

Análisis de Economías de Escala y Alcance en los Servicios de Acueducto y Alcantarillado en Colombia¹

Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico - CRA -

Daniel Revollo Fernández. Asesor Subdirección Técnica.²
Giovanna Londoño.³

Resumen

Una de las principales características del sector de acueducto y alcantarillado en Colombia es el alto nivel de atomización de la prestación del servicio. Este nivel de atomización es el resultado de los procesos de descentralización de fines de los ochenta y los cambios implementados en la década de los noventa. Este cambio originó modificaciones en el esquema de prestación, pasando de un sistema centralizado a un esquema municipal numeroso y bastante heterogéneo, impidiendo que se generen condiciones suficientes para el aprovechamiento de economías de escala y alcance en desmedro del bienestar de la sociedad.

En tal sentido, la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico (CRA) a través del mecanismo de fusionar y escindir empresas busca tratar de solucionar estos problemas, generar opciones o herramientas para realizar una regionalización de mercado a través de argumentos económicos y técnicos, y apoyar en la revisión de bases del nuevo marco tarifario en búsqueda de mayor eficiencia en el sector a través de dichas economías.

Palabras Clave: Economías de Escala, Economías de Alcance, Acueducto y Alcantarillado, Función de Costo Translogarítmica.

¹ Las opiniones del autor se hacen a título personal y no comprometen en nada la posición institucional de la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico.

² Magister en Economía (PEG), Magister en Economía del Medio Ambiente y los Recursos Naturales (PEMAR), Economista, Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico (CRA), Carrera 13 No. 28-01 Piso 5°, Bogotá D.C., Colombia, drevollofer@cra.gov.co, drevollofer@gmail.com.

³ Magister en Administración Ambiental, Magister en Estadística, Ingeniería Industrial, Bogotá D.C., Colombia, giovannalondono@gmail.com.

Tabla de Contenido

1. Introducción	3
2. Revisión de Literatura	5
3. Modelo Empírico	8
3.1. Economías de Escala	10
3.1.1. Economías de Escala de Corto Plazo o Medidas de Producción	11
3.1.2. Economías de Escala de Largo Plazo	11
3.2. Economías de Alcance	12
4. Datos y Procedimiento	13
5. Resultados	15
5.1. Economías de Escala	15
5.2. Economías de Alcance	19
6. Conclusiones y Recomendaciones.....	21
7. Referencias.....	23
Anexo 1 Características Funciones Utilizadas Análisis Economías Escala y Alcance.....	25
Anexo 2 Resultados y Medidas de los Estudios Economías de Escala y Alcance.....	27
Anexo 3 Lista de Cuentas Costos.....	29

1. Introducción

Colombia presenta un alto grado de atomización en la prestación de los servicios de acueducto y alcantarillado, lo cual ha quedado consignado en recientes estudios sectoriales (CRA, 2001; Banco Mundial, 2004; DNP, 2007). Se estima que en Colombia existen más de 12.000 prestadores que en su mayoría son pequeños y rurales (CONPES 3463). En el momento, se tienen registrados 2244 prestadores ante la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (SSPD) repartidos en 887 municipios, generando un promedio de 2.5 operadores por municipio.

Este nivel de atomización es el resultado de los procesos de descentralización de fines de los ochenta y los cambios implementados en la década de los noventa (Constitución Política, Ley 142 de 1994). Este cambio originó modificaciones en el esquema de prestación, pasando de un sistema centralizado a un esquema municipal numeroso y bastante heterogéneo. El alto número de entidades prestadoras, la gran dispersión y la atomización del sector han impedido que se generen condiciones suficientes para el aprovechamiento de economías de escala, menores costos de producción asociados a la prestación de estos servicios y la atomización de los recursos aportados por el Estado (DNP, 2007). Es más, se encuentran casos en los cuales hay presencia de varios operadores. Esta atomización también ha implicado mayores esfuerzos y costos desde el punto de vista institucional en las tareas de regulación, supervisión y control.

Teniendo en cuenta lo anterior, el Gobierno Nacional diseñó los Planes Departamentales de Agua y Saneamiento para el Manejo Empresarial de los Servicios de Acueducto, Alcantarillado y Aseo con el fin de afrontar las limitaciones en los temas de estructura dispersa de la industria y desaprovechamiento de economías de escala, desarticulación de las diferentes fuentes de recursos, planificación y preinversión deficiente, falta de integralidad y de visión regional, limitado acceso a crédito, lentitud en los procesos de modernización empresarial. En tal sentido, el Ministerio de Hacienda y Crédito Público (MHCP), el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT) y el Departamento Nacional de Planeación (DNP) recomiendan a la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico (CRA) que acelere el desarrollo de la regulación relacionada con ordenar la liquidación, de prestadores públicos ineficientes y de fusión.

Según los artículos 73.13 y 73.14 de la Ley 142 de 1994, la Comisión tiene la potestad para escindir empresas que utilizan su posición dominante para impedir el desarrollo de la competencia en un mercado o fusionarlas si es indispensable para extender la cobertura y abaratar los costos de los usuarios, logrando que las operaciones sean económicamente eficientes y que produzcan servicios de calidad para el bienestar de la sociedad. En tal sentido, a través de las economías de escala y alcance, se puede generar herramientas para fusionar o pensar en crear mercados regionales de acueducto y alcantarillado. De la misma forma, a través de dichas economías, se investiga avanzar en la búsqueda de mayor eficiencia en el sector.

En el marco de la revisión tarifaria quinquenal (2009-2014), la CRA considera pertinente incluir la revisión de economías de escala y alcance como forma de alcanzar dos objetivos incluidos en las Bases para la Revisión Quinquenal: i) Aprovechar las mejoras en eficiencia, tanto asignativa como productiva, derivadas del aprovechamiento de economías de escala y alcance, y ii) Distribuir las ganancias en eficiencia entre los usuarios y los prestadores del servicio.

La consolidación de la estructura industrial del sector es una clara necesidad para mejorar la eficiencia en la prestación del servicio. En, en tal sentido, nace la tarea de explorar el tema de economías de escala y alcance que proporcione los soportes técnicos necesarios para desarrollar el proceso de fusión y escisión de empresas y de regionalización en general. Así entonces, el objetivo de este estudio es estimar las economías de escala y de alcance para los servicios de acueducto y alcantarillado en Colombia con la finalidad de tener los soportes económicos y técnicos adecuados.

Este documento se organiza en cuatro secciones. La primera sección incluye una revisión de la literatura relacionada con el análisis de economías de escala en el sector de agua. En la segunda sección se presenta el modelo empírico utilizado para medir las economías de escala y alcance incluyendo las diferentes funciones de costos y las medidas de economías de escala y alcance. La tercera sección incluye una descripción de los datos y el procedimiento utilizado para estimar el modelo. En la cuarta y última sección se presentan los resultados de la implementación del modelo.

2. Revisión de Literatura

Algunos de los estudios en los que se analiza la existencia de economías de escala y alcance en la industria del agua en países como Estados Unidos, Inglaterra, Italia y Japón, han utilizado métodos paramétricos, los cuales implican la estimación de funciones de costos que permiten aproximarse a las funciones de producción subyacentes y establecer la relación entre productos e insumos. Así mismo, en la estimación de los modelos se utilizan diferentes formas funcionales para especificar la función de costos y la elasticidad. Los resultados de estos estudios dependen del modelo de costos y las características de la muestra de empresas. A continuación, se hace una breve revisión de los aspectos metodológicos y de los resultados de la literatura empírica sobre el análisis de las economías de escala y alcance en el sector de agua.

El uso de funciones de costos para estimar economías de escala y alcance en sectores regulados de agua potable y saneamiento básico tienen como precedente aplicaciones en el sector eléctrico. La primera aplicación de análisis estadístico de costos para medir economías de escala fue desarrollada por Nerlove (1963) que utilizó una función de costos Cobb-Douglas (log-lineal) para estimar economías de escala en el sector eléctrico en Estados Unidos.

Al considerar las características de un sector regulado como el eléctrico, Nerlove argumentó que era posible considerar que (1) la producción y los precios de los insumos son exógenos a la firma, y (2) las firmas buscan minimizar sus costos de acuerdo con niveles de producción y precios dados. Bajo estos supuestos, se planteó una función de costos que incluye los precios de los insumos y que está relacionada de forma única con la función de producción. De esta forma, Nerlove desarrolló el potencial econométrico de la dualidad entre la función de costos y la función de producción (McFadden, 1978), que asegura que la relación entre la función de costos obtenida de forma empírica y la función de producción subyacente es única. A partir de estas consideraciones metodológicas, Nerlove concluyó que existían economías de escala en el sector eléctrico de Estados Unidos, pero que estas variaban de acuerdo con el nivel de producción.

Más adelante, en 1976, Christensen y Greene (1976) actualizaron el estudio de Nerlove utilizando la función de costos translogarítmica introducida por Christensen, Jorgenson, y Lau (1973) buscando capturar las economías de escala de variables que la función Cobb-Douglas no captura. La función de costos translogarítmica tiene la ventaja de no imponer restricciones a priori sobre las posibilidades de sustitución de los factores de producción. Adicionalmente, permite que las economías de escala varíen de acuerdo con el nivel de producto, lo que hace posible capturar la forma de U de la curva de costos promedio (Christensen y Greene, 1976). Al ser una función flexible, la función translogarítmica permite una aproximación de segundo orden a la función de costos doblemente diferenciable y linealmente homogénea (Christensen y Greene, 1976).

A partir de los dos artículos mencionados, se han desarrollado varias aplicaciones en el sector de agua. Estas aplicaciones se concentran en el servicio de acueducto y varían en el número de productos analizados. En la mayoría de los casos, el análisis se limita a un solo producto, que generalmente se especifica como el volumen de agua suministrada. No obstante lo anterior, en otros estudios se analiza más de un producto, ya sea desagregando producción y distribución o diferenciando entre la venta de agua en bloque y la venta a usuarios residenciales. El análisis de productos de alcantarillado, o de

productos de acueducto y alcantarillado en conjunto es muy limitado, sólo se encontraron un par de estudios en el Reino Unido (Saal y Parker, 2000; Stone y Webster, 2004).

Las formas funcionales utilizadas para estimar economías de escala en el sector de agua incluyen, entre otras, la Cobb-Douglas, Translogarítmica y Cuadrática, siendo la translogarítmica la más utilizada. A pesar de las ventajas que ofrece la función translogarítmica en la estimación de economías de escala, ésta presenta limitaciones para la estimación de economías de alcance, dada la imposibilidad de medir el comportamiento de los costos cuando el nivel de producción es cero. En el caso de economías de alcance y análisis de firmas multiproducto, se favorecen las formas funcionales como las cuadráticas y recientemente la compuesta. Hasta el momento, la función compuesta no ha sido aplicada de forma directa en el sector de agua, sino como parte de un análisis sobre empresas de servicios multiproducto (Piacenza y Vannoni, 2004).

En relación con los costos, se utilizan tanto costos totales como costos variables, generalmente de acuerdo con la disponibilidad de información. Es común utilizar una función de costos variables donde se incluye un factor de capital semifijo que se representa a través de una variable de control. Asociada al tipo de costos, está la selección de los precios. En el caso de los costos totales se incluye un precio de capital, representado generalmente por el costo de capital y/o la depreciación.

Recientemente, se han utilizado variables de control para tener en cuenta las diferentes condiciones operativas y técnicas de las empresas. Estas incluyen variables como número de suscriptores, densidad del área de prestación y variables asociadas a la calidad de producto, entre otras. En el Anexo 1 se presentan en detalle las consideraciones metodológicas de los estudios de economías de escala y alcance en el sector de agua.

Los estudios no sólo varían en la especificación de la función de costos, sino que también se utilizan diferentes medidas para estimar las economías de escala. Las medidas varían desde el inverso de la elasticidad del costo-producto, hasta fórmulas que incluyen el inverso de la suma de varias elasticidades (Ej., elasticidad del número de suscriptores o conexiones). Cuando los costos son variables, se utiliza un factor de ajuste asociado al factor de capital para estimar las economías de escala de largo plazo. En los estudios más recientes se puede observar una tendencia a utilizar medidas de escala que incluyan más de un componente asociado al tamaño (Ej., longitud de redes, número de suscriptores).

Así mismo, es importante tener en cuenta el tamaño de las empresas de la muestra, pues la evidencia o no de economías de escala puede estar asociada a la estructura del sector objeto de estudio de los diferentes análisis. En el Anexo 2 se presentan los resultados de algunos estudios junto con el tipo de medida y la media del producto de la muestra de las empresas. A partir de los valores de la tabla, se construyó una gráfica (ver Anexo 2) para analizar la relación entre la magnitud de las economías de escala y la media del producto de las muestras. Se puede observar una tendencia donde, como es de esperarse, las economías de escala disminuyen a medida que aumenta el producto.

En relación con la medición de economías de alcance, conceptualmente existe consenso y las diferentes medidas están asociadas a la forma funcional de la función de costos. En general, las economías de alcance se dan cuando los costos de la producción conjunta de dos o más productos son menores a los costos de producción por separado de cada

producto. La mayoría de los estudios que involucran el análisis de economías de alcance se limitan a los componentes de un mismo servicio. Salvo en el caso de un estudio reciente en el Reino Unido (Stone y Webster, 2004) casi no existen ejercicios que analicen las economías de alcance de forma integral para los servicios de acueducto y alcantarillado.

3. Modelo Empírico

La función de costos describe la relación entre los costos de producción, los productos y los precios de los factores. Por lo general, el costo total (CT) de producción está compuesto por dos componentes: el costo fijo (CF) que es independiente del nivel de producción, y el costo variable (CV) que varía con el nivel de producción. Bajo determinadas condiciones, se puede suponer que las firmas buscan minimizar sus costos de acuerdo con los niveles de producción y precios dados (factores exógenos) dada una restricción tecnológica. El problema de la minimización se plantea de la siguiente forma:

$$c(w, y) = \text{Min}_x w^* x \quad \text{sujeto a } f(x) = y \quad (1)$$

Donde y representa el nivel de producción y $f(x)$ la función de producción. Por medio del problema de minimización, se obtienen las demandas condicionadas de los factores $x_i^* = x_i^*(w, y)$. Así entonces, y teniendo en cuenta la dualidad entre la función de costos y la función de producción, la función de costos presenta las siguientes características:

1. $c(w, y)$ es no decreciente en los precios de los factores (w): Si $w' \geq w$, entonces $c(w', y) \geq c(w, y)$.
2. $c(w, y)$ es homogénea de grado uno en w : $c(tw, y) = t c(w, y)$ si $t > 0$.
3. $c(w, y)$ es cóncava en w : $c(tw, y + (1-t)w', y) \geq t c(w, y) + (1-t) c(w', y)$.
4. $c(w, y)$ es continua en w , cuando $w \geq 0$.

Adicionalmente, la función de costos cumple con el Lema de Shephard. Por medio de dicho Lema, se puede obtener la función de demanda condicionada de factores:

$$\frac{\partial c(w, y)}{\partial w_i} = x_i(w, y) \quad (2)$$

Es posible que a la empresa le interese alterar las proporciones de los factores (largo plazo) cuando varía el nivel de producto. En tal sentido, la empresa puede presentar economías de escala que se originan cuando los costos no se incrementan en la misma proporción en que se incrementa la producción. De la misma manera, existen economías de alcance cuando una empresa produce una cantidad mayor de dos productos a un menor costo de la que podrían producir dos empresas especializadas.

Con el fin de estimar economías de escala y alcance en los servicios de acueducto y alcantarillado en Colombia, se especificaron varias funciones de costo utilizando diferentes formas funcionales. En el caso de las economías de escala, se utilizó una función translogarítmica. Este tipo de función flexible presenta suficientes grados de libertad haciendo posible una aproximación de segundo orden a una función de costos arbitraria dos veces diferenciable y linealmente homogénea. Adicionalmente, se planteó la función log-lineal o Cobb-Douglas, con el fin de comparar los resultados. La función log-lineal se puede ver como un modelo anidado de la función translogarítmica o en otras

palabras, la función translogarítmica se puede ver como una generalización de la función log-lineal.

Las funciones de costos, las restricciones, y las ecuaciones de participación se desarrollaron de acuerdo con la literatura (Christensen y Greene 1976; Kim y Clark, 1988). La selección de las variables de control incluyó un análisis estadístico de las variables disponibles que se consideraron temáticamente relevantes. No fue posible incluir variables como número de suscriptores y longitud de red total dada la alta colinealidad con la variable producto.

El modelo log-lineal (Modelo 1) planteado para estimar las economías de escala es el siguiente:

$$\ln CV = \alpha_0 + \alpha_Y \ln Y + \sum_i \beta_i \ln P_i + \sum_k \gamma_k \ln Z_k + \sum_t \omega_t t \quad (3)$$

sujeto a la condición sobre los factores de los precios:

$$\sum \beta_i = 1.$$

Donde **CV** corresponde a los **costos variables**, **Y** al producto representado por el **volumen anual facturado** en metros cúbicos, **P_i** a los **precios de los insumos** (P_l = trabajo, P_e = energía y P_m = materiales), **Z_k** corresponde a las **características del sector acueducto y/o alcantarillado** (k = l, d y m, donde l = longitud de red matriz, d = densidad red menor y m = número de municipios), y **t** corresponde es una variable dicótoma que representa los diferentes **años**. Este modelo aplica tanto para el servicio de acueducto (Modelo 1AC), como para el servicio de alcantarillado (Modelo 1AL) y también para los dos servicios de forma conjunta (Modelo 1ACAL).

Así mismo, el modelo translogarítmico (Modelo 2) para estimar economías de escala está definido como:

$$\begin{aligned} \ln CV = & \alpha_0 + \alpha_Y \ln Y + \sum_i \beta_i \ln P_i + \sum_k \gamma_k \ln Z_k + \frac{1}{2} \alpha_{YY} (\ln Y)^2 + \frac{1}{2} \sum_i \sum_j \varepsilon_{ij} (\ln P_i)(\ln P_j) + \frac{1}{2} \sum_k \sum_l \mu_{kl} \ln Z_k \ln Z_l \\ & + \sum_i \delta_{Yi} (\ln Y)(\ln P_i) + \sum_k \delta_{Yk} (\ln Y)(\ln Z_k) + \sum_t \omega_t t \end{aligned} \quad (4)$$

Sujeto a las restricciones de precios y simetría (Christensen et al, 1973) relacionadas con las propiedades de la función de costos descritas (linealmente homogénea, monótonica no decreciente, y cóncava en relación con los precios de los factores):

$$\sum_i \beta_i = 1$$

$$\sum_i \delta_{Yi} = 0$$

$$\sum_j \varepsilon_{ij} = 0$$

$$\sum_i \zeta_{ik} = 0$$

$$\varepsilon_{ij} = \varepsilon_{ji}$$

$$\zeta_{ik} = \zeta_{ki}$$

$$\mu_{kl} = \mu_{lk}$$

Las funciones de costo se estiman a partir de la ecuación 4 y las ecuaciones de participación de los insumos en los costos. Estas ecuaciones de participación se deducen del Lema de Shephard:

$$S_i = \frac{P_i X_i}{CV} = \frac{\partial \text{Ln} CV}{\partial \text{Ln} P_i}$$

Donde la participación de los costos de un factor se expresa como la derivada del costo con respecto a ese factor. Para el Modelo 2, la ecuación de participación de costos se expresa como:

$$S_i = \beta_i + \sum_j \varepsilon_{ij} \ln P_j + \delta_{Yi} \ln Y + \sum_k \xi_{ik} \text{Ln} Z_k \quad (5)$$

El Modelo 2 se aplica para el servicio de acueducto (Modelo 2AC) y para alcantarillado (Modelo 2AL) por separado, y para ambos servicios de manera conjunta (Modelo 2ACAL).

En el caso de las economías de alcance, se utilizó una función de costos cuadrática, debido a que mediante la función de costos translogarítmica no es posible medir el comportamiento de los costos cuando algún nivel de producción es nulo. El modelo cuadrático (Modelo 3) planteado es el siguiente:

$$CV_{it} = \alpha_i + \sum_{Y=1}^2 \beta_Y Y_{it,Y} + \frac{1}{2} \sum_{Y=1}^2 \gamma_Y Y_{it,Y}^2 + \phi Y_{it,1} Y_{it,2} + \sum_{Y=1}^2 \sum_i \eta_{Yi} Y_{it,Y} P_i + \sum_k \gamma_k \text{Ln} Z_k + \sum_t \omega_t t \quad (6)$$

Donde las ecuaciones de participación se definen como:

$$S_i = \sum_{Y=1}^2 \eta_{Yi} \ln Y_{it,Y} \quad (7)$$

Dado que el modelo cuadrático se utiliza para estimar las economías de alcance exclusivamente, este modelo sólo se aplica para los servicios de acueducto y alcantarillado de forma conjunta.

3.1. Economías de Escala

En general, las economías de escala describen el comportamiento de los costos de acuerdo con una variación en los productos y otras variables relacionadas con el tamaño (Ej., número de suscriptores, longitud de red). A partir de las funciones de costos variables definidas en la sección anterior, es posible estimar diferentes medidas de economías de

escala utilizando la elasticidad del costo variable en relación con el producto o productos y con el componente semifijo de capital.

Las medidas que se utilizaron en este estudio son las medidas de producción y las medidas de escala desarrolladas por Caves et al (1981 y 1984) y Antonioli & Filippini (2002).

3.1.1. Economías de Escala de Corto Plazo o Medidas de Producción

Para una función con un solo producto, las economías de escala de corto plazo se miden utilizando el inverso de la elasticidad del producto. Existen economías de escala si al aumentar la producción disminuyen los costos variables promedio, cuando las otras variables de la función de costos permanecen constantes. Las economías de escala de corto plazo se pueden expresar como:

$$ES_C = \left(\frac{\partial \ln VC}{\partial \ln Y_i} \right)^{-1} \quad (8)$$

Existen economías de producción o de corto plazo si ES_C es mayor que uno (1), economías de producción constantes si ES_C es igual a uno, y deseconomías de producción si ES_C es menor que uno. En el caso de funciones de costos multiproducto, las economías de producción globales se pueden medir como la suma de las economías de producción de cada producto (ES_{GC}):

$$ES_{GC} = \frac{1}{\sum_i \left(\frac{\partial \ln VC}{\partial \ln Y_i} \right)} \quad (9)$$

3.1.2. Economías de Escala de Largo Plazo

Para una función de costos variables de un solo producto, las economías de escala de largo plazo se miden como uno menos la elasticidad del factor de capital dividido entre la elasticidad del producto. En varias aplicaciones este factor de capital se representa utilizando la longitud de red, sin embargo, en este caso dada la alta colinealidad entre el producto y la longitud de red total, se utilizó la longitud de red matriz. Las economías de escala se pueden expresar como:

$$ES_L = \frac{1 - \left(\frac{\partial VC}{\partial Z_i} \right)}{\left(\frac{\partial VC}{\partial Y_i} \right)} \quad (10)$$

Existen economías de escala de largo plazo si al tener un incremento en la producción el costo variable se incrementa en una proporción menor, cuando la capacidad de

producción no es constante. Las medidas de economías de escala de corto y largo plazo se estiman para la media de las variables de la muestra.

Adicionalmente, se estimaron las economías de escala de largo plazo teniendo en cuenta el número de municipios mediante la siguiente expresión:

$$ES_{LM} = \frac{1 - \left(\frac{\partial VC}{\partial Z_l} \right)}{\left(\frac{\partial VC}{\partial Y_i} \right) + \left(\frac{\partial VC}{\partial Z_m} \right)} \quad (11)$$

Esta medida es útil, ya que la iniciativa de regionalización incluye la agregación de varios municipios bajo un mismo prestador. Así entonces, se puede tener una idea del impacto del número de municipios sobre las economías de escala en el largo plazo, que a través de éstos se puede identificar el tamaño óptimo de ellos.

3.2. Economías de Alcance

Las economías de alcance se dan cuando los costos de la producción conjunta de dos o más productos son menores a los costos de producción por separado de cada producto. De acuerdo con Pulley y Humphrey (1991), las economías de alcance se derivan de:

- (1) la reducción de costos fijos, y
- (2) la complementariedad de los costos dada la producción conjunta.

Como se mencionó en la sección anterior, para estimar economías de alcance para los servicios de acueducto y alcantarillado se utilizó una función de costos cuadrática. A partir de la especificación cuadrática, es posible estimar las economías de alcance de acuerdo con la fórmula propuesta por Pulley y Humphrey (1991):

$$EA = \frac{\alpha_0 - \delta_{ij} Y_i Y_j}{VC(Y_i, Y_j; \mathbf{P}; \mathbf{Z})} \quad (12)$$

Donde, el intercepto de la función cuadrática representa el ahorro en los costos fijos que se distribuyen entre los dos productos, y δ_{ij} representa la complementariedad entre los costos de ambos productos. Existen economías de escala si δ_{ij} es negativo, y por consiguiente si EA es positivo.

4. Datos y Procedimiento

La información utilizada en este análisis fue tomada del Sistema Único de Información (SUI) de acuerdo con la disponibilidad de datos. Para el análisis de economías de escala de acueducto se obtuvo información completa para 77 empresas representadas en una muestra desbalanceada para el periodo 2003 - 2005 de 170 observaciones. Para el análisis de economías de escala de alcantarillado se contó con información completa para 49 empresas representadas en 100 observaciones para el periodo 2003 - 2005. Finalmente, para el análisis de economías de escala y alcance de acueducto y alcantarillado se utilizaron las empresas que prestan uno o ambos servicios y tienen información completa según el caso. Para lo anterior, fue necesario distinguir entre las empresas que prestan un sólo servicio efectivamente y las empresas que tienen información disponible sólo para un servicio, estas últimas fueron descartadas. En el caso del modelo translogarítmico de acueducto y alcantarillado, se reemplazó el valor del producto cero (0) por 0.0001 para las empresas que prestan un sólo servicio.

Las estadísticas descriptivas de las variables incluidas en el modelo se presentan en las Tablas 4-1 y 4-2 para la muestra de acueducto y alcantarillado, respectivamente. Para los costos variables se utilizaron las cuentas de los estados financieros reportados por las empresas al SUI. Las cuentas que se incluyeron en los costos variables están relacionadas con los costos de energía, personal, insumos y otros materiales. Un listado detallado de las cuentas utilizadas se incluye en el Anexo 3. Para los productos de acueducto y alcantarillado se utilizaron los metros cúbicos facturados y los metros cúbicos vertidos facturados respectivamente.

Tabla 4-1. Estadísticas Descriptivas – Acueducto

VARIABLE	MEDIA	DESV. EST.	MIN	MAX
Costo Variable (\$)	13.200.000	33.400.000	167.000	231.000.000
Volumen Facturado (1000 m ³)	18.900	44.700	249	270.000
Precio Materiales y Otros (\$)	4.827	4.129	110	24.900
Precio Energía (\$)	0,28	0,31	0,11	4,05
Precio Trabajo (\$)	9.980	7.472	1.608	56.500
Longitud Red Matriz (km)	146,18	325,13	2,00	2.362,00
Número de Municipios	2,85	5,24	1,00	35,00
Densidad Red Menor (Sus./km)	241,29	363,06	54,98	4.457,33

Fuente: SUI, Cálculos CRA.

Tabla 4-2. Estadísticas Descriptivas – Alcantarillado

VARIABLE	MEDIA	DESV. EST.	MIN	MAX
Costo Variable (\$)	6.440.000	16.600.000	65.800	91.500.000
Volumen Facturado (1000 m ³)	19.300	47.200	24	252.000
Precio Materiales y Otros (\$)	2.480	1.896	28	10.300
Precio Energía (\$)	2,99	27,52	0,11	275,39
Precio Trabajo (\$)	10.400	9.800	867	59.400
Longitud Red Matriz (km)	144,75	517,07	1,00	3.522,00
Número de Municipios	2,93	4,65	1,00	33,00
Densidad Red Menor (Sus./km)	205,20	127,92	30,74	899,96

Fuente: SUI, Cálculos CRA.

Los precios de energía se tomaron de los precios por kilovatio/hora reportados al SUI por las empresas directamente. Dado que las empresas sólo han reportado precios para los

procesos de acueducto, y considerando que una misma empresa debe obtener precios similares independientes de su uso final, se utilizaron los precios reportados de acueducto para el caso de alcantarillado.

Los precios de personal se calcularon dividiendo los costos de personal por el número de empleados. Los precios de materiales y otros, se calcularon dividiendo la suma de los costos variables no pertenecientes a energía o personal por la longitud de red total.

En varios de los estudios donde se utiliza costo variable, el factor de capital se representa mediante el tamaño físico de alguno de los activos, generalmente la longitud de red. En este caso, se utilizó la longitud de red matriz o primaria dado que no fue posible utilizar la longitud de red total debido a la alta colinealidad con los productos, tanto de acueducto como de alcantarillado. En relación con las variables operativas de control, se utilizó el número de municipios de prestación y la densidad de la red menor. La densidad de la red menor se utilizó como una aproximación a la densidad del área de prestación, y se estimó dividiendo el número de suscriptores por la longitud de red menor.

Las funciones de costos translogarítmicas y cuadráticas se estimaron conjuntamente con las ecuaciones de participación (como la que se presenta en la fórmula cinco), formando un sistema de ecuaciones sujeto a las restricciones impuestas y descritas en la sección anterior. Para hacer operativo el sistema, se eliminó una de las ecuaciones de participación. Las variables de la función de costos se normalizaron utilizando la media. Finalmente, el sistema de ecuaciones se resolvió utilizando el método de Mínimos Cuadrados Generalizados Factibles Iterativo de Zellner (1962). Los resultados de resolver los sistemas de ecuaciones para cada uno de los modelos se presentan en la siguiente sección.

5. Resultados

5.1. Economías de Escala

Los parámetros de los diferentes modelos utilizados para la estimación de economías de escala se presentan en las Tablas 5-1 y 5-2 a continuación.

Tabla 5-1 Resultados Modelo Log-Lineal y Translogarítmico Acueducto y Alcantarillado

Coefficiente	Modelo 2 AC	Error Est.	Modelo 1 AC	Error Est.	Modelo 2 AL	Error Est.	Modelo 1 AC	Error Est.
q	0.601	(0.04)	0.654	(0,035)	0.553	(0,094)	0,450	(0,046)
pl	0.595	(0.01)	0,466	(0,045)	0.718	(0,033)	0,464	(0,053)
pe	0.092	(0.01)	0,164	(0,045)	-0.011	(0,033)	0,217	(0,057)
l	0.245	(0.05)	0,189	(0,036)	0.164	(0,094)	0,287	(0,052)
d	-0.335	(0.10)	-0,024	(0,049)	0.211	(0,212)	-0,355	(0,111)
m	0.096	(0.05)	0,078	(0,038)	0.199	(0,099)	0,184	(0,062)
q2	0.087	(0.03)			0.201	(0,04)		
pl2	0.096	(0.01)			0.096	(0,013)		
pe2	-0.050	(0.01)			-0.025	(0,011)		
l2	0.081	(0.05)			0.102	(0,057)		
d2	-0.061	(0.06)			-0.075	(0,185)		
m2	-0.214	(0.08)			0.016	(0,103)		
pl*pe	0.040	(0.01)			0.025	(0,01)		
l*d	0.073	(0.04)			0.208	(0,133)		
L*m	0.063	(0.05)			0.039	(0,061)		
D*m	-0.009	(0.08)			0.179	(0,153)		
q*pl	0.029	(0.01)			0.008	(0,012)		
Q*pe	-0.030	(0.01)			-0.015	(0,01)		
q*l	-0.063	(0.03)			-0.128	(0,037)		
q*d	-0.163	(0.05)			-0.124	(0,101)		
Q*m	-0.053	(0.04)			-0.035	(0,069)		
pl*l	-0.049	(0.01)			-0.026	(0,014)		
pl*d	0.030	(0.02)			0.061	(0,029)		
pl*m	0.016	(0.01)			0.025	(0,017)		
pe*l	0.011	(0.01)			0.003	(0,011)		
pe*d	0.023	(0.02)			0,011	(0,023)		
pe*m	0.006	(0.01)			-0,010	(0,013)		
t1	-0.005	(0.05)	0,020	(0,064)	0,034	(0,082)	0,161	(0,125)
t2	0.011	(0.05)	0,008	(0,065)	-0,088	(0,08)	0,101	(0,123)
_cons	-0.252	(0.06)	-2,801	(0,492)	-0,080	(0,12)	1,886	(0,861)

Fuente: Cálculos CRA.

La Tabla 5-1 presenta los diferentes coeficientes y los errores estándar (entre paréntesis) de las distintas variables que se utilizaron en el modelo y del tipo de modelo que se utilizó, log-lineal o translogarítmico tanto para el sector de acueducto como de alcantarillado. Para la estimación de estas curvas de costos, se utilizó el volumen facturado de acueducto (q_{ac}), el volumen facturado de alcantarillado (q_{al}), el precio de la mano de obra (pl), precio de energía (pe), precio de materiales y otros (pm), la densidad (d), longitud red

matriz (l) y número de municipios donde presta el servicio (m). De la misma forma, se estimaron las diferentes interacciones entre las variables y valores al cuadrado.

Los resultados del modelo log-lineal son más fáciles de comprender ya que por su estructura no presentan interacciones entre las variables. En el caso del modelo log-lineal para el servicio de acueducto, un aumento del 10% en la producción de volumen facturado, aumenta en un 6,5% el costo de producción, cuando las otras variables permanecen constantes. De la misma manera, se observa que un aumento del 10% en la longitud de la red matriz, aumenta en 1,89% el costo. Por otro lado, un aumento del 10% en la densidad disminuye el costo en 2,4%.

De la misma forma, la Tabla 5-2 presenta los resultados de la regresión del modelo log-lineal y translogarítmico para el sector de acueducto y alcantarillado. El mismo modelo presenta las elasticidades para cambios en longitud de redes matriz, densidad y número de municipios donde una empresa presta sus servicios. Un aumento del 10% en los kilómetros de la longitud de red matriz, aumenta el costo en un 2,01% y un aumento del 10% en la densidad reduce el costo en un 1.66%.

Tabla 5-2 Resultados de los Modelos 1 y 2 de Acueducto y Alcantarillado en Conjunto

Coefficiente	Modelo 2 ACAL	Error Est.	Modelo 1 ACAL	Er. Est.
qac	0,456	(0,195)	0,456	(0,094)
qal	0,166	(0,185)	0,134	(0,078)
pl	0,650	(0,02)	0,527	(0,047)
pe	0,039	(0,023)	0,119	(0,041)
l	0,146	(0,085)	0,201	(0,058)
m	0,182	(0,067)	0,128	(0,043)
d	-0,097	(0,168)	-0,166	(0,073)
qac2	0,058	(0,352)		
pl2	0,139	(0,011)		
pe2	-0,021	(0,01)		
qal2	0,089	(0,193)		
l2	0,005	(0,119)		
m2	-0,163	(0,09)		
d2	-0,308	(0,124)		
pl*pe	0,012	(0,008)		
qal*l	-0,191	(0,198)		
qal*m	0,010	(0,156)		
l*m	0,029	(0,071)		
qal*d	0,357	(0,199)		
l*d	0,187	(0,134)		
m*d	0,222	(0,138)		
qac*pl	0,045	(0,02)		
qac*pe	-0,015	(0,025)		
qac*qal	-0,001	(0,247)		
qac*l	0,145	(0,238)		
qac*m	-0,069	(0,14)		
qac*d	-0,576	(0,22)		
pl*qal	-0,012	(0,019)		

Coefficiente	Modelo 2 ACAL	Error Est.	Modelo 1 ACAL	Er. Est.
pl ^{*l}	-0,077	(0,014)		
pl ^{*m}	0,019	(0,011)		
pl ^{*d}	0,127	(0,01)		
pe ^{*gal}	-0,01	(0,02)		
pe ^{*l}	0,017	(0,015)		
pe ^{*m}	0,012	(0,011)		
pe ^{*d}	-0,029	(0,018)		
t1	0,033	(0,053)	0,014	(0,079)
t2	-0,023	(0,053)	-0,003	(0,078)
const.	-0,101	(0,078)	-1,227	(0,664)

Fuente: Cálculos CRA.

A partir de los parámetros de los modelos que se presentan en las Tablas 5-1 y 5-2, se estimaron las economías de escala de corto y de largo plazo para la media de los datos, los resultados se presentan en la Tabla 5-3.

Tabla 5-3 Economías de escala de corto y largo plazo, servicio de acueducto y alcantarillado por separado

	Acueducto		Alcantarillado	
	Log - Lineal	Translogarítmico	Log - Lineal	Translogarítmico
Corto Plazo	1.53	1.69	2.22	1.82
Largo Plazo	1.24	1.31	1.59	1.61
Largo Plazo (municipios)	1.10	0.95	1.12	1.23

Fuente: Cálculos CRA.

Como se observa en la Tabla 5-3, el servicio de acueducto presenta economías de escala tanto de corto como de largo plazo. El único caso donde no se presentan economías de escala es para la medida de largo plazo que incluye el número de municipios. Para el caso del servicio de alcantarillado, tanto a corto como a largo plazo existe evidencia de economías de escala (mayores que 1). Como se puede ver, los resultados de los modelos log-lineal y translogarítmico son muy similares y consistentes.

Adicionalmente, se encontraron economías de escala globales (Tabla 5-4) de acuerdo con la función multiproducto del modelo translogarítmico para acueducto y alcantarillado.

Tabla 5-4. Economías de escala de corto y largo plazo, servicio acueducto y alcantarillado en conjunto (multiproducto)

	Acueducto y Alcantarillado (Multiproducto)	
	Log - Lineal	Translogarítmico
Corto Plazo	1.69	2.01
Largo Plazo	1.35	1.39
Largo Plazo (municipios)	1.11	0.92

Fuente: Cálculos CRA.

De igual forma, se estimaron las economías de escala tomando en cuenta el tamaño de las empresas. Las empresas se clasificaron en tres grupos: pequeñas (menores o iguales a 10.000 suscriptores), medianas (entre 10.001 y 99.999 suscriptores) y grandes (mayores o iguales a 100.000 suscriptores). Las empresas se clasificaron dependiendo

del tamaño de la ciudad donde prestan sus servicios y de la cantidad de usuarios que atiende, de la misma forma se trató de balancear la cantidad de información para cada grupo. Lo importante en este punto es determinar el tamaño óptimo de la empresa tipo del mercado que puede aprovechar economías de escala, tamaño que es estimado más adelante. En tal sentido, los tamaños determinados anteriormente pueden variar.

Tabla 5-5. Economías de escala de corto y largo plazo servicio de acueducto y alcantarillado de acuerdo con el tamaño de las empresas

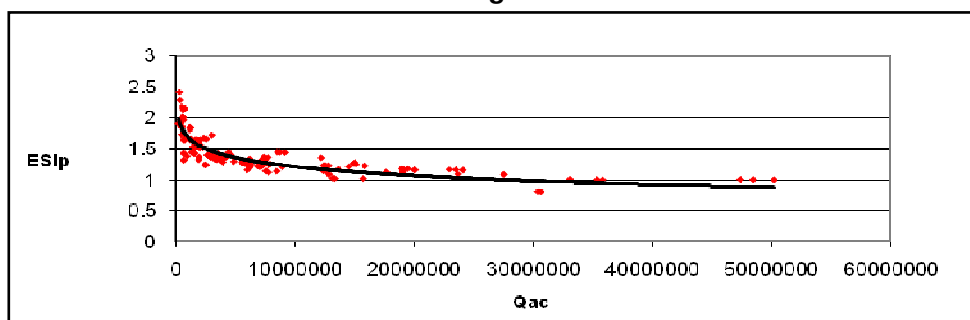
	Acueducto			Alcantarillado		
	Peq.	Med.	Gr.	Peq.	Med.	Gr.
Corto Plazo	2.16	1.58	1.19	6.67	1.68	0.84
Largo Plazo	1.70	1.28	0.96	5.16	1.53	0.82
Largo Plazo (mun)	1.04	0.93	0.87	2.42	1.21	0.68

Fuente: Cálculos CRA.

Como se puede ver la **Tabla 5-5** existen economías de escala de corto y largo plazo tanto en acueducto como en alcantarillado para las empresas clasificadas como **pequeñas y medianas**. En tal sentido, en estos grupos de empresas a medida que la producción crece, sus costos por unidad producida se reducen. **En el caso de las empresas grandes, en general, se presentan deseconomías de escala a corto y largo plazo.**

Al mismo tiempo, en el Gráfico 5-1 se observa la relación entre las economías de escala de largo plazo y el producto para el servicio de acueducto. Como se puede ver en el gráfico, las economías de escala disminuyen a medida que aumenta el producto. Así entonces, el nivel de producto en donde las economías de escala son constantes (iguales o cercanas a 1) correspondería al tamaño óptimo de las empresas dentro del intervalo de la muestra analizada. De acuerdo con el gráfico, este tamaño está alrededor de 28 millones de metros cúbicos que equivale a aproximadamente 149.572 suscriptores, asumiendo un consumo promedio de 187,2 metros cúbicos anuales por suscriptor (promedio de consumo de los años 2004 - 2005). Por ejemplo, una empresa como Aguas de Cartagena, en el año 2005, tenía una facturación anual de 35.840.786 metros cúbicos y un número de suscriptores promedio de acueducto de 148.127.

Gráfico 5-1 Economías de Escala de Largo Plazo vs. Metros Cúbicos Facturados

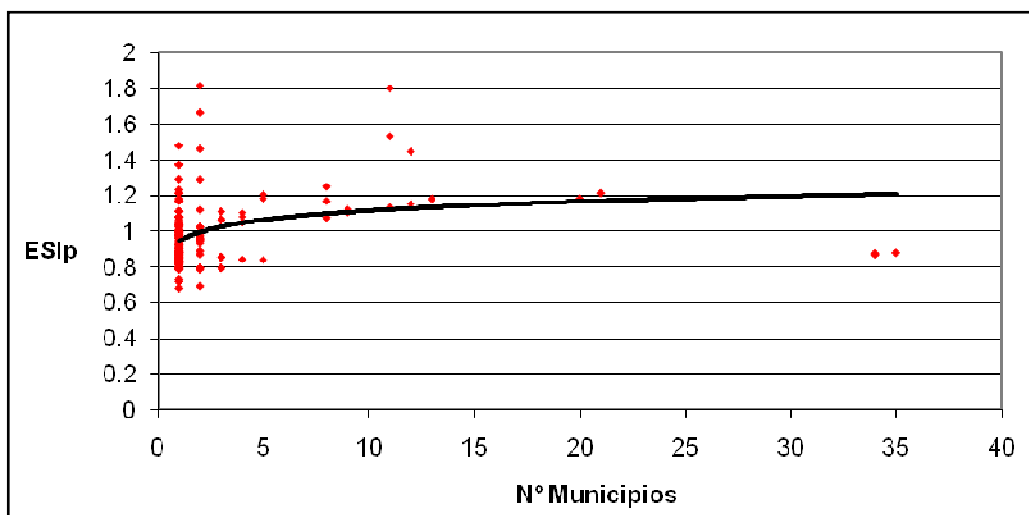


Fuente: Cálculos CRA.

Por otro lado, es de interés conocer la relación entre las economías de escala y el número de municipios. Como se puede observar en el Gráfico 5-2, las economías de escala aumentan a medida que aumenta el número de municipios, para dos municipios las economías de escala son constantes (iguales a uno). A partir de dos municipios, las economías de escala aumentan, presentando rendimientos marginales decrecientes. Es

decir, a medida que aumenta el número de municipios las economías de escala van en aumento pero cada vez en menor medida.

Gráfico 5-2. Economías de Escala de Largo Plazo vs. Número de Municipios



Fuente: Cálculos CRA.

5.2. Economías de Alcance

Los resultados del modelo cuadrático (Modelo 3) utilizado para estimar economías de alcance en los servicios de acueducto y alcantarillado se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 5-6. Resultados modelo cuadrático

	Cuadrático ACAL	Er. Est.	Int. Inf.	Int. Sup.
lqac	0,153	(0,172)	-0.184	0.490
lqal	0,535	(0,148)	0.245	0.824
lqac2	0,161	(0,117)	-0.069	0.391
lqal2	0,211	(0,182)	-0.145	0.568
lqacqal	-0,215	(0,156)	-0.522	0.091
lqacpl	-0,004	(0,023)	-0.049	0.042
lqacpe	0,004	(0,013)	-0.021	0.029
lqalpl	-0,000	(0,021)	-0.041	0.041
lqalpe	-0,006	(0,012)	-0.029	0.017
lrlm	0,087	(0,044)	0.000	0.173
ldi	-0,041	(0,041)	-0.122	0.039
intow	0,006	(0,026)	-0.044	0.056
t1	0,061	(0,076)	-0.088	0.210
t2	0,030	(0,074)		

	Cuadrático ACAL	Er. Est.	Int. Inf.	Int. Sup.
			-0.116	0.176
cons	0,162	(0,075)	0.014	0.310

Fuente: Cálculos CRA.

De acuerdo con los parámetros del modelo cuadrático y de la Fórmula 12, se encontraron economías de alcance para el servicio de acueducto y alcantarillado. La interacción entre los dos productos es negativa (-0.215), por lo tanto, un aumento en la producción de uno de los productos, disminuye el costo variable total de producción de ambos productos. Este es un resultado importante en la medida en que se demuestra que es más beneficioso para la sociedad que una sola empresa preste los dos servicios aprovechando dichas economías y un argumento para buscar la fusión de empresas que presten los servicios por separado.

Las economías de alcance estimadas se presentan en la Tabla 5-7 a continuación.

Tabla 5-7. Economías de Alcance

Economías de Alcance	Intervalo Economías de Alcance	
0.38	0.22	0.54

Fuente: Cálculos CRA.

El valor de las economías de alcance es positivo, sin embargo, dado que el error estándar es alto, se utilizó el límite inferior y superior del intervalo de confianza al 95% del parámetro de interacción entre los productos. En tal sentido, y como se puede ver en la tabla, **las economías de alcance son positivas** para los valores de los límites del intervalo de confianza del parámetro de interacción, corroborando la existencia de economías de alcance.

6. Conclusiones y Recomendaciones

Los resultados del análisis econométrico de implementar las funciones de costo variable con una forma funcional translogarítmica para los servicios de acueducto y alcantarillado proporciona evidencia de la presencia de economías de escala para los servicios de acueducto y alcantarillado. De esta forma, las economías de escala estimadas son mayores para empresas pequeñas y se agotan en el caso de empresas grandes.

De igual forma, los análisis evidenciaron la presencia de economías de alcance en los servicios de acueducto y alcantarillado. En tal sentido, la producción de manera conjunta de acueducto y alcantarillado es menos costosa que la producción por separado, siendo económicamente más ventajosa la prestación simultánea de los dos servicios.

Así mismo, se evidencia el potencial en términos de aprovechar economías de escala en el caso de que las empresas presten sus servicios en más de un municipio. A partir de dos municipios, las economías de escala empiezan a incrementarse con rendimientos marginales decrecientes. Así entonces, hay evidencia de que puede ser favorable aglomerar mercados de servicios públicos de agua potable y saneamiento básico mediante las iniciativas de regionalización para aprovechar dichas economías.

Pese a que no fue posible incluir la variable suscriptores directamente, ésta se incluyó mediante la variable densidad. El coeficiente resultante de la variable densidad en general es negativo (tanto en el modelo donde se considera acueducto y alcantarillado por separado como conjunto), lo que sugiere, como es de esperarse, la existencia de una relación negativa entre los costos variables y la densidad de los suscriptores.

Los resultados que se obtuvieron se compararon (1) en general con los resultados de otros estudios similares en países como Estados Unidos, Italia y Japón, y (2) en particular con el estudio del Banco Mundial sobre Colombia y otros países en desarrollo (Nauges y Berg, 2007). En el primer caso se encontró que los resultados son coherentes con los lineamientos teóricos en general y los órdenes de magnitud de los parámetros de los modelos. Por otra parte, los resultados del estudio del Banco Mundial, que estima las economías de escala en el servicio de acueducto en Colombia, son consistentes con los resultados del presente análisis.

La evidencia de la presencia de economías de escala y alcance en los servicios de acueducto y alcantarillado proporciona el soporte técnico para que la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico ejerza su facultad de escindir o fusionar empresas. Este sustento económico es un respaldo para los artículos 73.13 y 73.14 de la Ley de los Servicios Públicos Domiciliarios donde se especifica claramente que dicho proceso debe ir acompañado de estudios que demuestren que ello es indispensable para extender la cobertura y abaratar los costos.

Los resultados de este estudio constituyen un primer ejercicio para el análisis cuantitativo de economías de escala y alcance en los servicios de acueducto y alcantarillado. Sin embargo, es posible profundizar sobre varios de los aspectos relacionados con un ejercicio de este tipo. Por ejemplo, sería importante profundizar sobre las características de las empresas que prestan el servicio en más de un municipio, las variables de producto para incluir productos como pérdidas de agua y agua en bloque, y variables relacionadas con los excedentes de capacidad, la calidad del producto y la naturaleza jurídica de las

empresas. Adicionalmente, sería interesante, cuando la información esté disponible, realizar análisis multiproducto desagregando los servicios en varios de sus componentes.

Para complementar este análisis, es importante determinar qué incentivos se pueden generar desde la regulación para aprovechar las economías de escala del sector. También es importante, identificar las condiciones socio-económicas en donde se han dado casos de aglomeración. Así mismo, este análisis se debe contemplar en el contexto de otros análisis como el Análisis de Aglomeración de la Industria de Acueducto y Alcantarillado en Colombia desarrollado por el Departamento Nacional de Planeación (2005) donde la consolidación se estudia a partir de un análisis geográfico. Adicionalmente, sería útil integrar el análisis al ejercicio DEA, para comparar los resultados frente a un modelo no paramétrico.

Finalmente, es importante aclarar que la evidencia de economías de escala es sólo uno de los factores a considerar cuando se busque alterar la estructura del sector mediante acciones como la escisión o fusión de empresas de servicios de acueducto y alcantarillado. Cualquier acción en este respecto debe tener en cuenta las condiciones particulares de cada caso y sus consecuencias tanto en el contexto local como regional.

7. Referencias

Antonioli B., Filippini M., 2001. The use of a variable cost function in the regulation of the Italian water industry. *Quaderno N. 02-01*.

Ashton J., 2003. Economies of scale, economies of capital utilization and capital utilisation in the English and Welsh water industry, *Service Industries Journal*, 23(5), 137–149.

Banco Mundial, 2004. Colombia: Desarrollo Económico Reciente en Infraestructura. Balanceando las necesidades sociales y productivas de infraestructura. *Informes de Base. Sector de Agua Potable*.

Bhattacharyya A, Parker E, Raffiee K, 1994. An examination of the effect of ownership on the relative efficiency of public and private water utilities. *Land Economics* 70, 197–209.

Caves DW, Christensen LR, Tretheway MW (1984) Economies of density versus economies of scale: Why trunk and local service airline costs differ. *Rand Journal of Economics* 15: 471–489

Caves, W.C., Christensen, L.R., Swanson, J.A., 1981. Productivity growth, scale economies, and capacity utilization in U.S. railroads, 1955–74. *American Economic Review* 71, 994–1002.

Christensen LR, Greene WH, 1976. Economies of scale in U.S. electric power generation. *Journal of Political Economy* 84, 655–676.

Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico, 2001. *El Estado del Arte de la Regulación en el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico en Colombia*. Bogotá.

Consejo Nacional de Política Económica y Social, República de Colombia
Departamento Nacional de Planeación, 2005. *Análisis de Aglomeración de la Industria de Acueducto y Alcantarillado en Colombia*. Subdirección de Agua y Ambiente, Dirección de Desarrollo Urbano y Política Ambiental.

Departamento Nacional de Planeación, 2007. *Planes Departamentales de Agua y Saneamiento para el Manejo Empresarial de Los Servicios De Acueducto, Alcantarillado Y Aseo*. Documento CONPES No. 3463.

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, 5 – 29.

Greene WH, 1993. *Análisis Econométrico*, 3rd Ed. Prentice Hall, New Jersey.

Hayes K., 1987. Cost structure of the water utility industry. *Applied Economics*, 19, 417-425.

Kim HY, Clark RM, 1988. Economies of scale and scope in water supply. *Regional Science and Urban Economics* 18, 479–502.

McFadden D., 1978. Cost, Revenue, and Profit Functions. *Production Economics: A Dual Approach to Theory and Applications Volume I: The Theory of Production*.

Mizutani F, Urakami T, 2001. Identifying network density and scale economies for Japanese water supply organizations. *Papers in Regional Science* 80, 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. WPS4137.

Nerlove, 1963. Returns to Scale in Electricity Supply. In *Measurement in Economics: Studies in Mathematical Economics and Econometrics in Memory of Yehuda Grunfeld*, edited by Carl F. Christ. Stanford, Calif.: Stanford Univ. Press.

Piacenza M., Vannoni D., 2004. Choosing among alternative cost function specifications: An application to Italian multi-utilities. *Economics Letters*, vol 82, 415.

Pulley L., Humphrey D., 1991. Scope Economies: Fixed Costs, Complementarity, and Functional Form. Working Paper 91-3.

Renzetti S., 1999. Municipal Water Supply and Sewage Treatment: Costs, Prices, and Distortions. *The Canadian Journal of Economics*, Vol 32, No 3, 688-704.

Saal D.S., Parker D, 2000. The impact of privatisation and regulation on the water and sewerage industry in England and Wales: a translog cost function Approach. *Managerial and Decision Economics*, 21:6, 253-268.

Sauer J., 2005. Economies of scale and firm size optimum in rural water supply. *Water Resources Research*, vol. 41.

Stone y Webster, 2004. Investigation into evidence for economies of scale in the water and sewerage industry in England and Wales, final report, London.

Torres M., Paul C., 2006. Driving forces for consolidation or fragmentation of the US water utility industry: A cost function approach with endogenous output. *Journal of Urban Economics* 59, 104–120.

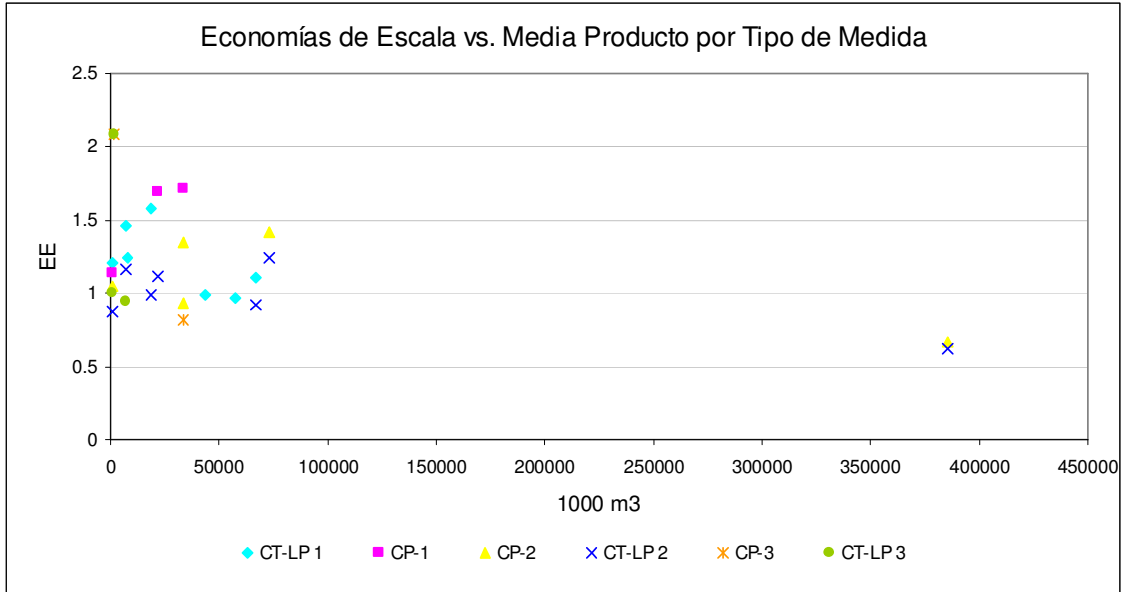
Anexo 1: Características Funciones Utilizadas Análisis Economías Escala y Alcance

Fuente	Forma Funcional y Tipo de Costo	Datos	Precios	Productos	Otras Variables
Ashton, 2003	Translog, Costo Variable	20 empresas de acueducto del Reino Unido, período 1991-1996	<ul style="list-style-type: none"> Trabajo Otros (costos de arriendos, materiales y energía divididos por los activos totales) 	<ul style="list-style-type: none"> Volumen anual de agua suministrada a los hogares 	<ul style="list-style-type: none"> Stock de Capital (activos operativos) Densidad de Población del área de prestación
Hayes, 1987	Cuadrática Generalizada, Costo Total	475 empresas de acueducto de Estados Unidos, años 1960, 1970, 1976		<ul style="list-style-type: none"> Volumen de agua producida para venta al detal Volumen de agua producida para venta en bloque 	
Fabrizi y Fraquelli, 2000	Translog, Costo Total	173 empresas de acueducto de Italia, 1991	<ul style="list-style-type: none"> Trabajo Energía Materiales y Capital (depreciación y costo de materiales divididos por longitud de red) 	<ul style="list-style-type: none"> Volumen anual de agua suministrada 	<ul style="list-style-type: none"> Número de usuarios Densidad (población/longitud de red) Costo de insumo de agua Porcentaje de costos de tratamiento
Sauer, 2005	McFadden Simétrica Generalizada, Costo Variable	47 empresas de acueducto en áreas rurales de Alemania, 2000-2001	<ul style="list-style-type: none"> Trabajo Energía Químicos 	<ul style="list-style-type: none"> Volumen anual de agua suministrada 	<ul style="list-style-type: none"> Numero de conexiones Longitud de red Proporción de agua subterránea Equity
Kim y Clark, 1988	Translog, Costo Total	60 empresas de acueducto de Estados Unidos para 1973	<ul style="list-style-type: none"> Trabajo Capital Energía 	<ul style="list-style-type: none"> Volumen diario de agua suministrada a usuarios residenciales Volumen diario de agua suministrada a usuarios no residenciales 	<ul style="list-style-type: none"> Capacidad Utilizada Distancia de la planta de tratamiento al área de servicio
Stone y Webster, 2004	<ul style="list-style-type: none"> Translog Costo Variable y Costo Total (escala) Cuadrática Generalizada Costo Variable y Costo Total (alcance) 	38 empresas de acueducto y alcantarillado para los periodos 1992-1993 y 2002-2003	<ul style="list-style-type: none"> Trabajo Energía Capital Otros (costos no relacionados con trabajo, energía o capital) 	<p>Acueducto:</p> <ul style="list-style-type: none"> Volumen diario de agua suministrada Conexiones de Acueducto <p>Alcantarillado:</p> <ul style="list-style-type: none"> Conexiones de alcantarillado Población equivalente con servicio de alcantarillado 	<ul style="list-style-type: none"> Índices de cumplimiento con los estándares de calidad del agua potable % de población conectada a la red de alcantarillado que recibe tratamiento secundario Propiedades por debajo del nivel de referencia de presión Propiedades con suspensiones superiores a 12 horas Propiedades con riesgo de inundación de alcantarillado Porcentaje de micromedición Altura promedio de bombeo Porcentaje de agua fuente de río Porcentaje de aguas residuales industriales
14 Mizutani Urakami, 2001	<ul style="list-style-type: none"> Translog, Costo Total 	112 empresas de acueducto de Japón, 1994	<ul style="list-style-type: none"> Trabajo Energía Materiales Capital 	<ul style="list-style-type: none"> Volumen anual de agua suministrada 	<ul style="list-style-type: none"> Densidad de la red Capacidad Utilizada Nivel de tratamiento Proporción de consumo residencial Proporción de agua no proveniente de presas Proporción de agua no proveniente de fuentes subterráneas
García y	Translog, Costo	55 empresas de	<ul style="list-style-type: none"> Trabajo 	<ul style="list-style-type: none"> Volumen facturado 	<ul style="list-style-type: none"> Número de conexiones

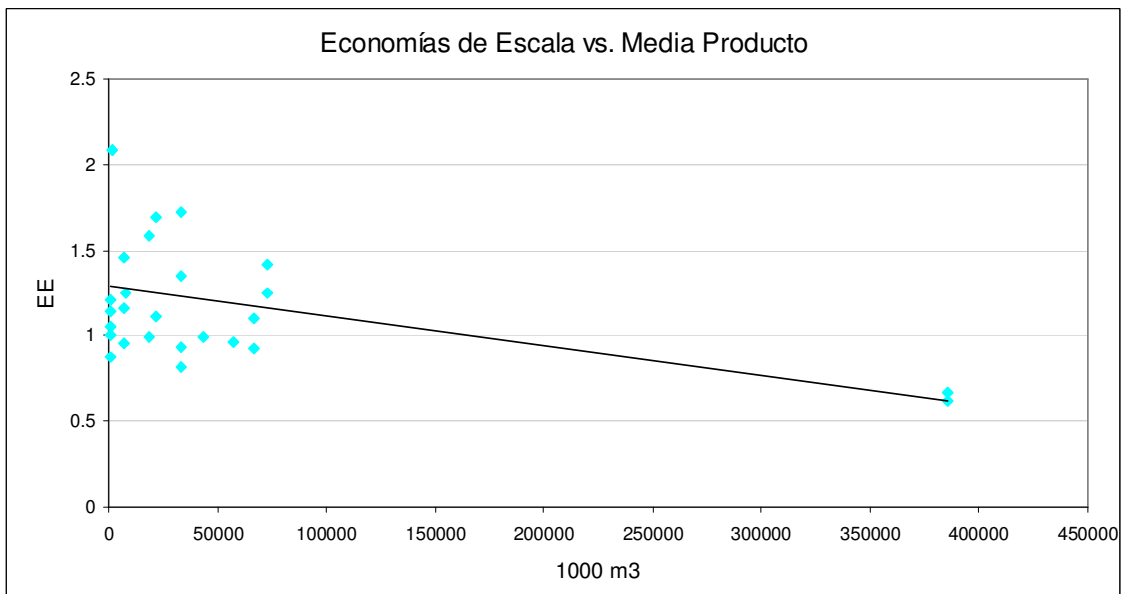
Thomas, 2001	Variable	acueducto de Francia, periodo 1995- 1997	<ul style="list-style-type: none"> • Energía • Materiales 	<ul style="list-style-type: none"> • Volumen de Pérdidas (diferencia entre el volumen distribuido y el volumen facturado) 	<ul style="list-style-type: none"> • Número de comunidades locales de prestación • Longitud de red • Capacidad de Producción • Stocking • Capacidad de Bombeo
Antonioli y Filippini, 2002	Cobb–Douglas, Costo Variable	32 empresas de distribución de acueducto, periodo 1991-1995	<ul style="list-style-type: none"> • Trabajo 	<ul style="list-style-type: none"> • Volumen de agua distribuida 	<ul style="list-style-type: none"> • Número de usuarios • Longitud de red • Porcentaje de pérdidas en la red • Numero de pozos • Tratamiento químico (variable dicótoma)
Nauges y van den Berg, 2007	Translog, Costo Variable	<ul style="list-style-type: none"> • 27 empresas de acueducto y alcantarillado regionales de Brasil, 1996-2004 • 48 empresas de acueducto y alcantarillado de Colombia, periodo 2003-2004 • 41 empresas de acueducto y alcantarillado de Moldova, 1996-2004 • 67 empresas de acueducto de Vietnam, 1997-2000 	<ul style="list-style-type: none"> • Trabajo • Energía • Servicios contratados externos • Misceláneos 	<ul style="list-style-type: none"> • Volumen anual de agua producida 	<ul style="list-style-type: none"> • Longitud de Red • Horas de servicio día • Proporción de agua facturada sobre agua producida • Porcentaje micromedición • Número de municipios de prestación • Número de roturas de red • Población a que se le presta el servicio • Porcentaje de usuarios residencial
Torres y Paul, 2005	Cuadrática Generalizada de Leontief (GLQ), Costo Variable	255 empresas de acueducto de Estados Unidos, 1996	<ul style="list-style-type: none"> • Trabajo • Energía • Agua comprada 	<ul style="list-style-type: none"> • Volumen de agua vendida en bloque • Volumen de agua vendida a usuarios finales 	<ul style="list-style-type: none"> • Capacidad de almacenamiento • Capacidad de tratamiento • Porcentaje de agua distribuida de fuentes subterráneas • Número de usuarios • Tamaño del área de prestación • Gastos en químicos
Renzetti, 1999	Translog, Costo Total	77 empresas de acueducto y alcantarillado de Canada, 1991	<ul style="list-style-type: none"> • Trabajo • Energía • Capital 	<p>Acueducto:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Volumen de agua usuarios residenciales • Volumen de agua usuarios no residenciales <p>Alcantarillado:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Volumen de agua residual tratadas 	<p>Acueducto:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Densidad de población del municipio de prestación <p>Alcantarillado:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Densidad de población del municipio de prestación • Tipo de tratamiento (aguas residuales)
Saal y Parker, 2000	Translog, Costo Total	• Empresas de acueducto y alcantarillado del Reino Unido	<ul style="list-style-type: none"> • Trabajo • Capital • Materiales, energía y otros servicios 	<ul style="list-style-type: none"> • Población residencial atendida por el sistema de acueducto, ajustado por factores de calidad • Población conectada al sistema de alcantarillado, ajustado por factores de calidad 	<ul style="list-style-type: none"> • Tipo de propiedad • Aplicación de revisión periódica OFWAT
Bhattacharyya et al, 1994	Translog, Costo Variable	• 257 empresas de acueducto en Estados Unidos, 1992	<ul style="list-style-type: none"> • Trabajo • Energía • Materiales 	<ul style="list-style-type: none"> • Volumen de agua suministrada 	<ul style="list-style-type: none"> • Factor de Capital Fijo • Número de fallas de red por unidad de producto • Tipo de Propiedad

Anexo 2: Resultados y Medidas de los Estudios Economías de Escala y Alcance

Fuente	Tipo de Costo	Medida	Economías de Escala	Tamaño Promedio (1000 m3/año)
Ashton, 2003	Costo Variable	<ul style="list-style-type: none"> Largo plazo; producto 	0,96	57.536
Hayes, 1987	Costo Total	<ul style="list-style-type: none"> Producto Producto 	1,90 (mínimo) 0,95 (máximo)	4.732 (mínimo) 132.489 (máximo)
Fabbri y Fraquelli, 2000	Costo Total	<ul style="list-style-type: none"> Producto Producto y conexiones 	1,58 0,99	18.860
Sauer, 2005	Costo Variable	<ul style="list-style-type: none"> Corto plazo; producto, conexiones y longitud de red Largo plazo; producto, conexiones y longitud de red 	2,08 2,08	1.200
Kim y Clark, 1988	Costo Total	<ul style="list-style-type: none"> Producto 	0,99	43.200
Stone y Webster, 2004	Costo Variable	<ul style="list-style-type: none"> Corto Plazo; producto y numero de conexiones Corto Plazo; producto y numero de conexiones Largo Plazo; producto y numero de conexiones Largo Plazo; producto y numero de conexiones 	0,67** 1,42* 0,62** 1,25*	385.440** 73.000*
Mizutani y Urakami, 2001	Costo Total	<ul style="list-style-type: none"> Producto Producto y longitud de red 	1,10 0,92	66.620
García y Thomas, 2001	Costo Variable	<ul style="list-style-type: none"> Corto plazo; producto Largo plazo; producto Corto plazo; producto y conexiones Largo plazo; producto y conexiones Largo plazo; producto, conexiones y comunidades locales 	1,14 1,20 1,04 0,87 1,00	555
Antonioli y Filippini, 2002	Costo Variable	<ul style="list-style-type: none"> Largo plazo; producto Largo plazo; producto y conexiones Largo plazo; producto, conexiones y longitud de red 	1,46 1,16 0,95	6.772 (mediana)
Nauges y van den Berg, 2007	Costo Variable	<ul style="list-style-type: none"> Corto plazo; producto Largo Plazo; producto y conexiones 	1,68 1,11	22.000
Torres y Paul, 2005	Costo Variable	<ul style="list-style-type: none"> Corto plazo; producto Corto plazo; producto y conexiones Corto plazo; producto y área de servicio Corto plazo; producto, conexiones y área de servicio 	1,72 1,35 0,93 0,81	33.228
Renzetti, 1999	Costo Total	<ul style="list-style-type: none"> Producto 	1,24	8.100
Saal y Parker, 2000	Costo Total	<ul style="list-style-type: none"> Producto (Global: Acueducto+Alcantarillado) 	0,83	ND



CT-LP: Costo Total, Costo Variable Largo Plazo
 CP: Costo Variable Largo Plazo
 1: una medida de tamaño
 2: dos medidas de tamaño
 3: tres medidas de tamaño



Anexo 3: Lista de Cuentas Costos

INCLUIDAS

51, 534507, 534508, 534509, 7505, 7510, 7517, 7537, 7540, 7545, 7550, 7560, 7570, 753701, 753702, 753703, 753704, 753705, 757004, 757005.

EXCLUIDAS

510206, 510207, 510208, 510209, 510210, 510211, 510212, 510213, 510214, 511141, 5120, 750526, 750527, 750528, 750561, 750562, 750563, 750564, 750565, 750566, 750569, 751029.