2 de 0.92 revela la alta correlación entre estas dos variables. El signo positivo de la pendiente, que se observa en la Figura 4.8, indica que a mayor número de tomas se requiere un mayor número de empleados, lo cual es intuitivo, pero muestra que la proporción no es fija. Algunos hacen más uso de la mano de obra para la extracción. A raíz de este análisis de correlación simple, se hizo notorio que la alta correlación entre el número de tomas y el número de empleados podría derivar en multicolinealidad. Esto podría ser visto como un problema, sin embargo en la sección correspondiente se argumentará al respecto y se propondrá una posible solución. La relación entre el número de empleados y el número de tomas es fuerte, lo que se muestra algo de complementariedad en el uso de insumos y será tomado en cuenta en el análisis por regresiones.

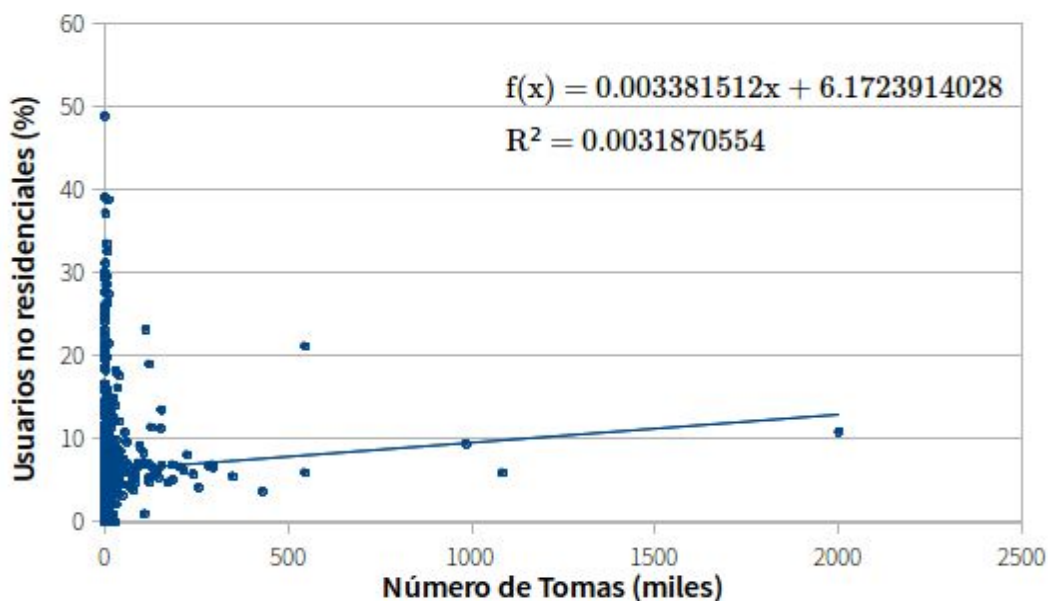
Figura 4.8 Regresión simple del número de empleados y el número de tomas de agua potable



Fuente: Elaboración propia con datos de CONAGUA (2011)

El número de tomas de agua potable en una localidad, no guarda mucha correlación con el porcentaje de usuarios no domésticos (Figura 4.9). La pendiente es positiva, sin embargo la R^2 de 0.0032 indica que no existe mucho ajuste. La relación positiva es, hasta cierto punto, explicada por el hecho de que una comunidad con más conexiones al sistema es una localidad de muchos habitantes y, en consecuencia, hay más empresas en el lugar. No obstante, la relación no es tan directa. Algunos suministradores de agua atienden pocas conexiones al sistema pero tienen casi el 50% de usuarios no domésticos y entre más conexiones hay, es menos probable que la proporción sea mayormente de usuarios no domésticos.

Figura 4.9 Regresión simple de número de tomas y porcentaje de usuarios no domésticos



Fuente: Elaboración propia con datos de CONAGUA (2011)

4.4 Análisis por submuestra

Como se mostró en la Figura 4.1, aproximadamente el 50% de los OOAP producían menos de 1.5 millones de m^3 al año. Esto se tomó como referencia para dividir la muestra en dos: los que producen menos de 1.5 millones y los que producen más de 1.5 millones. Al analizar desde este enfoque, se dedujo que la variabilidad de las submuestras seguía siendo alta, por lo que la primera se dividió en dos: los que producen menos de 750 mil

m³ y los que producen entre 750 mil y 1.5 millones. Se agregó una cuarta submuestra en la que se consideran todos los OOAP excepto los de las tres zonas metropolitanas más grandes: Guadalajara, Monterrey y Distrito Federal.

Primera submuestra: menos de 750,000 m³

Esta primera submuestra se compone de los 153 organismos. Representan poco más del 25% de la muestra total y producen entre 63 mil y 747 mil metros cúbicos al año. Sus estadísticos descriptivos se reportan en la Tabla 4.2. Entre estos 153 organismos operadores de agua potable existe una gran dispersión no solo en la producción, sino también en porcentaje de usuarios no domésticos y tomas de agua potable.

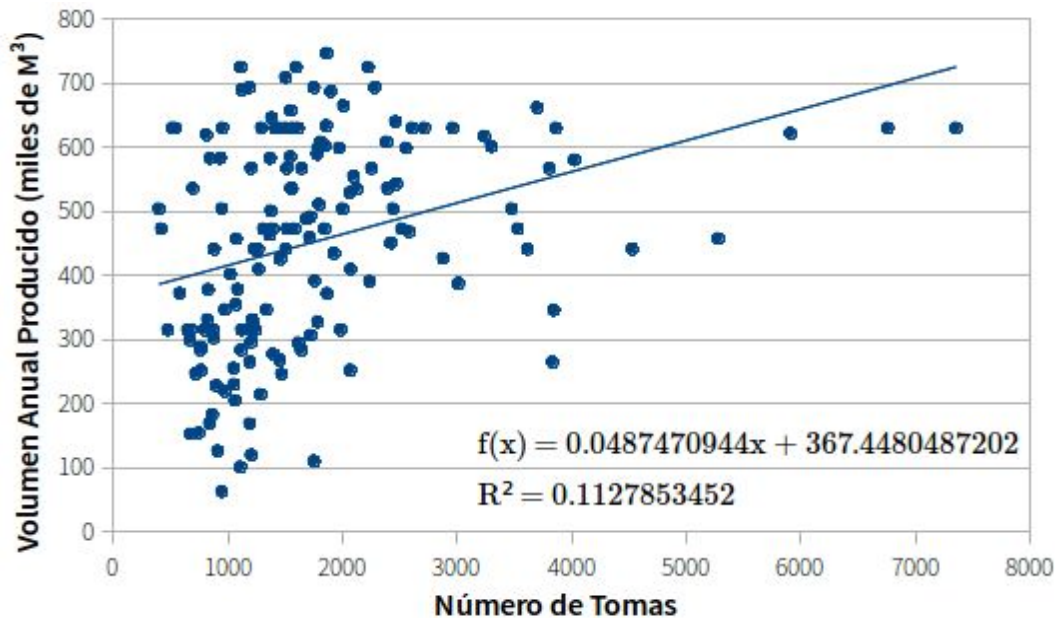
Tabla 4.2 Estadísticas descriptivas de la primera submuestra

	Tomas de agua potable	Número de empleados	Volumen anual producido (miles de M ³)	Usuarios no domésticos (%)
Mínimo	396	1	63	0%
Promedio	1,761	7.75	453	5.42%
Máximo	7,357	38	747	48.91%
Desviación Estándar	1,127	6.84	163	8.12%

Fuente: Elaboración propia con datos de CONAGUA (2011)

Como se aprecia en la Figura 4.10, es más clara la dispersión que existe entre el volumen anual producido y el número de conexiones al sistema. Se observa, por ejemplo, que hay organismos que extraen poco más de 600 millones de m³, pero atienden entre 500 y 7,500 tomas. Asimismo, hay organismos que atienden poco menos de mil tomas, pero su nivel de extracción va desde los 100 millones de m³ hasta 650 millones de m³. La R² de la regresión es chica y la pendiente es positiva.

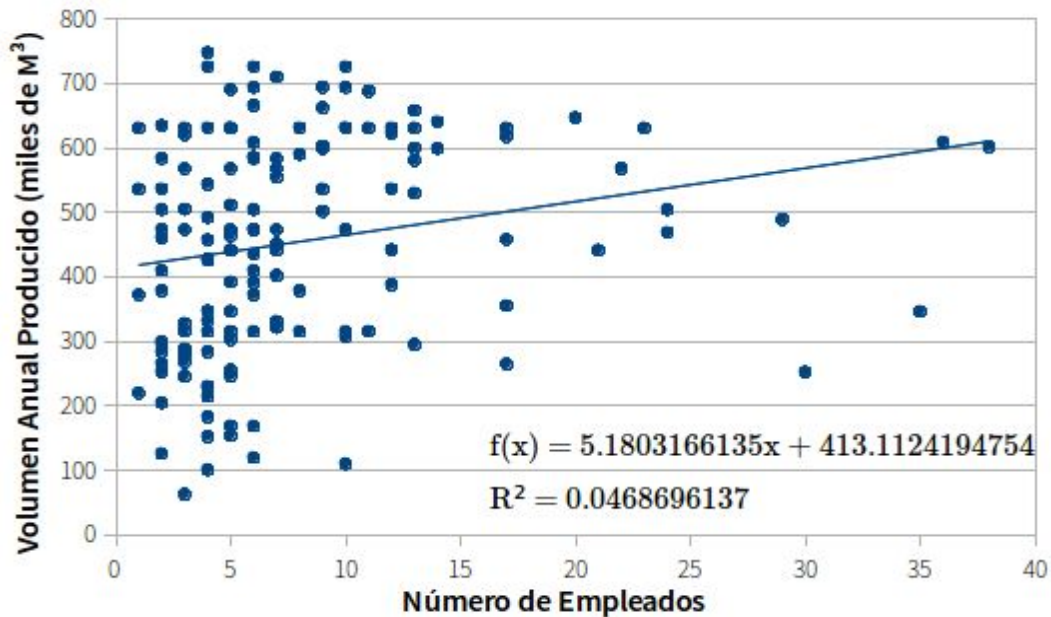
Figura 4.10 Regresión simple del volumen anual producido y el número de tomas de agua potable en suministradores que extraen menos de 750,000 m³ al año



Fuente: Elaboración propia con datos de CONAGUA (2011)

La relación entre el volumen anual producido y el número de empleados también es muy dispersa cuando se considera la primera submuestra (Figura 4.11). Destaca que la mayoría de los organismos operadores de agua potable dentro de esta submuestra usan menos de 20 empleados para proveer de sus servicios, aun cuando el volumen de extracción de agua sea grande o pequeño. La pendiente es positiva, igual que el caso de la totalidad de la muestra, pero existe muy poco ajuste.

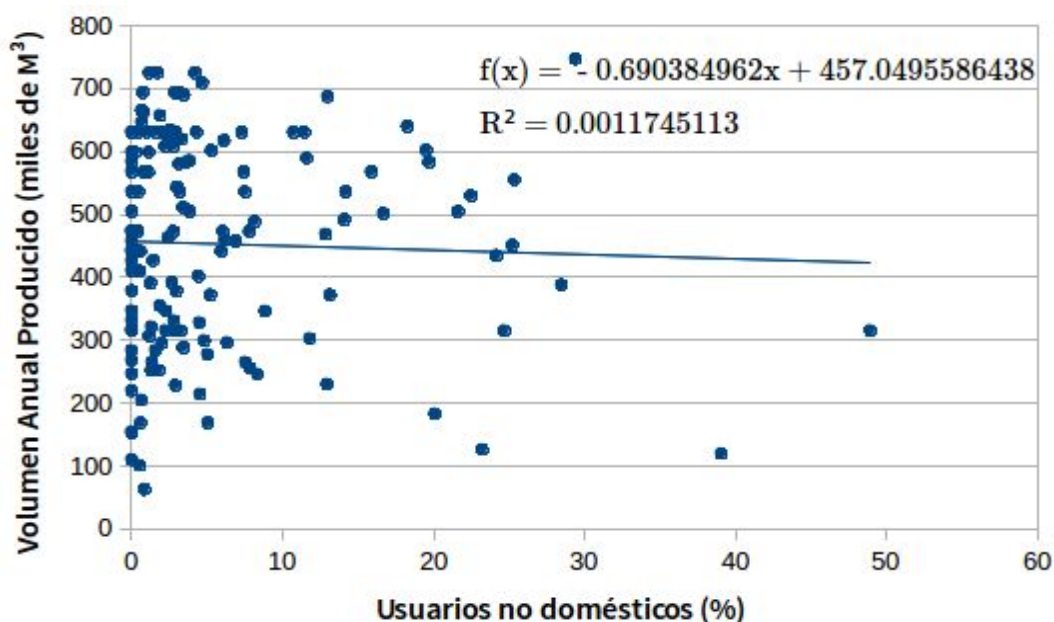
Figura 4.11 Regresión simple del volumen anual producido y el número de empleados en suministradores que extraen menos de 750,000 m³ al año



Fuente: Elaboración propia con datos de la CONAGUA (2011)

La Figura 4.12 muestra la relación entre el volumen anual producido y el porcentaje de usuarios no domésticos en esta submuestra, cuya dispersión es aún mayor que al considerar la muestra completa y que el ajuste es aún menor. También resalta que hay muchos organismos operadores de agua potable que tienen 0% de usuarios no domésticos. En este caso, la pendiente de la tendencia es negativa, lo que implicaría que entre más usuarios no domésticos se extrae un menor volumen de agua al año. Esto podría ser contraintuitivo, puesto que implicaría que los usuarios domésticos hacen mayor uso de agua que los no domésticos.

Figura 4.12 Regresión simple del volumen de producción y el porcentaje de usuarios no domésticos en suministradores que extraen menos de 750,000 m³ al año.



Fuente: Elaboración propia con datos de CONAGUA (2011)

Segunda submuestra: entre 750,000 m³ y 1'500,000 m³

La segunda submuestra se compone de 133 organismos cuya producción se ubica entre los 750,000 m³ y 1.5 millones de m³. Representan el 22% de la muestra total y producen entre 756 mil y 1.48 millones de metros cúbicos al año. Sus estadísticos descriptivos se reportan en la Tabla 4.3. Al analizar la producción contra el número de tomas en la segunda submuestra, se puede ver que persiste el poco ajuste, aunque mejoró un poco (Figura 4.13). La pendiente sigue siendo positiva, pero ligeramente mayor tanto al de toda

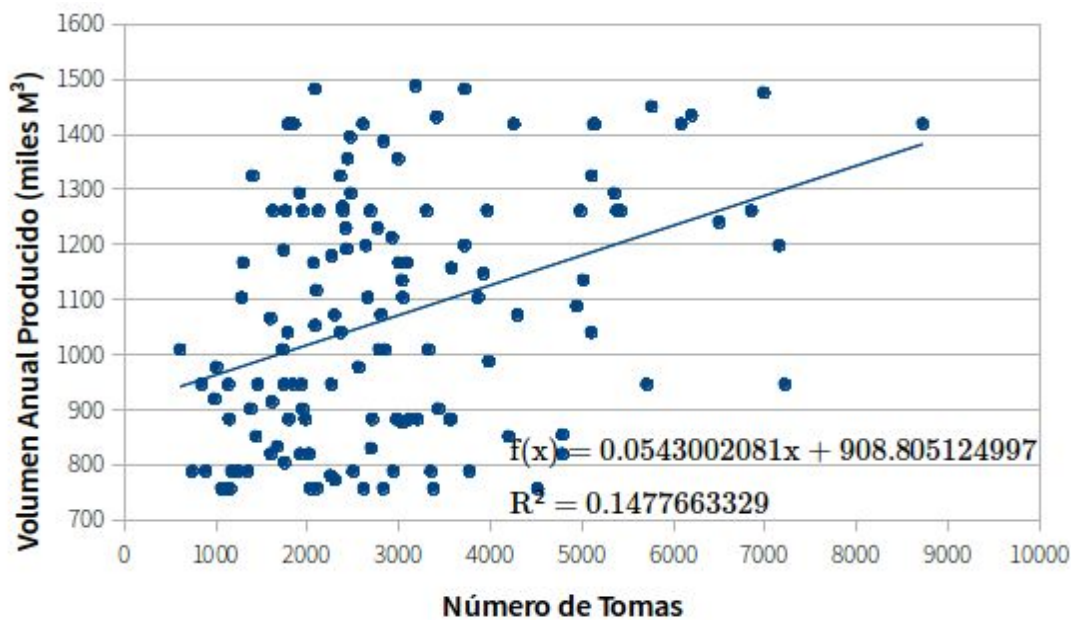
la muestra como al de la primera submuestra. La dispersión de las observaciones sigue siendo alta.

Tabla 4.3 Estadísticas descriptivas de la segunda submuestra

	Tomas de agua potable	Número de empleados	Volumen anual producido (miles de M ³)	Usuarios no domésticos (%)
Mínimo	610	1	756	0
Promedio	2,948	12.17	1,069	6.20%
Máximo	8,724	54	1,488	37.18%
Desviación Estándar	1,583.55	9.4	223	8.03%

Fuente: Elaboración propia con datos de CONAGUA (2011)

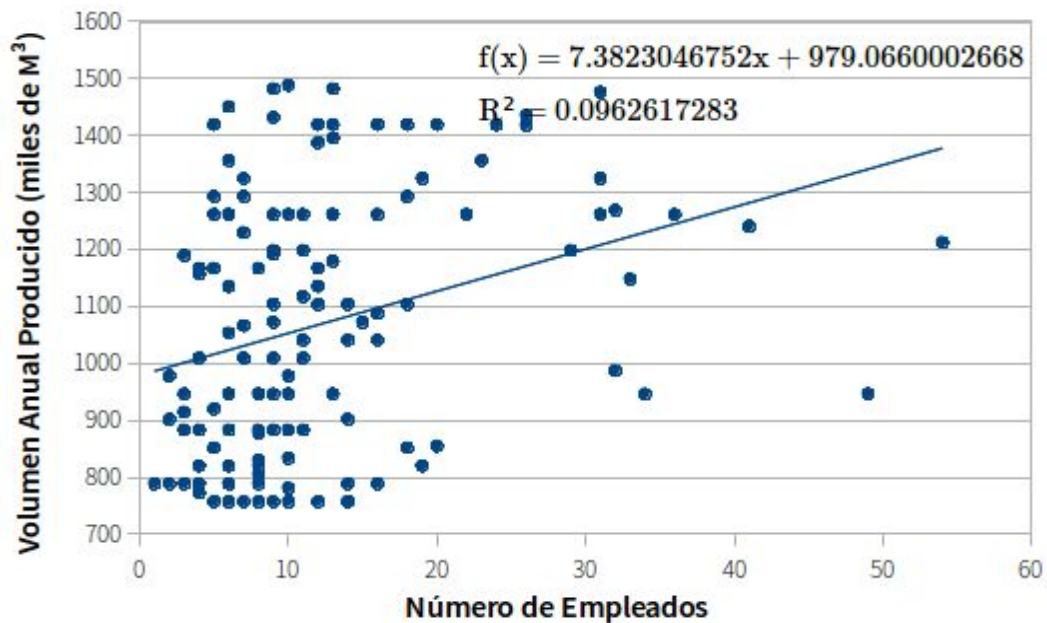
Figura 4.12 Regresión simple de volumen anual producido y número de tomas en suministradores que extraen entre 750,000 m³ y 1'500,000 m³.



Fuente: Elaboración propia con datos de CONAGUA (2011)

La relación entre el volumen anual producido y el número de empleados es similar. Hay una pendiente mayor en la segunda submuestra que en la primera y un ajuste mayor, aunque todavía bajo. Como muestra la Figura 4.13, la dispersión sigue siendo alta y el número de trabajadores sigue siendo menor a 20 en la mayoría de los suministradores de agua independientemente del volumen de extracción anual. No obstante, el ajuste es mejor en esta submuestra que en la anterior.

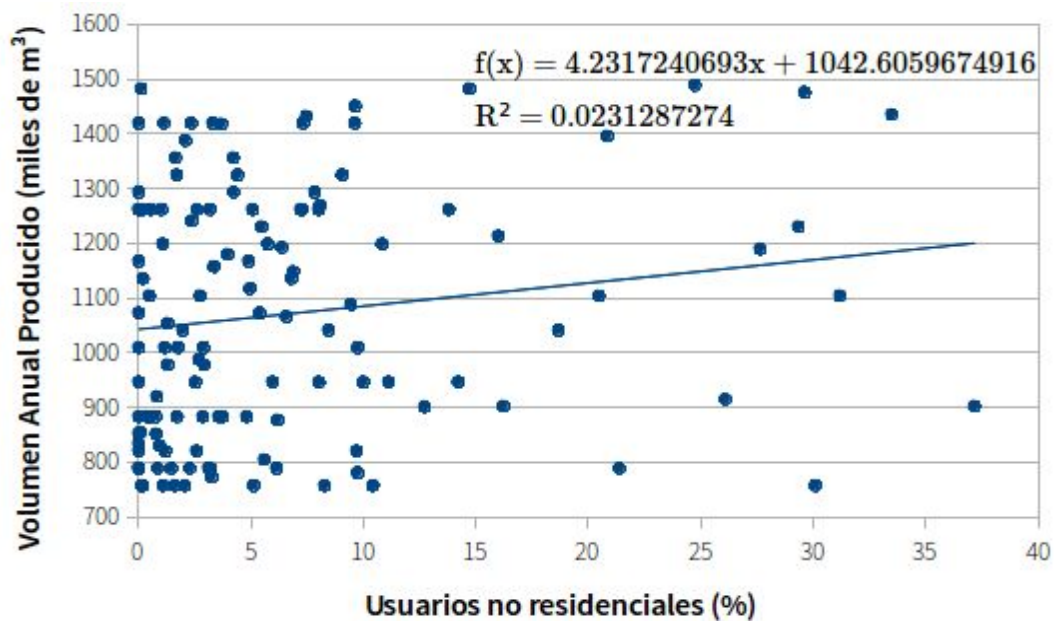
Figura 4.13 Regresión simple del volumen anual producido y el número de empleados en suministradores que extraen entre 750,00 y 1'500,00 m³



Fuente: Elaboración propia con datos de CONAGUA (2011)

Al analizar la relación entre el porcentaje de usuarios no domésticos y la producción, se observa que es menor el número de observaciones que tienen 0% de usuarios no domésticos. Al mismo tiempo, el ajuste mejoró en esta submuestra, aunque sigue siendo muy bajo, lo que sugiere que también hay mucha heterogeneidad en la relación de estas dos variables en los suministradores que extraen entre 750,000 y 1'500,000 m³. El volumen de extracción parece ser independiente del porcentaje de usuarios no domésticos, como se ve en la Figura 4.14.

Figura 4.14 Regresión simple del volumen anual producido y el porcentaje de usuarios no domésticos en suministradores que extraen entre 750,000 m³ y 1'500,000 m³



Fuente: Elaboración propia con datos de CONAGUA (2011)

Tercera submuestra: más de 1'500,000 m³

Esta tercera submuestra incluye los restantes 310 organismos de mayor producción. Representan poco más del 52% de la muestra total, producen más de 1.5 millones de metros cúbicos al año y hasta 1,001 millones de metros cúbicos. Sus estadísticos descriptivos se reportan en la Tabla 4.4. Incluso en esta muestra, hay mucha diferencia de tamaños y de características tecnológicas.

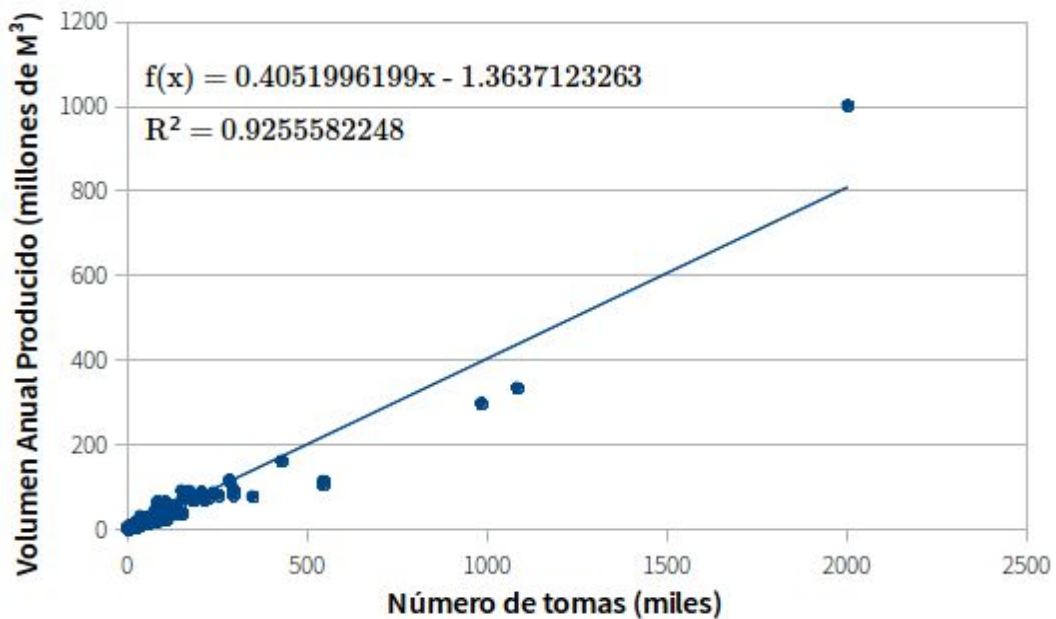
Tabla 4.4 Estadísticas descriptivas de la tercera submuestra

	Tomas de agua potable	Número de empleados	Volumen anual producido (miles de M ³)	Usuarios no domésticos (%)
Mínimo	1,557	4	1,514	0%
Promedio	48,160	219.4	18,150	6.69%
Máximo	2'001,000	10,600	1'001,000	38.77%
Desviación Estándar	154,613	723	65,119	5.36%

Fuente: Elaboración propia con datos de CONAGUA (2011)

Para el caso de esta submuestra de organismos operadores de agua potable que suministran más de 1'500,000 m³ de agua al año, se ve un mejor ajuste en la relación entre el volumen anual producido y el número de tomas de agua potable (Figura 4.14). Consistentemente, el valor del parámetro asociado al número de tomas de agua potable es positivo, pero destaca que es el de mayor valor de las cuatro submuestras, pero no mayor que en la muestra principal. El ajuste también es más alto que en las otras cuatro submuestras.

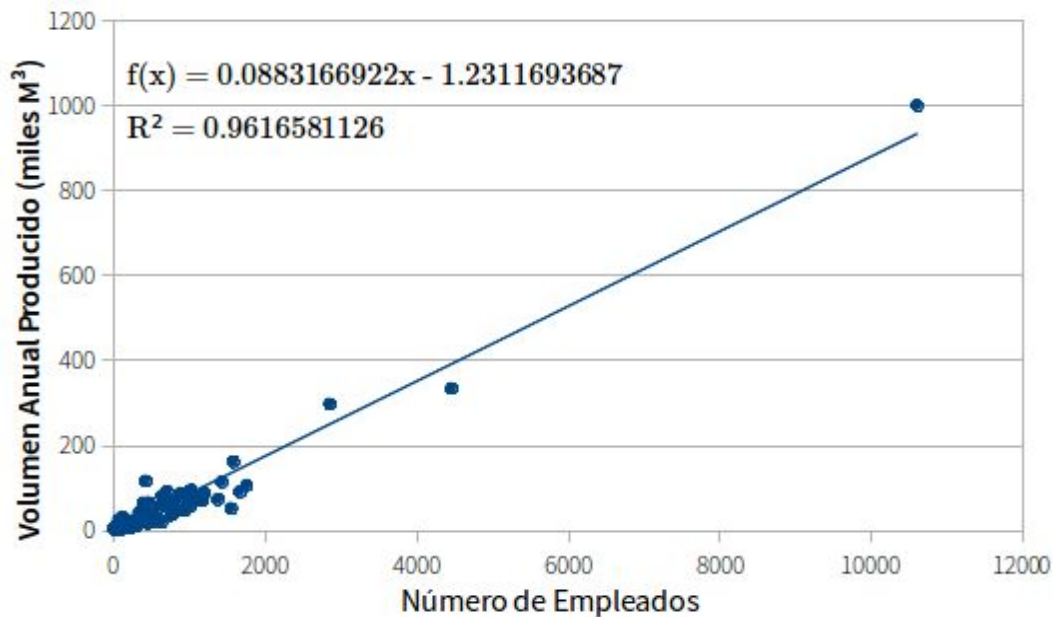
Figura 4.14 Regresión simple del volumen anual producido y el número de tomas de agua potable en los suministradores que extraen más de 1'500,000 m³



Fuente: Elaboración propia con datos de CONAGUA (2011)

Al considerar las variables de volumen anual producido y número de empleados, el parámetro también es de signo positivo, pero su valor es menor al de las demás submuestras y al total de la muestra. Sin embargo, el ajuste es el mayor de las cuatro submuestras y es incluso mayor que al considerar toda la submuestra. Si bien la pendiente es muy pequeña, la relación lineal entre las dos variables es muy ajustada como se observa en la Figura 4.15

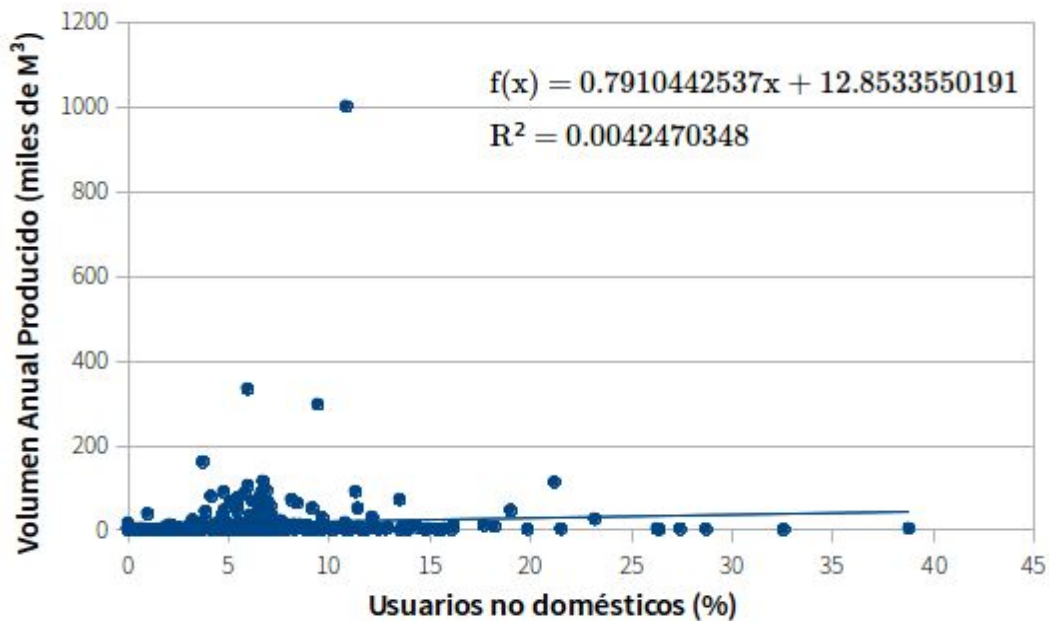
Figura 4.15 Regresión simple del volumen anual producido y el número de empleados en los suministradores de agua que extraen más de 1'500,000 m³



Fuente: Elaboración propia con datos de CONAGA (2011)

Como muestra la Figura 4.16, tampoco hay ajuste en el caso de los usuarios no domésticos y el volumen anual producido. Existe mucha dispersión y no hay una tendencia ajustada. La pendiente es positiva, consistentemente con las demás submuestras, pero el coeficiente de ajuste es de 0.0042, lo que da idea de la poca dependencia en el volumen extraído de agua y la estructura de usuarios por tipo de usuario en aquellos suministradores de agua que extraen más de 1'500,000 m³ que es casi la mitad de la muestra.

Figura 4.16 Regresión simple del volumen anual producido y el porcentaje de usuarios no domésticos en los suministradores de agua que extraen más de 1'500,000 m³



Fuente: Elaboración propia con datos de CONAGUA (2011)

Cuarta submuestra: sin los tres más grandes

La última submuestra considera la muestra sin contar los 3 valores más extremos: Guadalajara, Monterrey y Distrito Federal. Estos 593 organismos representan el 99.5% de la muestra, pero producen el 72.03% del total de la muestra y tienen el 73.88% de las tomas y el 74.71% de los empleados del total de la muestra. Sus estadísticos descriptivos aparecen en la Tabla 4.5 y las regresiones simples en la Figura.

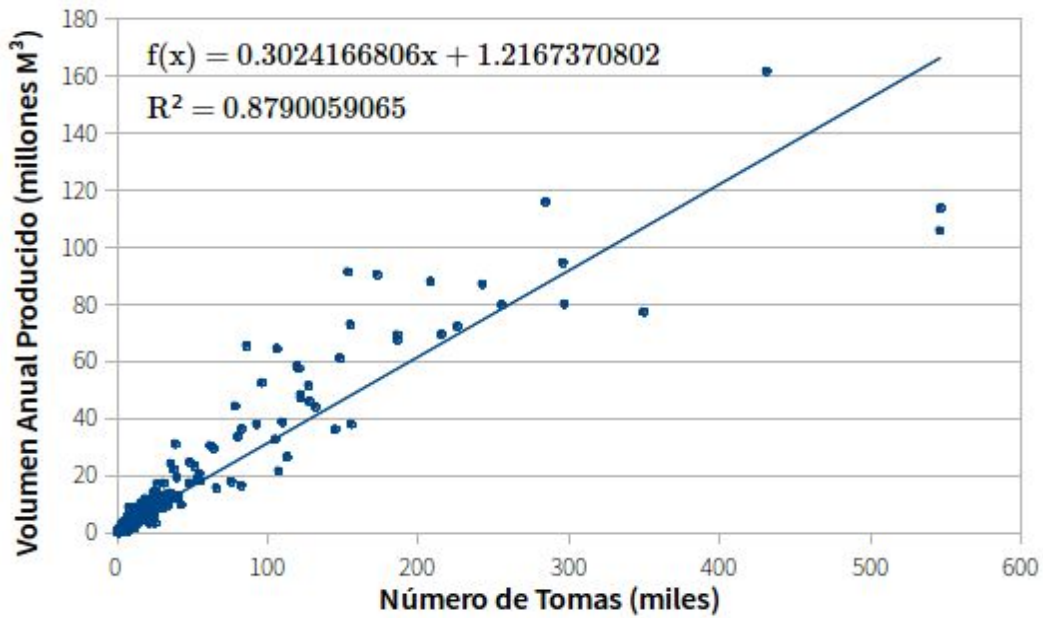
Tabla 4.5 Estadísticas descriptivas de la cuarta submuestra

	Tomas de agua potable	Número de empleados	Volumen anual producido (miles de M ³)	Usuarios no domésticos (%)
Mínimo	396	1	63	0
Promedio	10,780	47	7,091	8
Máximo	546,500	1,756	161,700	48.91
Desviación Estándar	54,085.88	230.43	17,445.92	6.82

Fuente: Elaboración propia con datos de CONAGUA (2011)

La relación entre el número de tomas de agua potable y volumen anual producido cuando se considera toda la muestra, excepto D.F., Monterrey y Guadalajara, es muy ajustada. No obstante, destaca que por solo haber quitado los tres valores extremos, el valor del coeficiente de ajuste disminuyó. De la misma manera, el valor de su parámetro asociado disminuyó considerablemente, pero se debe tener en cuenta que el valor del intercepto también fue menor. La Figura 4.17 muestra esta relación.

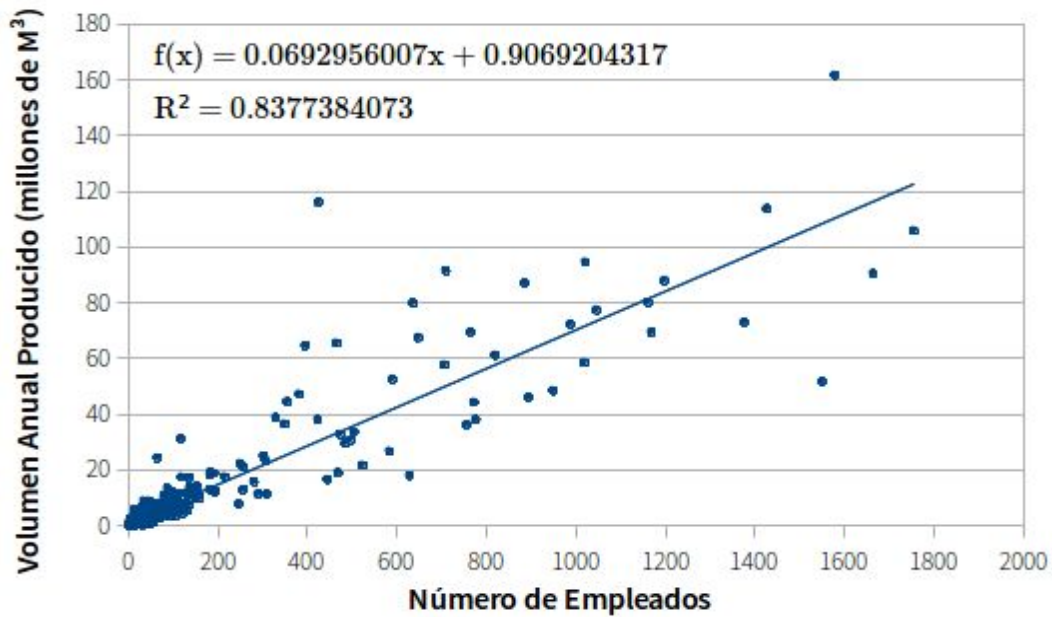
Figura 4.17 Regresión simple del volumen anual producido y el número de tomas de agua potable para todos los suministradores de agua excepto D.F., Monterrey y Guadalajara



Fuente: Elaboración propia con datos de CONAGUA (2011)

El ajuste entre el número de empleados y el volumen extraído también disminuyó con solo quitar los tres valores más grandes, y el valor de la pendiente también es menor. Sin embargo, el valor del intercepto fue mayor y cambió a signo positivo. La Figura 4.18 permite visualizar la dispersión entre los valores dentro de la muestra y la relación que existe entre las variables.

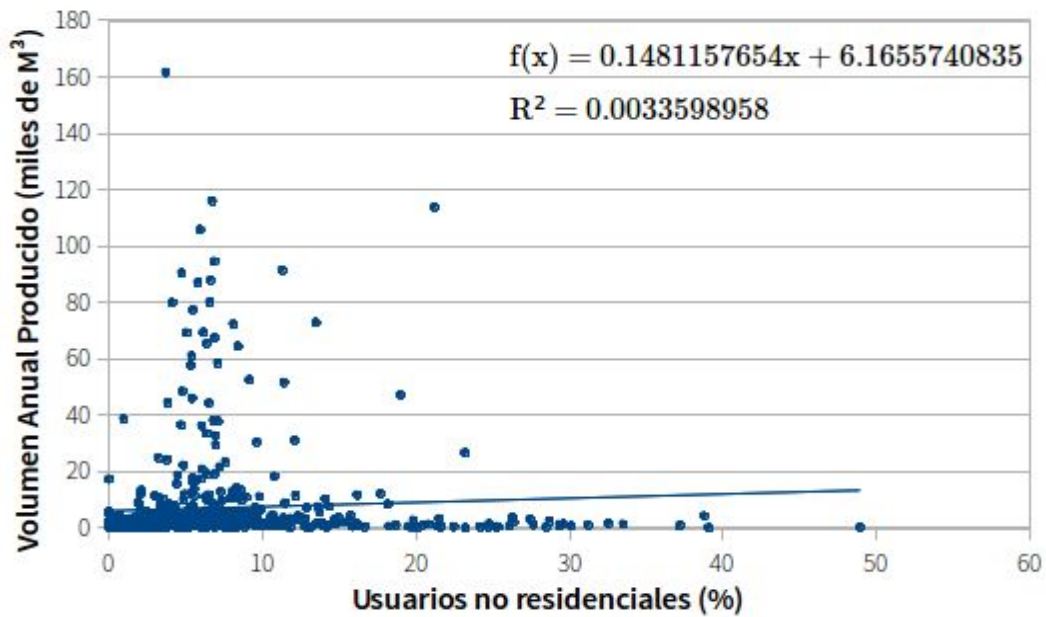
Figura 4.18 Regresión simple del volumen anual producido y el número de empleados para todos los suministradores de agua excepto D.F., Monterrey y Guadalajara



Fuente: Elaboración propia con datos de CONAGUA (2011)

Como se puede ver en la Figura 4.19, la relación entre los usuarios no domésticos y el volumen anual producido no es ajustado. El parámetro tiene signo positivo, pero como muestra la gráfica, hay mucha heterogeneidad de los organismos operadores de agua potable en la combinación de su estructura de usuarios con el volumen extraído.

Figura 4.19 Regresión simple del Volumen Anual Producido y el porcentaje de usuarios no domésticos en todos los suministradores de agua excepto D.F., Monterrey y Guadalajara



Fuente: Elaboración propia con datos de CONAGUA (2011)

4.5 Análisis de la productividad media del trabajo

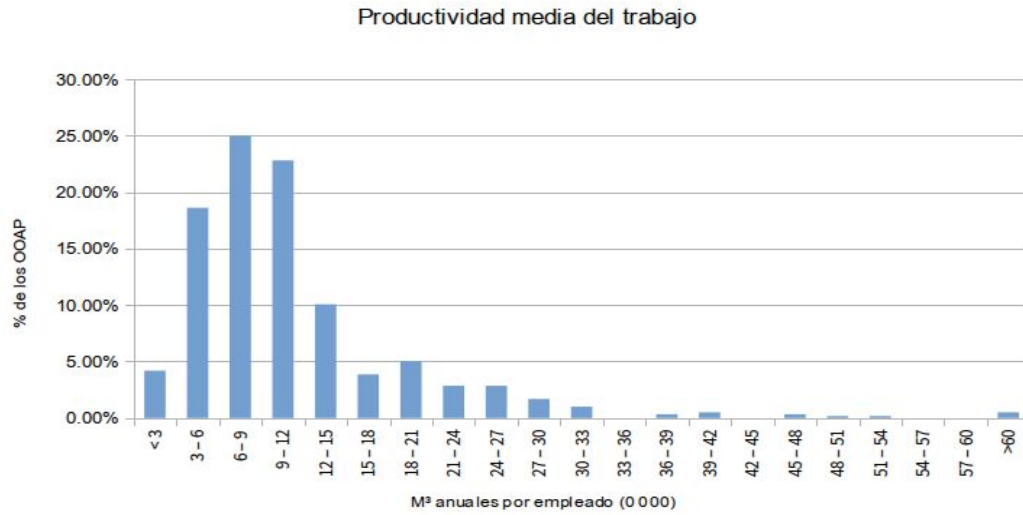
Una de las preguntas de investigación que rigen el presente trabajo trata sobre la productividad media del trabajo. Por ello será beneficioso hacer un análisis específicamente sobre este tema. La Figura 4.20 muestra el histograma de frecuencias de la productividad media del trabajo y la Tabla 4.6 muestra los estadísticos descriptivos más relevantes. Se podría argumentar que la heterogeneidad observada en la escala de operaciones de los OOAP obedece a la cantidad de agua provista, pero como se puede apreciar, la distribución de la productividad media no es homogénea. Lo cual da relevancia a las preguntas de investigación planteadas. Podría ser explicada por la alta dispersión en la escala de los OOAP, tema de que se ocupa el presente trabajo. De ser cierto, entonces se habrá de comprobar mediante la existencia de una escala óptima.

Tabla 4.6 Estadísticos descriptivos de la productividad media del trabajo.

Estadístico	Productividad media (M³/empleado)
Mínimo	8,410
Promedio	112,844
Máximo	788,400
Desviación Estándar	84,791

Fuente: Elaboración propia con datos de Conagua (2011)

Figura 4.20 Histograma de frecuencias de la productividad media del trabajo



Fuente: Elaboración propia con datos de Conagua (2011)

5. Resultados y discusión

El análisis preliminar deja en evidencia que existe una gran dispersión en el tamaño de los suministradores de agua que afecta su productividad media. A pesar de coexistir organismos grandes, medianos y chicos, se observa una alta correlación entre las variables seleccionadas. Se tomaron en cuenta los 596 organismos operadores de agua potable para el primer análisis, y para conocer a mayor detalle la relación entre escala y productividad, el análisis se extendió a las cuatro submuestras.

5.1 Regresiones

Para indagar la relación que existe entre la productividad y la escala, se hicieron regresiones lineales por mínimos cuadrados ordinarios. Para ello, se consideró de manera general la Ecuación 5.1 donde q_i es el volumen anual producido por la empresa i , k_i es el número de tomas de agua potable como proxy del capital, l_i es el número de empleados como medida de la mano de obra, r_i es el porcentaje de usuarios no domésticos y ε_i es un término de error.

$$(5.1) \quad q_i = f(k_i, l_i, r_i) + \varepsilon_i$$

Como se mencionó en el marco teórico, se tomaron tres formas funcionales. La función lineal es de utilidad por su simplicidad y servirá como referente para los resultados de las demás regresiones. La función Cobb-Douglas es muy utilizada en este tipo de análisis, permite retornos variables y es fácil de calcular e interpretar. La función cuadrática también considera retornos variables a escala y se puede calcular la elasticidad de la producción como medida local de los retornos a escala.

Función lineal

La regresión que se hizo para la función lineal se reporta en la Ecuación 5.2. Habiendo corrido la regresión con la muestra completa, los valores obtenidos de los parámetros se exponen en la Tabla 5.1. Los parámetros asociados al número de tomas y al número de empleados fueron estadísticamente significativos mientras que el del porcentaje de

usuarios no domésticos no lo fue. De los parámetros estimados, el producto marginal de la mano de obra resultó mucho mayor que el del número de tomas, mientras que el del porcentaje de usuarios no domésticos fue de signo negativo. Ante el resultado de que el producto marginal del trabajo es el mayor, se destaca que el análisis de la productividad media de la mano de obra es de interés.

$$(5.2) \quad y_i = f(k, l, r) = \alpha + \beta_k k_i + \beta_l l_i + \beta_r r_i + \varepsilon_i$$

Tabla 5.1 Regresión por mínimos cuadrados ordinarios de la función lineal

Parámetro	Valor	Error estándar	Estadístico t
Intercepto	-548.26061	486.84472	-1.126
Número de Tomas	0.10421**	0.01171	8.897
Mano de obra	66.64552**	2.50633	26.591
Usuarios no domésticos	-48.41482	52.27711	0.926
Ajuste	R ² =0.9671	R ² _{ajus} =0.967	F(3,596)=5,807

*Fuente: Elaboración propia con datos de CONAGUA (2011). **Estadísticamente significativo al 5%. *Estadísticamente significativo al 10%.*

Como se dijo en el marco teórico, lo anterior tiene que ser confirmado al dividir la muestra en las cuatro submuestras de la escala. Se corrieron las regresiones por mínimos cuadrados ordinarios necesarias y la Tabla 5.2 reporta los resultados. En primer lugar, destaca que el ajuste no mejoró en ninguna de las submuestras y, de hecho, disminuyó muy considerablemente en la primera y la segunda. El parámetro asociado al número de tomas fue estadísticamente significativo en todas las regresiones. Sin embargo su valor va desde 0.04 hasta 0.19. En las primeras dos submuestras el valor es de 0.04, y en la tercera

submuestra es de 0.10. Esto sugiere que el capital es más productivo en empresas de mayor escala que en las más pequeñas. No obstante, al considerar toda la muestra excepto D.F., Monterrey y Guadalajara, que son los más grandes, el valor aumenta hasta 0.19. El efecto marginal estimado de la mano de obra sobre la producción no es estadísticamente significativo en las primeras dos submuestras, pero en las dos últimas sí. El valor estimado va desde 1.26 hasta 66.74. En los primeros dos el valor es menor y en el tercero es el mayor. En la muestra sin los tres más grandes el valor disminuyó de nuevo. Esta combinación de resultados parece indicar que, en la función lineal, a mayor tamaño mayor producto marginal tanto del capital como de la mano de obra. En ninguna de las regresiones fue significativo el estimador para usuarios no domésticos.

La función lineal, entonces, tiene un buen ajuste cuando se consideran todos los Organismos de la muestra. No obstante, al hacer la división los resultados comienzan a variar mucho. La no significancia estadística del parámetro de la mano de obra en las dos submuestras con los suministradores de agua más pequeños revela que estos tienen mayor dispersión en el uso de sus insumos.

Tabla 5.2 Regresiones de la función lineal con las cuatro submuestras

Parámetro	< 750 mm ³	> 750 mm ³ , < 1.5 Mm ³	> 1.5 Mm ³	Sin D.F., Monterrey y Guadalajara
Intercepto	370.05325**	892.94979**	-783.54829	929.805490**
Estadístico t	14.902	22.617	-0.711	3.030
Número de tomas	0.04502**	0.04524**	0.10516**	0.193185**
Estadístico t	3.394	3.061	6.477	20.704
Empleados	1.26094	2.01616	66.74351**	28.545585**
Estadístico t	0.576	0.797	19.229	13.032
Usuarios no domésticos	-1.07190	2.90426	-116.16065	-22.209584
Estadístico t	-0.690	1.270	-0.910	-0.687
R ² ajustada	0.0996	0.1459	0.966	0.9056

Fuente: Elaboración propia con datos de CONAGUA (2011). **Estadísticamente significativo al 5%.

*Estadísticamente significativo al 10%.

Función Cobb-Douglas

La función Cobb-Douglas, representada en la Ecuación 5.2 se le aplicó la regla de los logaritmos para hacer una transformación lineal y el resultado fue la Ecuación 5.3. Esta función conlleva los supuestos de homoteticidad y elasticidad de sustitución unitaria, los cuales afectan el cálculo de las economías a escala. El primero porque implica que la senda de expansión es recta a lo largo de toda escala de producción. El segundo porque implica que la sustitución de insumos es igual tanto para los organismos pequeños como para los grandes. Una ventaja de la función Cobb-Douglas es que por ser de forma exponencial, los parámetros estimados son iguales a la elasticidad de producción de cada variable.

$$(5.2) y_i = f(k, l, r) = Ak_i^{\beta_k} l_i^{\beta_l} r_i^{\beta_r} U$$

$$(5.3) \ln y_i = \ln A + \beta_k \ln k_i + \beta_l \ln l_i + \beta_r \ln r_i + \varepsilon_i$$

Tabla 5.3 Parámetros de la regresión con la función Cobb-Douglas

Cobb	Parámetro	Error estándar	Estadístico t
Log(A)	0.1349062	0.2508678	0.538
Número de tomas	0.8277116**	0.0416952	19.851
Empleados	0.1466084**	0.0382298	3.835
Usuarios domésticos	no 0.0003580*	0.0001389	2.579
	R ² = 0.8959	R ² = 0.8954	F(3, 592)=1699

*Fuente: Elaboración propia con datos de CONAGUA (2011). ** Estadísticamente significativo al 5%.*

**Estadísticamente significativo al 10%.*

El ajuste de la función Cobb-Douglas es menor que la función lineal, pero aun así es relativamente alto (Tabla 5.3). Los parámetros de número de tomas y empleados fueron estadísticamente significativos al 5%. Nótese que el tercer parámetro fue estadísticamente significativo al 10%, lo cual no había ocurrido en las regresiones anteriores, aunque su valor es muy bajo. El parámetro, que como ya se dijo también puede ser interpretado como elasticidad de producción, es mayor en el número de tomas que en el número de empleados. Esto implica que un incremento porcentual en el número de tomas tiene mayor impacto positivo sobre la producción que un incremento porcentual en el número de empleados.

La suma de los parámetros indica la elasticidad total de producción, la cual nos sirve como una medida local de los retornos a escala. La suma de los coeficientes de número de tomas y del número de empleados sugiere que existen retornos decrecientes a escala, pero se debe recordar que los supuestos de homoteticidad y elasticidad de sustitución unitaria pueden tener efectos.

La Tabla 5.4 reporta la comparación entre los valores obtenidos por las regresiones tipo Cobb-Douglas en las cuatro submuestras. En las cuatro regresiones el intercepto tuvo significancia estadística, su valor en logaritmo natural va desde 7.05 hasta 12.8. El exponente asociado al Número de Tomas de Agua Potable se calculó desde el 0.12 hasta el 0.82. El valor del parámetro de la mano de obra va desde 0.03 hasta 0.14, aunque la dispersión de las dos submuestras pequeñas también afectó la significancia estadística del parámetro. Para el caso del porcentaje de usuarios no domésticos, es significativo en las segunda y cuarta submuestras ambas con signo positivo. El grado de ajuste no es muy bueno en las primeras dos submuestras, pero en la tercera y la cuarta hubo un buen ajuste.

Tabla 5.4 Regresiones tipo Cobb-Douglas con las cuatro submuestras

	chicos	medianos	grandes	sin extremos
log(A)	10.82386**	12.80111**	7.72762**	7.05393**
Estadístico t	20.432	43.164	26.833	27.762
Número de tomas	0.28046**	0.12942**	0.7693**	0.82636**
Estadístico t	3.492	2.926	16.353	19.634
Empleados	0.03025	0.04601	0.13548**	0.14627**
Estadístico t	0.523	1.443	3.06	3.815
Usuarios no domésticos	-0.00379	0.02206**	0.02048	0.0355**
Estadístico t	-0.189	2.17	1.026	2.549

R ² ajustada	0.1233	0.1821	0.9214	0.889
-------------------------	--------	--------	--------	-------

Fuente: Elaboración propia con datos de CONAGUA (2011) ** Estadísticamente significativo al 5%.

*Estadísticamente significativo al 10%.

Los valores del parámetro asociado al número de tomas y al número de empleados se comportan de manera distinta al separarlos en cuatro submuestras. El número de tomas tiene mayor elasticidad en la primera muestra que en la segunda, y después es mucho mayor en la tercera. Ante tal variación con respecto a la escala, se cuestiona la validez del supuesto de homoteticidad. En el caso del número de empleados, el valor del parámetro crece conforme crece la escala de la submuestra, pero cuando la cuarta submuestra es mayor.

Función Cuadrática

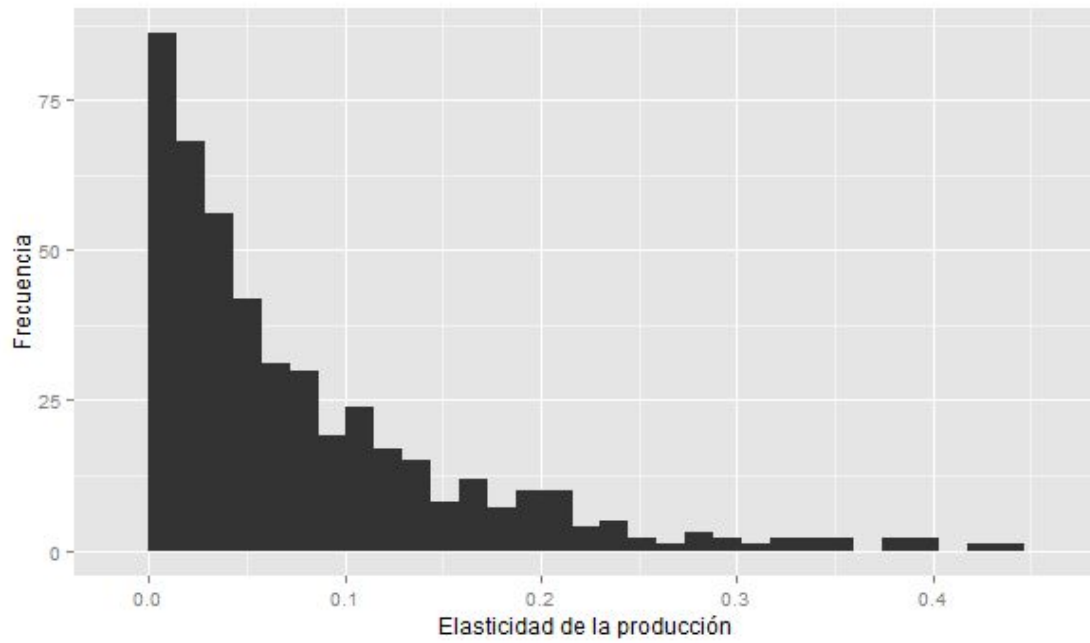
La función cuadrática es similar a la lineal, pero considerando los retornos decrecientes a escala. La Ecuación 5.4 muestra la forma calculada por mínimos cuadrados ordinarios. A diferencia de la función lineal, esta fórmula tiene otros parámetros que sirven para capturar los productos crecientes o decrecientes en el uso de los insumos.

$$(5.4) \quad y_i = f(k, l, r) = \alpha + \beta_k k_i + \beta_l l_i + \beta_r r_i + \frac{\beta_{kk}}{2} k^2 + \frac{\beta_{ll}}{2} l^2 + \frac{\beta_{rr}}{2} r^2 + \beta_{kl} kl + \beta_{kr} kr + \beta_{lr} lr + \varepsilon_i$$

Al realizar la regresión por MCO se obtuvieron los resultados reportados en la Tabla 5.5. De aquí se destaca su ajuste mayor que todas las demás regresiones, la no significancia estadística de la mano de obra y del efecto cruzado de mano de obra con el porcentaje de usuarios no domésticos.

Luego de calcular la función de producción cuadrática, se calculó la elasticidad de producción de cada organismo operador. Como muestra la Figura 5.1, la mayoría de los organismos operadores de agua potable enfrenta rendimientos decrecientes a escala. Esto implica que a mayor tamaño, se requieren más insumos por unidad producida.

Figura 5.1 Histograma de las elasticidades de producción.



Fuente: Elaboración propia con datos de CONAGUA (2011)

Tabla 5.5 Resultados de la regresión tipo cuadrática

Parámetro	Valor	Error estándar	Estadístico t
Intercepto	231.5540	372.1231	0.622
Número de Tomas (K)	0.3417**	0.0210	16.25
Número de empleados (L)	0.6697	4.9955	0.134
Usuarios no domésticos (R)	159.9975**	78.0996	2.049
K ²	0.00000028640**	0.00000005395	5.309
L ²	0.02977748818**	0.00313733155	9.491
R ²	-4.7314*	2.5111	-1.884
KL	-0.00019262962**	0.00002581464	-7.462
KR	-0.00494349502**	0.00179290933	-2.757
LR	0.06926199342	0.55104545446	0.126
Ajuste	R ² =0.9881	R ² =0.9879	F(9,587)=5,390

Fuente: Elaboración propia con datos de CONAGUA (2011) ** Estadísticamente significativo al 5%.

*Estadísticamente significativo al 10%.

Como se observa en la Tabla 5.8, la función cuadrática tuvo un buen ajuste en todas las submuestras, especialmente en la tercera. De manera general se nota el mismo comportamiento que al haberse considerado la totalidad de la muestra. Esta forma funcional fue la de mejor ajuste y significancia estadística tanto en las cuatro submuestras como en la muestra completa.

El valor del parámetro asociado al capital va desde 0.0006 hasta 0.48 y es estadísticamente significativo en todas las regresiones excepto la segunda. Los valores no son muy alejados a los obtenidos con la muestra total (0.34). Para el capital al cuadrado, que captura los efectos de productividad decreciente, el valor no fue estadísticamente significativo en las primeras dos submuestras, pero sí lo fue para las dos últimas. Este parámetro fue relativamente pequeño en las cuatro regresiones.

Tabla 5.6 Regresiones tipo cuadrática con las cuatro submuestras

	< 750,000 m ³	750m ³ -1.5 Mm ³	> 1.5 Mm ³	Sin extremos
Intercepto	251.0710**	838.9920**	647.5781	-204.49208
Estadístico t	5.165	10.886	0.689	-0.665
Tomas (K)	0.1185**	-0.0006	0.3358**	0.48115**
Estadístico t	2.872	-0.013	11.520	19.205
Empleados (L)	12.1506*	24.4884**	0.6553	-10.9255
Estadístico t	1.737	2.964	0.094	-1.607
No domésticos	1.6068	1.1108	271.136	49.5642
Estadístico t	0.263	0.153	1.431	0.768
K ²	-0.000006	0.000009	0.0000003**	-0.0000004**
Estadístico t	-0.973	1.369	4.010	-4.200
L ²	-0.1425	0.1421	0.03008**	0.02376**
Estadístico t	-0.700	0.712	6.879	5.941
U ²	-0.1322	-0.2177	-8.5852	1.6007
Estadístico t	-1.119	-0.931	-1.278	0.4419
K*L	-0.0031	-0.005**	-0.000196**	-0.00006*
Estadístico t	-1.346	-2.841	-5.460	-1.761
K*U	0.0002	0.0072	-0.0047*	0.0034**
Estadístico t	0.086	2.491	-1.933	2.125
L*U	0.0305	-1.1414*	-0.019	-1.3622**
Estadístico t	0.066	-1.966	-0.025	-2.960
R ² ajustada	0.1355	0.1901	0.9876	0.9392

Fuente: Elaboración propia con datos de CONAGUA (2011) ** Estadísticamente significativo al 5%.

*Estadísticamente significativo al 10%.

Contrario a lo observado en otras formas funcionales, el parámetro de la mano de obra fue significativo únicamente en las dos primeras submuestras. Si bien en las últimas dos submuestras no fue significativo, el parámetro de la mano de obra al cuadrado sí lo fue y con signo positivo. La multiplicación de capital y mano obra también arrojó un estimador significativo, de signo negativo en todas las ocasiones excepto en los de menor tamaño. Consistente con la regresión de la muestra completa, ni el parámetro asociado al número de usuarios domésticos ni su valor al cuadrado fueron estadísticamente significativos en ninguna de las cuatro regresiones. No obstante, al combinarse con el número de empleados y el número de tomas el efecto fue diferente. Al multiplicar el porcentaje de usuarios no domésticos con el número de tomas, el resultado fue estadísticamente significativo para la segunda y tercera muestras. La multiplicación con el número de empleados solo fue significativa en la cuarta regresión.

Dado el ajuste de todas las regresiones y su significancia estadística, la forma funcional que aporta más información de interés es la función cuadrática. Sus parámetros que contienen el efecto de la productividad variable permiten indagar en mayor y mejor manera la relación de la escala con la productividad. La elasticidad de producción indica que la mayoría de los organismos operadores enfrentan retornos crecientes a escala.

Diagnóstico de las regresiones

Las formas funcionales usadas conllevan supuestos distintos con relación a las economías a escala. Es por esto que en la literatura se concluyó que era mejor comparar varios tipos de funciones. Para ello se hicieron distintas pruebas de diagnóstico adicionales para conocer la robustez de los resultados. La prueba Doornick-Hansen (1994) tiene por hipótesis nula la normalidad de una distribución dada; aquí fue usada para comprobar la normalidad de los residuos. Para comprobar homocedasticidad se utilizó la prueba Breusch-Pagan (1979). Para medir colinealidad se usó el Factor de Inflación de la Varianza. Los resultados para los diagnósticos de regresión de la función lineal se reportan en la Tabla 5.7, para la función cuadrática en la Tabla 5.8 y los de la función Cobb-Douglas en la Tabla 5.9.

Tabla 5.7 Diagnósticos de regresión de la función lineal

	Normalidad	Homocedasticidad	Colinealidad
Todos	Chi²=2895; p=0	Chi²=9367; p=0	K=14; l=14 ; r=1
< 750,000 m³	Chi²=4.617; p=0.09	Chi²=2.9188; p=0.4	K=1.4 ; l=1.4 ; r=1
750,000-1.5 Mm³	Chi²=7.187; p=0.02	Chi²=0.1116; p=0.99	K=1.6 ; l=1.7 ; r=1
> 1.5 Mm³	Chi²=715.16; p=0	Chi²=2376.92; p=0	K=13 ; l=13 ; r=1
Sin extremos	Chi²=2330.98; p=0	Chi²=6196.51; p=0	K=5.2 ; l=5.2 ; r=1

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5.8 Diagnósticos de regresión de la función cuadrática

	Normalidad	Homocedasticidad	Colinealidad
Todos	Chi²=3,554; p=0	Chi²=4,895.03; p=0	K=123; l=151; r=6; k²=1952; l²=4655; r²=5.89; k*l=11,632;k*r=91.35; l*r=187.25
< 750,000 m³	Chi²=1.69; p=0.42	Chi²=9.5782; p=0.3856	K= 14.2; l=15; r=16.2 k²=15.9; l²=13.6; r²= 6.8; k*l=24.8;k*r=10.6; l*r=8.061
750,000-1.5 Mm³	Chi²=4.65; p=0.97	Chi²=8.5048; p=0.4841	K=20; l=19; r=11 k²=24; l²=23; r²=10; k*l=33; k*r=28; l*r=28
> 1.5 Mm³	Chi²=955.069; p=0	Chi²=1,276.34; p=0	K=119; l=148; r=6 k²=1983 ; l²=4750; r²=5.7; k*l=11811;k*r=89; l*r= 189
Sin extremos	Chi²=748.13; p=0	Chi²=3,854.49; p=0	K=58; l=78; r=6 k²=158; l²=43; r²=6 ; k*l= 208;k*r=28 ; l*r=30

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5.9 Diagnósticos de regresión de la función Cobb-Douglas

	Normalidad	Homocedasticidad	Colinealidad
Todos	Chi²=27; p=0	Chi²=34 ; p=0	K=9; l=9 ; r=1
< 750,000 m³	Chi²=29; p=0.	Chi²=14 ; p=0.001	K=1.6 ; l=1.6 ; r=1
750,000-1.5 Mm³	Chi²=6.57; p=0.03	Chi²=0.82 ; p=0.8445	K=2 ; l=1.8 ; r=1
> 1.5 Mm³	Chi²=3.352; p=0.18	Chi²=3.49; p=0.32122	K=9.6; l=9.7 ; r=1
Sin extremos	Chi²=26.98; p=0	Chi²=33.84; p=0	K=8.8; l=8.7; r=1

Fuente: Elaboración propia

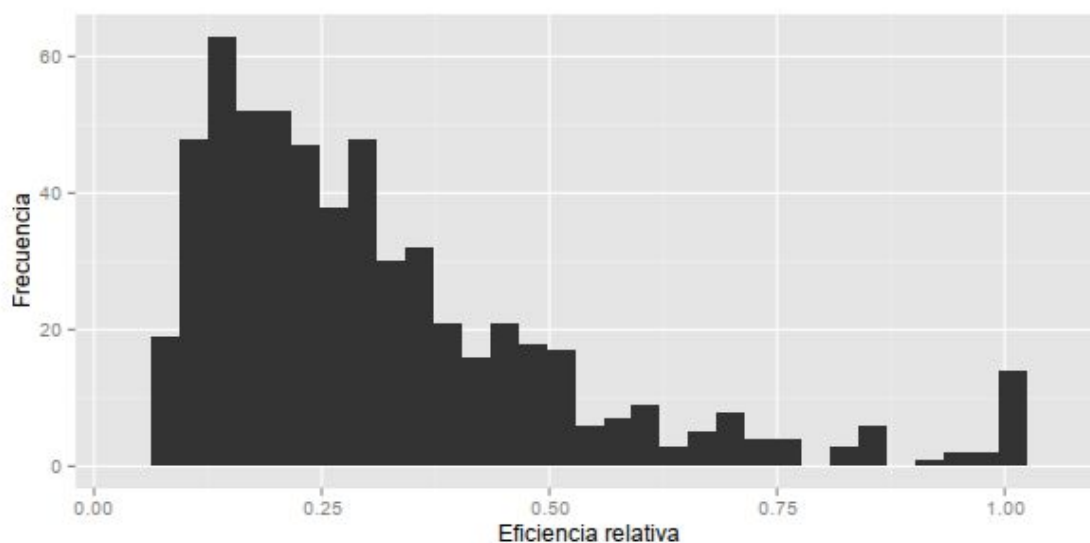
De manera general, se observa que los supuestos de normalidad de los residuos y homocedasticidad se rompen cuando se consideran a los organismos operadores de agua potable que producen más de 1.5 Mm³. También se destaca que en la función cuadrática, al considerar a los chicos y a los medianos los supuestos se cumplen. En cuanto a la colinealidad, su valor resultó alto en la cuadrática.

Dado que lo que esta investigación busca es el efecto de la escala en la producción no consideramos que la colinealidad sea un problema. En primer lugar, porque no se busca separar el efecto marginal de las variables sino su efecto en conjunto. En segundo lugar porque el valor de la determinante sigue siendo alto a pesar de la colinealidad. Finalmente, el posible problema de la colinealidad sería que variables importantes salieran como no significativa, lo cual no ocurrió.

5.3 Análisis por Envoltura de Datos

Los resultados del análisis por envoltura de datos, descrito en el marco teórico y metodológico, se aprecian en la Figura 5.2 bajo el modelo de retornos variables a escala. Aquí se observa que la mayoría de los OOAP están alejados de la frontera empírica de eficiencia. La mediana de las eficiencias relativas es 0.2611. Lo cual implica que la mitad de los OOAP pudo producir la misma cantidad de agua reduciendo sus insumos hasta en un 73.89%. El tercer cuartil de la distribución es 0.40160, lo que significa que el 75% de los organismos pudieron reducir sus insumos hasta en un 59.84% produciendo la misma cantidad de agua.

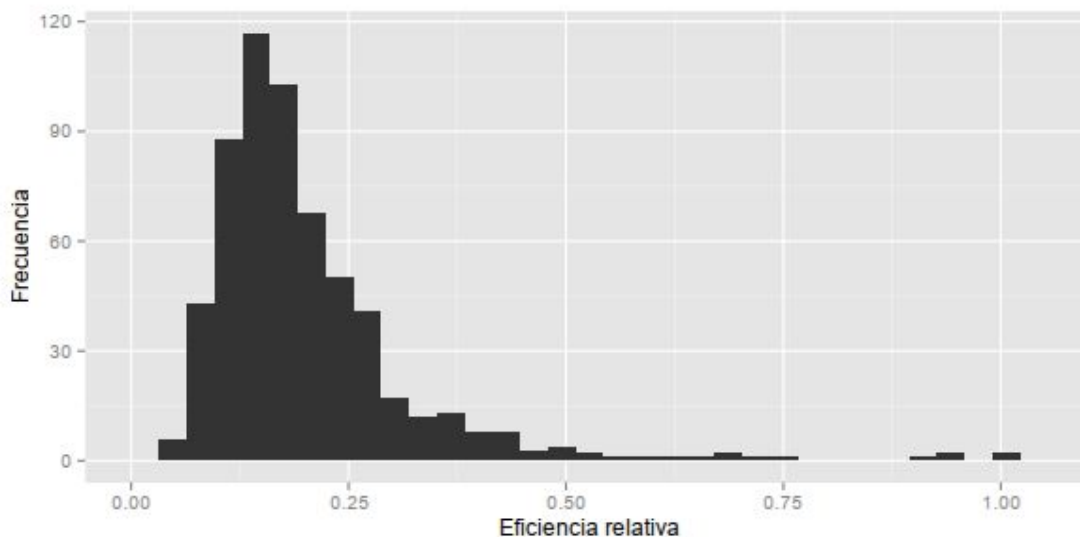
Figura 5.2 Eficiencia relativa de los Organismos Operadores de Agua Potable considerando retornos variables a escala.



Fuente: Elaboración propia con datos de CONAGUA (2011)

Si se consideran retornos constantes a escala, la diferencia en eficiencias es aún mayor. En la Figura 5.3 se aprecia cómo el 75% de las observaciones redujeron radialmente sus insumos en apenas un 24.04%. Los organismos operadores de agua potable presentan, de manera general, un uso excesivo de sus insumos y pocos se ubican en la frontera de eficiencia.

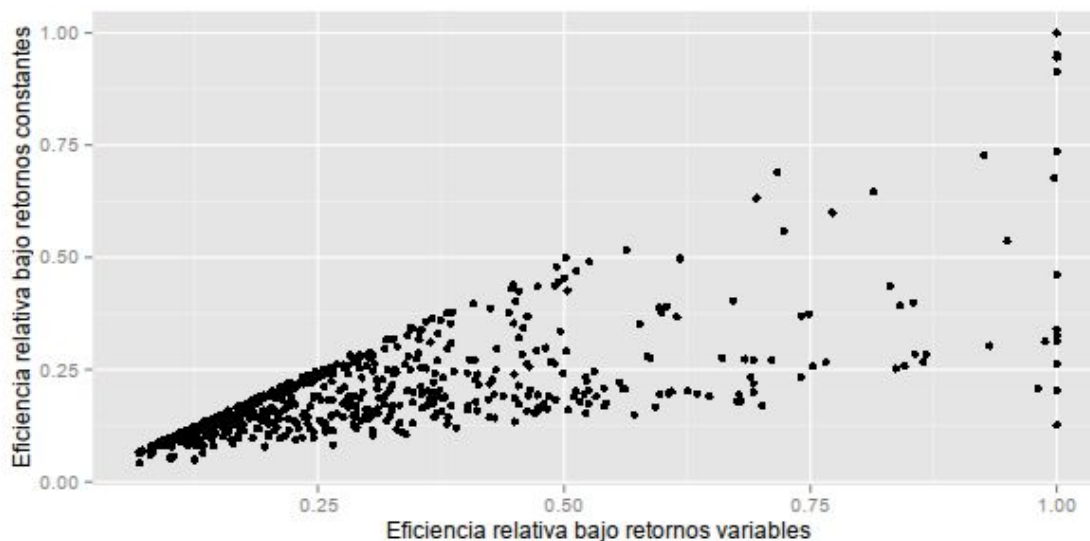
Figura 5.3 Eficiencia relativa de los Organismos Operadores de Agua Potable considerando retornos constantes a escala.



Fuente: Elaboración propia con datos de CONAGUA (2011)

La Figura 5.4 compara los resultados de ambos modelos. En el eje horizontal está la medida de eficiencia relativa considerando retornos variables y en el vertical, retornos constantes. Idealmente, el grueso de puntos debería tender hacia la esquina superior derecha, lo que implicaría que las firmas tienden a ser 100% eficientes. Sin embargo, en este caso ocurre lo contrario. También es claro cómo algunos ubicados en la frontera de eficiencia de retornos variables no lo están en el de retornos constantes. Esto se observa en que algunos puntos están en el extremo derecho, lo que implica 100% de eficiencia relativa en retornos variables, pero lejos de la parte superior, lo que significa poca eficiencia relativa en retornos constantes. El 20.63% de los OOAP tienen retornos crecientes a escala. Zacualpán de Amilpas, Morelos e Ixtlahuacán, Colima son los dos únicos OOAP que fueron al mismo tiempo eficientes técnicamente y eficientes en escala, produciendo 1'103,376 m³ y 252,288 m³ respectivamente. Las observaciones que se ubicaron en la frontera de eficiencia bajo retornos variables a escala, todos, excepto San Antonio del Ciprés, Zacatecas, enfrentan rendimientos decrecientes a escala. La implicación es que el OOAP de San Antonio del Ciprés se vería beneficiado de incrementar su tamaño hasta ubicarse en ambas fronteras, mientras que al resto le convendría reducir su escala para ser más eficientes.

Figura 5.4 Eficiencia relativa bajo los modelos de retornos constantes y retornos variables a escala.



Fuente: Elaboración propia con datos de CONAGUA (2011)

Según estos resultados, el aprovechamiento de las eficiencias de escala sería un tema de política relevante. Por ejemplo, de acuerdo a estos resultados, el OOAP de la ciudad de México aún puede reducir sus insumos radialmente en un 87.39% si aprovechara las economías a escala. De la misma manera, Monterrey conseguiría una reducción del 79.51% de aprovechar las economías a escala. Cuando se hizo el análisis por regresión, se encontró que estos mismos operadores tendrían rendimientos decrecientes a escala.

5.3 Análisis Regional

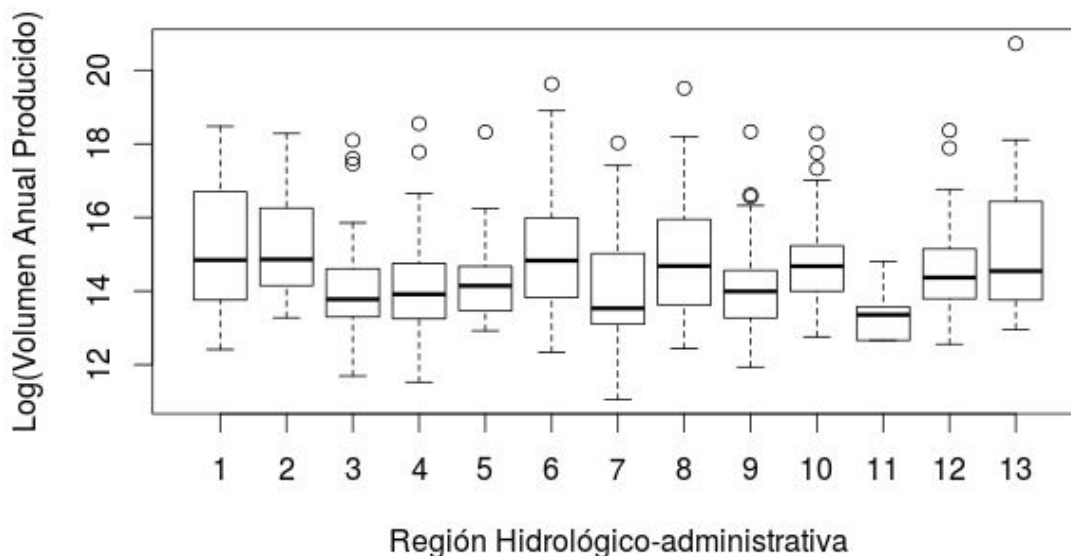
Como se mencionó en el marco teórico, parte de las discrepancias en la productividad media del trabajo también se pueden explicar por un componente regional, puesto que existen características particulares dentro de cada región. La producción dentro de cada región es muy variable. La Tabla 4.8 reporta el nivel de producción y es representado en la Figura 4.10. Como es notable, también la variación entre las regiones es importante. La producción máxima de la región 11, que corresponde a la Frontera Sur es de apenas 2 Mm³.

Tabla 4.8 Distribución del Volumen Anual Producido por Región Hidrológico Administrativa (en m³ al año).

	Observaciones	Mínimo	Media	Máximo	Desviación Estándar
Región 1	18	246,296	15,682,450	105,856,891	29,668,127
Región 2	21	583,416	11,893,799	87,097,071	20,626,201
Región 3	56	119,837	4,180,114	72,326,870	11,983,005
Región 4	85	101,231	4,107,230	113,750,352	13,520,944
Región 5	23	409,968	6,382,201	90,508,320	18,616,929
Región 6	47	228,321	21,387,111	334,029,312	56,219,970
Región 7	50	63,072	4,974,533	67,550,112	11,307,877
Región 8	82	252,288	12,566,385	297,447,552	36,261,921
Región 9	41	152,634	4,790,365	91,454,400	14,428,933
Región 10	69	346,896	5,909,906	88,048,512	12,843,174
Región 11	9	315,360	770,880	2,680,560	741,450
Región 12	63	283,824	5,138,060	94,608,000	13,839,509
Región 13	32	425,736	42,391,834	1,001,299,536	175,953,860

Fuente: Elaboración Propia con datos de CONAGUA (2011)

Figura 4.10 Boxplot de la distribución del Volumen Anual Producido por Región Hidrológico Administrativa.



Fuente: Elaboración propia con datos de CONAGUA (2011)

Además de la dispersión observada en la producción, es de interés el comportamiento de la productividad media de la mano de obra. Como se explicó, la productividad de la mano de obra no converge a un valor, sino que se tiene mucha dispersión. Como muestra la Figura 4.11, aún dentro de cada región existe esta disparidad, destacando las regiones «Pacífico Sur», «Golfo Norte» y «Cuencas Centrales del Norte» donde están los valores más extremos, corroborado por la Tabla 4.9.

Tabla 4.9 Productividad media de la mano de obra (en m³ al año por empleado)

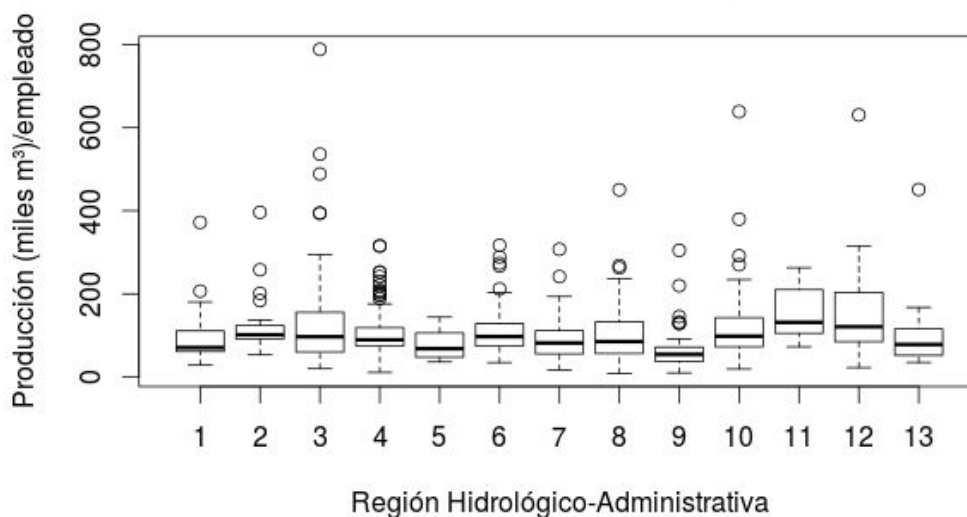
#	Organismo de Cuenca	n	Mínimo	Promedio	Máximo	Desviación Estándar
1	Península de Baja California	18	28,473	102,594	372,125	82,197
2	Noreste	21	53,190	128,071	396,460	77,244
3	Pacífico Norte	56	19,973	142,831	788,400	141,996
4	Balsas	85	11,038	107,747	315,360	63,278
5	Pacífico Sur	23	36,333	77,181	144,165	34,257
6	Río Bravo	47	34,776	114,365	317,095	65,112
7	Cuencas Centrales del Norte	50	16,855	93,115	307,476	55,916
8	Lerma-Santiago-Pacífico	82	8,410	104,720	450,650	71,758
9	Golfo Norte	41	9,893	68,430	304,848	55,269
10	Golfo Centro	69	19,308	122,565	638,604	90,812
11	Frontera sur	9	72,448	151,130	262,800	63,671
12	Península de Yucatán	63	22,455	150,118	630,720	99,329
13	Aguas del Valle de México	32	35,040	96,516	451,207	74,012

Fuente: Elaboración propia con datos de CONAGUA (2007)

Una observación importante es que existe un componente regional en el producto medio de la mano de obra, aunque no se observan indicios claros acerca de las condiciones óptimas para alcanzar un nivel alto de productividad de la mano de obra. Las tres regiones más productivas son la «Frontera Sur», «Península de Yucatán» y «Pacífico

Norte». Las tres menos productivas son «Golfo Norte», «Pacífico Sur» y «Cuencas Centrales del Norte». Las regiones «Frontera Sur» y «Península de Yucatán», que son las dos más productivas, están aglomeradas. Lo cual soporta la idea de que existe un componente regional en el producto medio de la mano de obra. En efecto, la «Frontera Sur», además, es la de menor dispersión y destaca porque no tiene presión hídrica, como reporta la Tabla 4.10. La región «Península de Yucatán» tiene poca densidad de población, mayor capacidad de recarga y su presión hídrica es baja. Estas características hidrológicas podrían explicar el efecto regional, dado que las condiciones naturales de las regiones son favorables para un buen manejo de agua. No obstante, la región «Pacífico Norte» que es la tercera más productiva, tiene recarga media y agua renovable muy cercanas a la mediana. Adicionalmente, la Presión Hídrica es alta, aunque muy cerca de la media. Por lo tanto, los datos parecen indicar que no se requieren condiciones óptimas para alcanzar un nivel alto de productividad.

Figura 4.11 Boxplot de la Distribución de la Productividad Media de la Mano de Obra por Región Hidrológico-Administrativa



Fuente: Elaboración Propia con datos de CONAGUA (2011)

La región menos productiva, la «Golfo Norte» refuerza esta idea. Su Agua Renovable está encima de la mediana aun cuando se normaliza per cápita, su Recarga Media está encima de la mediana y no tiene Presión Hídrica. Tampoco las otras dos regiones menos productivas, «Pacífico Sur» y «Pacífico Norte», tienen Agua Renovable, Esguerrimiento y

Recarga Media desfavorables. La Región «Aguas del Valle de México» tiene el Agua Renovable más baja, su Recarga Media Total es baja y su Presión Hídrica es muy alta. Sin embargo, su Productividad media no es la menos favorable. Todo lo anterior sugiere que los componentes climáticos y regionales tienen un efecto claro, pero no determinante, en el producto medio de la mano de obra.

6. Conclusiones

Las preguntas de investigación que rigieron el presente trabajo fueron tres: ¿Cuáles son las características de la tecnología del suministro de agua potable en México? ¿Qué efectos tiene la escala en la productividad de los Organismos Operadores de Agua Potable? Y ¿Qué implicaciones de política pública tienen? Se usaron los datos del reporte «Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento» de la Comisión Nacional del Agua del 2011. Esta muestra comprendía 596 Organismos Operadores de Agua Potable.

A partir de los datos se observa que en México los Organismos Operadores de Agua Potable tienen tamaños muy diversos. Algunos proveen servicio a un solo municipio, otros a varios municipios, y otros a todo un estado. La evidencia demostró gran heterogeneidad en la tecnología del suministro de agua; no hay un patrón claro en el uso de la mano de obra, el número de tomas de agua potable ni de la estructura de usuarios domésticos y no domésticos. La producción media de la mano de obra de la muestra fue muy dispersa, yendo desde los 8,410 m³/empleado hasta los 788,400 m³/empleado. Lo mismo ocurrió en menor medida con la producción por toma de agua potable. El 50% de los OOAP de la muestra producen menos de 1.5 Mm³ y aquellos encargados de la Ciudad de México, Monterrey y Guadalajara son muy grandes. Esto llevó a dividir la muestra en cuatro submuestras para fines comparativos. Se encontró que entre más pequeño es el suministrador mayor dispersión hay en el uso de insumos entre ellos.

De la literatura se concluyó que la relación entre escala y eficiencia no es muy directa. Existen una serie de factores que influyen en la productividad en el suministro de agua que han de ser considerados en un análisis. También se debe tomar en cuenta los efectos que tienen los datos, puesto que afectan las conclusiones extraídas del análisis. Asimismo resalta la poca investigación en el área para el caso mexicano.

Para indagar aún más sobre las características del suministro de agua potable, se corrieron regresiones comparando tres formas funcionales: Lineal, Cuadrática, Cobb-Douglas. La función cuadrática tuvo mejor ajuste a los datos, mayor significancia estadística y fue la que mejor explicó la relación entre el volumen anual producido, el

número de empleados, el número de tomas de agua potable y la estructura de usuarios no domésticos. Luego de calcular la función cuadrática se calculó la elasticidad de producción para conocer los rendimientos a escala que enfrentan los Organismos. La mayoría tenía elasticidades inferiores a uno, lo que significa que incrementar en 1% todos los insumos podría llevar a un incremento mayor al 1% de la producción.

Del análisis por envoltura de datos se concluyó que los OOAP son, en su mayoría, ineficientes. En cuanto a la escala óptima, solo se ubican dos organismos en la escala óptima, ambos con un volumen anual de producción muy por debajo de la media. Ello sugiere que la mayoría de los Organismos deberían reducir su escala para alcanzar una mayor productividad. Por supuesto, por lo general ello podría resultar difícil sino imposible. Este problema de ineficiencia actual es una evidencia para argumentar que se están desaprovechando las economías a escala en el suministro de agua urbana.

Sin embargo, los resultados presentados en este trabajo se tienen que interpretar con cuidado, por dos razones principales. Primero, el concepto de eficiencia que se manejó resulta limitado, por la manera en que se midió el output de los suministradores. Más allá de simplemente proveer un volumen agua, se espera de un suministrador de agua urbana calidad en el servicio (por ejemplo, continuidad en el servicio y presión adecuada) así como calidad de la propia agua entregada (por ejemplo, olor, sabor, contenido de sales). Estas dimensiones del output de los suministradores aquí no se consideraron y podría ser que los suministradores aparentemente más ineficientes son justamente los que más esfuerzo ejercen en este sentido.

Segundo, es posible que la ineficiencia aquí medida se deba en parte a las condiciones ambientales que enfrentan los suministradores. En particular, en términos de las características de las fuentes de agua que aprovechan. Por ejemplo, las fuentes lejanas, de difícil acceso, o poco productivas, pudieran ocasionar una aparente falta de eficiencia para los suministradores que a fuerza las tienen que explotar.

Finalmente, las limitaciones anteriormente señaladas podrían constituir una hoja de ruta para seguir indagando en este importante tema, ya que encontrar cuál es el tamaño óptimo para los sistemas de agua urbana podría traer grandes beneficios sociales.

Se tiene evidencia para argumentar que se están desaprovechando las economías a escala en el suministro de agua potable. La evidencia lleva a pensar que en efecto existen retornos variables a escala, que deben ser aprovechados. Las estimaciones que se presentan en este trabajo reflejan que la escala óptima en el análisis por envoltura de datos resultó ser pequeña. Por lo tanto, los OOAP de menor tamaño son más eficientes. Consistentemente el análisis por regresión demostró que los organismos pequeños usan una cantidad menor de insumos por unidad producida.

Sin lugar a dudas, el suministro de agua potable aún da para más investigación. En este estudio muestra cómo puede haber factores climáticos que influyan en la productividad de los OOAP. Asimismo, la literatura ha propuesto que compartir insumos con otros procesos como alcantarillado y tratamiento de agua ayuden a incrementar la productividad aprovechando las economías de alcance. También podrían existir economías de densidad y efectos de la gobernabilidad del agua en la eficiencia. Parece, en base al análisis preliminar, haber una estructura regional en los datos y eso es muy digno de investigar más a fondo usando técnicas estadísticas apropiadas como el análisis exploratorio de datos espaciales para ver si existen clústeres de OOAP particularmente productivos o de improductivos.

Referencias

- Abbott, M., & Cohen, B. (2009). Productivity and efficiency in the water industry. *Utilities Policy*, 17(3), 233-244.
- Antonioli, B., & Filippini, M. (2001). The use of a variable cost function in the regulation of the Italian water industry. *Utilities Policy*, 10(3), 181-187.
- Anwandter, L., & Ozuna Jr, T. (2002). Can public sector reforms improve the efficiency of public water utilities?. *Environment and Development Economics*, 7(04), 687-700.
- Al-Assa'd, T., & Sauer, J. (2010). The performance of water utilities in Jordan. *Water Science and Technology*, 62(4), 803-808.
- Ashton, J. K. (2000). Total factor productivity growth and technical change in the water and sewerage industry. *The Service Industries Journal*, 20(4), 121-130.
- Baumöl, W. J. (1975). Scale Economies, Average Cost and the Profitability of Marginal Cost Pricing.
- Bhattacharyya, A., Harris, T. R., Narayanan, R., & Raffiee, K. (1995). Specification and estimation of the effect of ownership on the economic efficiency of the water utilities. *Regional science and urban Economics*, 25(6), 759-784.
- Breusch, T.S.; Pagan, A.R. (1979). "Simple test for heteroscedasticity and random coefficient variation". *Econometrica* (The Econometric Society) 47 (5): 1287–1294.
- Brockett, P. L., & Golany, B. (1996). Using rank statistics for determining programmatic efficiency differences in data envelopment analysis. *Management Science*, 42(3), 466-472.

- Carvalho, P., & Marques, R. C. (2011). The influence of the operational environment on the efficiency of water utilities. *Journal of environmental management*, 92(10), 2698-2707.
- Carvalho, P., Marques, R. C., & Berg, S. (2012). A meta-regression analysis of benchmarking studies on water utilities market structure. *Utilities Policy*, 21, 40-49.
- Coelli, T. J., Rao, D. S. P., O'Donnell, C. J., & Battese, G. E. (2005). *An introduction to efficiency and productivity analysis*. Springer.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) (2007). 'Regiones Hidrológicas Administrativas. (Organismos de Cuenca)'. México, D.F
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA) (2011). Situación del Subsector Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento Edición 2011. México, D.F.
- Cooper, W. W., Seiford, L. M., & Zhu, J. (2011). *Handbook on data envelopment analysis* (Vol. 164). Springer.
- Doornik, J. A., & Hansen, H. (2008). An omnibus test for univariate and multivariate normality*. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 70(s1), 927-939.
- Fabbri, P., & Fraquelli, G. (2000). Costs and structure of technology in the Italian water industry. *Empirica*, 27(1), 65-82.
- Ferro, G., Lentini, E., Mercadier, A., & Romero, C. (2010). Returns to scale in water and sanitation: estimates for Latin America. *Inventi Rapid: Service Sector*, 1(1).
- Filippini, M., Hrovatin, N., & Zorić, J. (2008). Cost efficiency of Slovenian water distribution utilities: an application of stochastic frontier methods. *Journal of Productivity Analysis*, 29(2), 169-182.

- Ford, J. L., & Warford, J. J. (1969). Cost functions for the water industry. *The Journal of Industrial Economics*, 53-63.
- Fox, W. F., & Hofler, R. A. (1986). Using homothetic composed error frontiers to measure water utility efficiency. *Southern Economic Journal*, 461-477.
- Garcia, S., & Thomas, A. (2001). The structure of municipal water supply costs: application to a panel of French local communities. *Journal of Productivity analysis*, 16(1), 5-29.
- Gupta, S., Kumar, S., & Sarangi, G. K. (2012). Measuring the performance of water service providers in urban India: implications for managing water utilities. *Water Policy*, 14(3), 391.
- Kim, H. Y., & Clark, R. M. (1988). Economies of scale and scope in water supply. *Regional Science and Urban Economics*, 18(4), 479-502.
- Kim, E., Lee, H. (1998) Spatial integration of urban water services and economies of scale. *Review of Urban and Regional Development Studies*, 10 (1), pp. 3-18.
- Kuwahara, H. (1998). Industrial organization and cost analysis of water utilities [Suido jigyo no sangyo soshiki - Kibo no keizaisei to koritsusei no keisoku] *Journal of Public Utility Economics (Koeki Jigyo Kenkyu)*, 50, pp. 45-54.
- Martins, R., Fortunato, A., & Coelho, F. (2006). Cost structure of the Portuguese water industry: A cubic cost function application.
- Mizutani, F., & Urakami, T. (2001). Identifying network density and scale economies for Japanese water supply organizations. *Papers in Regional Science*, 80(2), 211-230.
- Nauges, C., van den Berg, C. (2007) How "natural" are natural monopolies in the water supply and sewerage sector? Case studies from developing and transition Economies, *World Bank Policy Studies*, p. 4137.

- Nicholson, W. (2008). *Teoría microeconómica principios básicos y ampliaciones* (9a ed.). México D.F. (México: Cengage Learning.
- Ozuna, T., & Gomez, I. A. (1998). *Regulation, Organization, and Incentives: The Political Economy Of Potable Water Services In Mexico*. Inter-American Development Bank, Office of the Chief Economist.
- Picazo-Tadeo, A. J., Sáez-Fernández, F. J., & González-Gómez, F. (2008). Does service quality matter in measuring the performance of water utilities?. *Utilities Policy*, 16(1), 30-38.
- Renzetti, S. (1999). Municipal water supply and sewage treatment: costs, prices, and distortions. *Canadian Journal of Economics*, 688-704.
- Renzetti, S., & Dupont, D. (2003). Ownership and performance of water utilities. *Greener management international*, 2003(42), 9-19.
- Renzetti, S., & Dupont, D. P. (2009). Measuring the technical efficiency of municipal water suppliers: the role of environmental factors. *Land Economics*, 85(4), 627-636.
- Romano, G., & Guerrini, A. (2011). Measuring and comparing the efficiency of water utility companies: a data envelopment analysis approach. *Utilities Policy*, 19(3), 202-209.
- Saal, D. S., Parker, D., & Weyman-Jones, T. (2007). Determining the contribution of technical change, efficiency change and scale change to productivity growth in the privatized English and Welsh water and sewerage industry: 1985–2000. *Journal of Productivity Analysis*, 28(1-2), 127-139.
- Shih, J.-S., Harrington, W., Pizer, W.A., Gillingham, K. (2006) Economies of scale in community water systems. *Journal / American Water Works Association*, 98 (9), pp. 100-108. Cited 18 times.

Takada, S., Tsuboi, N., & Shigeno, R. (2002). Shadow price and reallocation of water resources in Japan: Transfer from agricultural water to residential water. *Memoirs of the Institute of Agriculture and Forestry-University of Tsukuba. Rural Economics and Sociology (Japan)*.

Tynan, N. Kingdom B (2005) Optimal size for utilities. *Public policy for the private sector, Note*, (283).