



Desarrollo y Sociedad

ISSN: 0120-3584

revistadesarrolloy sociedad@uniandes.edu.co

Universidad de Los Andes

Colombia

Revollo, Daniel; Londoño, Giovanna

Análisis de las economías de escala y alcance en los servicios de acueducto y alcantarillado en  
Colombia

Desarrollo y Sociedad, núm. 66, 2010, pp. 145-182

Universidad de Los Andes

Bogotá, Colombia

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=169120015005>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto



## **Análisis de las economías de escala y alcance en los servicios de acueducto y alcantarillado en Colombia\***

### ***Analysis of Economies of Scale and Scope in Water Supply and Sanitation Services in Colombia***

Daniel Revollo \*\*  
Giovanna Londoño \*\*\*

#### **Resumen**

Una de las principales características del sector de acueducto y alcantarillado en Colombia es el alto nivel de atomización en la prestación de tales servicios. Este nivel es el resultado de los procesos de descentralización de fines de la década de los ochenta y los cambios implementados en los noventa, que modificaron el esquema de prestación al pasar de un sistema centralizado a uno municipal numeroso y bastante heterogéneo. Esto ha impedido que se generen condiciones suficientes para el óptimo aprovechamiento de las economías de escala y alcance, en desmedro del bienestar de la sociedad.

---

\* La opinión de los autores y los resultados encontrados en esta investigación no comprometen el pensamiento y los estudios técnicos realizados sobre el tema por la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico (CRA). Todo lo plasmado en el presente documento es de exclusiva responsabilidad de los autores y no de la CRA.

\*\* Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico (CRA), Colombia. Correo electrónico: [drevollofer@gmail.com](mailto:drevollofer@gmail.com).

\*\*\* Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico (CRA), Colombia. Correo electrónico: [giovannalondono@gmail.com](mailto:giovannalondono@gmail.com).

Este artículo fue recibido el 12 de febrero de 2009; modificado el 5 de agosto de 2010 y, finalmente, aceptado el 19 de agosto de 2010.

A través de la estimación de funciones de costo tipo Cobb-Douglas y translogarítmicas, se verifica la presencia de economías de escala y alcance para los servicios de acueducto y alcantarillado en Colombia. Dichas economías pueden servir para diseñar políticas que mejoren la eficiencia en el uso y la conservación del agua. De igual forma, se identifica que las empresas consideradas medianas y pequeñas presentan mayores economías de escala que las empresas grandes (en este caso, las economías de escala son bajas o casi nulas).

*Palabras clave:* economías de escala, economías de alcance, acueducto y alcantarillado, función de costo translogarítmica.

*Clasificación JEL:* L11, L51, L95.

## **Abstract**

One of the main characteristics of water and sewerage sector in Colombia is the high level of fragmentation of service delivery. This level of fragmentation is the result of decentralization in the late eighties and the changes implemented in the nineties. This change resulted in changes in the pattern of provision, from a centralized to a large municipal scheme and quite heterogeneous, preventing them from generating sufficient conditions for the exploitation of economies of scale and scope against the well being of society.

Through the estimation of cost functions Cobb Douglas and Translog, we verify the presence of economies of scale and scope for water and sewerage services in Colombia, these economies can be used to design policies to improve the efficiency and the conservation of this natural resource (water). Similarly, it is identified that considered medium and small companies have greater economies of scale that large companies (in this case, economies of scale are low or almost nil).

*Key words:* Economies of scale, economies of scope, water and sewer, translog cost function.

*JEL classification:* L11, L51, L95.



## **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 (DNP, 2007). A la fecha, hay registrados 2.244 prestadores en la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (SSPD), repartidos en 887 municipios, con un promedio de 2,5 operadores por municipio.

Este nivel de atomización es el resultado de los procesos de descentralización de fines de la década de los ochenta y los cambios implementados en los noventa (Constitución Política; ley 142 de 1994). Este cambio originó modificaciones en el esquema de prestación y se pasó de un sistema centralizado (en 1974 se crearon las entidades departamentales con la participación de los departamentos, municipios y el Instituto de Fomento Municipal, Infopal, creado en 1950, las cuales eran las encargadas de financiar, planificar, diseñar, construir, operar, mantener y administrar los servicios públicos) a un esquema municipal con prestadores numerosos y bastantes heterogéneos (en 1989 se liquidó el Infopal y se inició el traslado de las empresas a los departamentos y municipios con la infraestructura que se tenía). El alto número de entidades prestadoras y su gran dispersión han impedido que se generen condiciones suficientes para el aprovechamiento de economías de escala, disminuir los costos de producción asociados a la prestación de estos servicios y evitar la atomización de los recursos aportados por el Estado (DNP, 2007). 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 las economías de escala, desarticulación de las diferentes fuentes de recursos, planificación y preinversión deficiente, falta de integralidad y de visión regional, limitado acceso al crédito y 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) han recomendado a la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico (CRA) que acelere el desarrollo de una regulación que ordene la liquidación de los prestadores públicos ineficientes y de fusión.

Según los artículos 73.13 y 73.14 de la ley 142 de 1994, la CRA tiene la potestad para escindir empresas que utilicen su posición dominante para impedir el desarrollo de la competencia en un mercado, o para fusionarlas si es indispensable para extender la cobertura y abaratar los costos de los usuarios, con el fin de 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 pueden generar herramientas para fusionar o crear mercados regionales de acueducto y alcantarillado, con un consecuente aumento en la eficiencia en el sector.

La consolidación de la estructura industrial del sector es una clara necesidad para mejorar la eficiencia en la prestación del servicio. Por lo tanto, la exploración del tema de las economías de escala y alcance proporcionaría los soportes técnicos necesarios para desarrollar el proceso de fusión y escisión de empresas y de la regionalización. Así, 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.

De igual forma, es necesario indicar que a nivel mundial existe escasa evidencia empírica de la estimación de economías de escala, en su mayoría para países desarrollados. A nivel de la región, la revisión bibliográfica realizada sólo encontró un trabajo de estimación de economías de escala realizado por Nauges y Van den Berg (2007) para Brasil, Colombia, Moldavia y Vietnam, con una muestra de 48 empresas para el caso colombiano, donde se considera el servicio de acueducto y alcantarillado como un solo producto (uniprodueto) y donde sólo se considera la etapa de producción. La diferencia con la presente investigación es que la muestra de empresas es mayor (77 empresas), se realiza la estimación de las economías de escala y alcance (primera estimación para la región) y se consideran las etapas



de distribución, del acueducto, y recolección, del alcantarillado (multi-producto). En tal sentido, se considera que el estudio realizado llena un vacío que existe en la literatura empírica sobre la estimación de dichas economías tanto a nivel mundial como regional y que puede servir de guía para estimarlas en otros países.

Este documento se organiza en cinco secciones. La primera incluye una revisión de la literatura relacionada con el análisis de las 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. En la tercera sección se ofrece una descripción de los datos y el procedimiento utilizado para estimar el modelo. En la cuarta sección se presentan los resultados de la implementación del modelo. En la última sección aparecen las conclusiones y recomendaciones.

## **I. Revisión de la 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 permitan 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 tiene como precedente las aplicaciones en el sector eléctrico. La primera aplicación de análisis estadístico de costos para medir economías de escala fue desarrollada por Nerlove (1963), quien utilizó una función de costos Cobb-Douglas (loglineal) para estimar economías de escala en el sector eléctrico de Estados Unidos.

Al considerar las características de un sector regulado, como lo es el eléctrico, Nerlove argumentó que era posible considerar que: a) la producción y los precios de los insumos son exógenos a la firma y b) las firmas buscan minimizar sus costos de acuerdo con niveles de producción y precios dados. A partir de estos supuestos, Nerlove 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, Christensen y Greene (1976) actualizaron el estudio de Nerlove (1963) utilizando la función de costos translogarítmica introducida por Christensen y Jorgenson (1973), con el propósito de 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, en otros estudios se analiza más de un producto, ya sea desagregando la producción y la 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, la translogarítmica y la cuadrática, siendo la translogarítmica la más utilizada. A pesar de las ventajas que ofrece la función translogarítmica en la estimación de economías de escala, esta 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 las 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 incluya un factor de capital semifijo que se representa a través de una variable de control. Asociada al tipo de costos, encontramos 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 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 del 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 (por ejemplo, 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 (por ejemplo, longitud de redes, número de suscriptores).

Así mismo, es importante tener en cuenta el tamaño de las empresas de la muestra, pues la evidencia de la existencia 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 del cuadro, se construyó un gráfico (véase el 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 Stone y Webster (2004), no existen ejercicios que analicen las economías de alcance de forma integral para los servicios de acueducto y alcantarillado.

## **II. 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. En 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, 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  $w$ :  $c(t w + (1-t)w', y) \geq t c(w, y) + (1-t) c(w', y)$ .
- 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 del que podrían producir dos empresas especializadas.

Con el fin de estimar las economías de escala y alcance en los servicios de acueducto y alcantarillado en Colombia, se especificaron varias funciones de costo variable utilizando diferentes formas funcionales.

No se considera directamente el precio o retorno del capital fijo por razones de información. Sin embargo, los estudios que estiman economías de escala para países desarrollados aconsejan incluir el factor de capital a través de una variable *proxy* como el tamaño físico de alguno de los activos, debido a que dichos servicios se caracterizan por sus altos costos fijos, lo que justifica la creación de estructuras monopolísticas naturales (Ashton, 2003; Stone y Webster, 2004; Nauges y Van den Berg, 2007). En el caso de las economías de escala, se utilizó una función translogarítmica. Este tipo de función flexible presenta suficientes grados de libertad, lo que hace posible una aproximación de segundo orden a una función de costos arbitraria dos veces diferenciable y linealmente homogénea. Además, se plantearon las funciones loglineal y Cobb-Douglas, con el fin de comparar los resultados. La función loglineal 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 loglineal.

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 el número de suscriptores y la longitud de red total, dada la alta colinealidad con la variable producto.

El modelo loglineal (modelo 1) planteado para estimar las economías de escala es el siguiente:

$$\ln CV = \alpha_0 + \alpha_1 \ln Y + \sum_i \beta_i \ln P_i + \sum_k \gamma_k \ln Z_k + \sum_t w_t t \quad (3)$$

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 o alcantarillado* ( $k = l, d$  y  $m$ , donde  $l$  = longitud de red matriz,  $d$  = densidad red menor y  $m$  = número de municipios), y  $t$  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:

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

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:

$$S_i = \frac{P_i X_i}{CV} = \frac{\partial \ln CV}{\partial \ln P_i},$$

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:

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

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:

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

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.

## A. 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 (por ejemplo, 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, Christensen y Swanson (1981), Caves, Christensen y Tretheway (1984) y Antonioli y Filippini (2001).

### 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, 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 ( $ES_{GC}$ ):

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

## 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:

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

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

## **B. 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 a) la reducción de costos fijos y b) la complementariedad de los costos, dada la producción conjunta.

Como se mencionó en la sección anterior, para estimar las 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):

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

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

## **III. 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 las economías de escala del acueducto se obtuvo información completa para 77 empresas representadas en una muestra desbalanceada de 170 observaciones para el período 2003-2005. Para el análisis de economías de escala del alcantarillado se contó con información completa para 49 empresas representadas en 100 observaciones para el período 2003-2005. Finalmente, para el análisis de las economías de escala y alcance del acueducto y el 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 solo 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 por 0,0001 para las empresas que prestan un sólo servicio.

Las estadísticas descriptivas de las variables incluidas en el modelo se presentan en los cuadros 1 y 2 para las muestras 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. Para los productos de acueducto y alcantarillado se utilizaron los metros cúbicos facturados y los metros cúbicos vertidos facturados, respectivamente.

**Cuadro 1. Estadísticas descriptivas - Acueducto.**

Variable	Media	Desv. est.	Min	Max
Costo variable (\$)	13.200.000	33.400.000	167	231.000.000
Volumen facturado (1.000 m <sup>3</sup> )	18,90	44,70	249,00	270,00
Precio materiales y otros (\$)	4,83	4,13	110,00	24,90
Precio energía (\$)	0,28	0,31	0,11	4,05
Precio trabajo (\$)	9,98	7,47	1,61	56,50
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, 2008.

**Cuadro 2. Estadísticas descriptivas - Alcantarillado.**

Variable	Media	Desv. est.	Min	Max
Costo variable (\$)	6.440.000	16.600.000	66	91.500.000
Volumen facturado (1.000 m <sup>3</sup> )	19,30	47,20	24,00	252,00
Precio materiales y otros (\$)	2,48	1,90	28,00	10,30
Precio energía (\$)	2,99	27,52	0,11	275,39
Precio trabajo (\$)	10,40	9,80	867,00	59,40
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, 2008.



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 del 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 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 del acueducto como del 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 ecuación 5) y se formó 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.

## IV. Resultados

### A. Economías de escala

Los parámetros de los diferentes modelos utilizados para la estimación de las economías de escala se presentan en los cuadros 3 y 4. El cuadro 3 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, loglineal o translogarítmico, tanto para el sector de acueducto como para el 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 de la red matriz ( $l$ ) y el número de municipios donde presta el servicio ( $m$ ). De la misma forma, se estimaron las diferentes interacciones entre las variables y los valores al cuadrado.

Cuadro 3. Resultados modelo loglineal y translogarítmico de acueducto y alcantarillado.

Coef.	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	(0,040)		
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	(0,010)		
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)		

(Continúa)

**Cuadro 3.** Resultados modelo loglineal y translogarítmico de acueducto y alcantarillado (continuación).

Coef.	Modelo 2 AC	Error est.	Modelo 1 AC	Error est.	Modelo 2 AL	Error est.	Modelo 1 AC	Error est.
q*pl	0,029	(-0,01)			0,008	(0,012)		
Q*pe	-0,03	(-0,01)			-0,015	(0,010)		
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	0,03	(-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	(0,080)	0,101	(0,123)
const.	-0,252	(-0,06)	-2,801	(0,492)	-0,080	(0,120)	1,886	(0,861)

Fuente: cálculos CRA, 2008.

**Cuadro 4.** Resultados de los modelos 1 y 2 de acueducto y alcantarillado en conjunto.

Coefficiente	Modelo 2 ACAL	Error est.	Modelo 1 ACAL	Error est.
qac	0,456	(0,195)	0,456	(0,094)
qal	0,166	(0,185)	0,134	(0,078)
pl	0,650	(0,020)	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	(0,010)		
qal2	0,089	(0,193)		
l2	0,005	(0,119)		
m2	-0,163	(0,090)		
d2	-0,308	(0,124)		
pl*pe	0,012	(0,008)		
qal*l	-0,191	(0,198)		

(Continúa)

**Cuadro 4.** Resultados de los modelos 1 y 2 de acueducto y alcantarillado en conjunto (continuación).

Coefficiente	Modelo 2 ACAL	Error est.	Modelo 1 ACAL	Error est.
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	(0,020)		
qac*pe	-0,015	(0,025)		
qac*qal	-0,001	(0,247)		
qac*l	0,145	(0,238)		
qac*m	-0,069	(0,140)		
qac*d	-0,576	(0,220)		
pl*qal	-0,012	(0,019)		
pl*l	-0,077	(0,014)		
pl*m	0,019	(0,011)		
pl*d	0,127	(0,010)		
pe*qal	-0,010	(0,020)		
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, 2008.

Los resultados del modelo loglineal son más fáciles de comprender, ya que por su estructura no presentan interacciones entre las variables. En el caso del modelo loglineal para el servicio de acueducto, un aumento del 10% en la producción de volumen facturado aumenta en 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, el cuadro 4 presenta los resultados de la regresión del modelo loglineal y translogarítmico para el sector de acueducto y alcantarillado. El mismo modelo presenta las elasticidades para

cambios en la longitud de las 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 2,01% y un aumento del 10% en la densidad reduce el costo en 1,66%.

A partir de los parámetros de los modelos que se presentan en los cuadros 3 y 4, se estimaron las economías de escala de corto y de largo plazo para la media de los datos y los resultados se presentan en el cuadro 5. Como se observa, 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 en 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 uno). Como se puede ver, los resultados de los modelos loglineal y translogarítmico son muy similares y consistentes. Adicionalmente, se encontraron economías de escala globales (cuadro 6), de acuerdo con la función multiproducto del modelo translogarítmico para acueducto y alcantarillado.

**Cuadro 5. Economías de escala de corto y largo plazo, servicio de acueducto y alcantarillado por separado.**

	Acueducto		Alcantarillado	
	Loglineal	Translog.	Loglineal	Translog.
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, 2008.

**Cuadro 6. Economías de escala de corto y largo plazo, servicio acueducto y alcantarillado en conjunto (multiproducto).**

	Acueducto y alcantarillado (multiproducto)	
	Loglineal	Translogarítmico
Corto plazo	1,69	2,01
Largo plazo	1,35	1,39
Largo plazo (municipios)	1,11	0,92

Fuente: cálculos CRA, 2008.

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.

Como se puede ver en el cuadro 7, 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.

**Cuadro 7.** Economías de escala de corto y largo plazo para el servicio de acueducto y alcantarillado de acuerdo con el tamaño de las empresas.

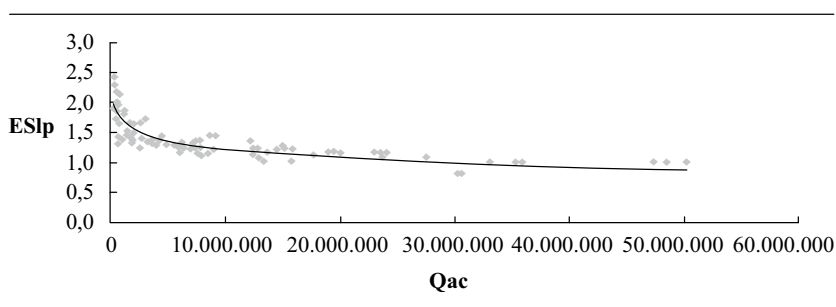
	Acueducto			Alcantarillado		
	Peq.	Med.	Gr.	Peq.	Med.	Gr.
Corto plazo	2,16	1,58	1,19	6,67	1,68	0,84
Largo plazo	1,70	1,28	0,96	5,16	1,53	0,82
Largo plazo (mun.)	1,04	0,93	0,87	2,42	1,21	0,68

*Fuente:* cálculos CRA, 2008.

Al mismo tiempo, en el gráfico 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, el nivel de producto en donde las economías de escala son constantes (iguales o cercanas a uno) 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 aproximadamente a 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 2005, tenía una facturación anual de 35.840.786 metros cúbicos y un número de suscriptores promedio de acueducto de 148.127.

**Gráfico 1. Economías de escala de largo plazo versus metros cúbicos facturados.**



Fuente: cálculos CRA, 2008.

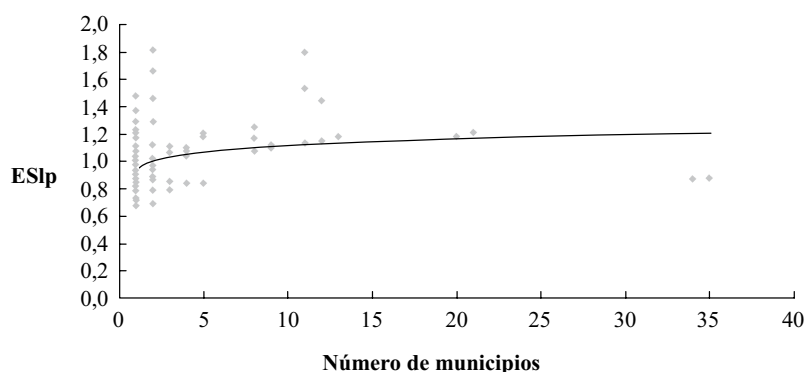
Por otro lado, es de interés conocer la relación entre las economías de escala y el número de municipios. Como se puede observar en el gráfico 2, las economías de escala aumentan a medida que aumenta el número de municipios; para dos municipios las economías de escala son constantes (iguales a uno). A partir de dos municipios, las economías de escala aumentan y presentan 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.

## **B. 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 el cuadro 8. De acuerdo con los parámetros del modelo cuadrático y de la ecuación 12, se encontraron economías de alcance para los servicios de acueducto y alcantarillado. La interacción entre los dos productos es negativa (-0,215), por lo tanto, un aumento en la



Gráfico 2. Economías de escala de largo plazo versus número de municipios.



Fuente: cálculos CRA, 2008.

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 es un argumento para buscar la fusión de las empresas que presten los servicios por separado.

Cuadro 8. Resultados modelo cuadrático.

	Cuadrático ACAL	Error 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	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)	-0,116	0,176
const.	0,162	(0,075)	0,014	0,310

Fuente: cálculos CRA, 2008.

El valor de las economías de alcance es positivo (cuadro 9), aunque, dado que el error estándar es alto, se utilizaron los límites 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 el cuadro, las economías de alcance son positivas para los valores de los límites del intervalo de confianza del parámetro de interacción, lo que corrobora la existencia de economías de alcance.

**Cuadro 9. Economías de alcance.**

<b>Economías de alcance</b>	<b>Intervalo economías de alcance</b>	
0,38	0,22	0,54

*Fuente:* cálculos CRA, 2008.

La política dirigida a los sectores de acueducto y alcantarillado en Colombia entre 1970 y 1990 estaba manejada en su totalidad por el Gobierno central, incluidos su financiación, desarrollo y administración; esta situación cambió en 1989 con la liquidación del Instituto de Fomento Municipal (Insfopal) que otorgaba créditos con bajos intereses, transferencias o subsidios para infraestructura a través del Fondo de Fomento Municipal; con el traslado del manejo de las empresas con la infraestructura a los departamentos y municipios, similar a lo sucedido en otros países de la región, donde además de generar empresas grandes y eficientes en las principales ciudades, también generó prestadores pequeños, ineficientes, con escasas capacidades para recuperar los costos a través de tarifas y con restricciones financieras para mejorar la cobertura y la calidad del servicio. En consecuencia, desde fines de los años ochenta se permitió la participación privada; sin embargo, las inversiones del sector público siguen siendo grandes, particularmente a través de las transferencias del Estado a los municipios. El excesivo número de empresas que prestan el servicio (en algunos casos con pocos suscriptores) y su dispersión en el territorio originan una deficiencia en la destinación de los recursos o en algunos casos un desinterés por parte de las empresas privadas en invertir en ellas por los nulos beneficios económicos, con una consecuente ineficiencia en la prestación del servicio y un deterioro en la infraestructura por no tener acceso a más fuentes de recursos económicos.

En tal sentido, el hallazgo encontrado por esta investigación de la presencia de economías de escala y alcance en el sector de acueducto

y alcantarillado en Colombia sustenta la creación e implementación de los Planes Departamentales de Agua (PDA) por parte del Gobierno Nacional, con la finalidad de regionalizar el servicio y generar unidades de escala de provisión óptima. Se debe buscar la coordinación de los diferentes actores que se involucran en la prestación del servicio (municipios, gobernaciones, corporaciones autónomas regionales, prestadores de servicios y entes de control) para generar regionalmente proyectos, prestación del servicio, un uso racional del recurso hídrico, acceso a crédito, apalancamiento financiero, la posibilidad de realizar fusiones y adquisiciones entre empresas. Todo esto con la finalidad de buscar un mayor beneficio para toda la sociedad y principalmente otorgarles acceso o mejores condiciones en la prestación del servicio a aquellas regiones o comunidades en las cuales algunas empresas no desean prestar el servicio debido a que no obtienen beneficios económicos.

## **V. Conclusiones y recomendaciones**

Los resultados del análisis econométrico realizado de implementar las funciones de costo variable con una forma funcional translogarítmica para los servicios de acueducto y alcantarillado proporcionan 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 las 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 de aprovechamiento de las economías de escala cuando las empresas prestan sus servicios en más de un municipio. A partir de dos municipios, las economías de escala empiezan a incrementarse con rendimientos marginales decrecientes. Así, hay evidencia de que puede ser favorable aglomerar los mercados de servicios públicos de agua potable y saneamiento básico mediante



las iniciativas de regionalización (Planes Departamentales de Agua) para aprovechar dichas economías.

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

Los resultados obtenidos se compararon: a) en general, con los resultados de otros estudios similares en países como Estados Unidos, Italia y Japón y b) en particular, con el estudio del Banco Mundial (2004) sobre Colombia y otros países en desarrollo (Nauges y Van den Berg, 2007). En el primer caso se encontró que los resultados son coherentes con los lineamientos teóricos generales 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 (CRA) 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. La CRA tiene el objetivo de desarrollar metodologías de eficiencia para el componente de costos de inversión, como ya ocurre con el componente de costos administrativos y de operación. En tal sentido, la CRA viene desarrollando la llamada “metodología de eficiencia para el componente de inversiones”, que busca que los recursos recaudados con las tarifas a través del componente de inversiones sean destinados estrictamente al cumplimiento de las inversiones necesarias para atender las necesidades de prestación del servicio.

De igual forma, la evidencia encontrada sugiere que en la medida en que una empresa preste ambos servicios y que los preste a más suscriptores, el costo se hace menor, en beneficio de la sociedad. Debe procurarse trasladar dichas ganancias de eficiencia a los consumidores, a través de un mejor servicio con las mismas tarifas o de menores tarifas pero con igual calidad. Los beneficios económicos de una mayor eficiencia mediante economías de escala y alcance deberían dirigirse principalmente a las poblaciones de clase baja, mediante el incremento de la cobertura, la calidad y la continuidad del servicio, para tratar que el servicio sea universal.

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

Para complementar este análisis, es importante determinar qué incentivos se pueden establecer en la regulación para aprovechar las economías de escala del sector. También es importante identificar las condiciones socioeconómicas en donde se han dado casos de aglomeración. Así mismo, este análisis se debe contemplar en el contexto de otros estudios como el del Conpes y DNP (2005), donde la consolidación se estudia a partir de un análisis geográfico. Además, 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 que deben considerarse cuando se busque alterar la estructura del sector mediante acciones como la escisión o fusión de las empresas de los servicios de acueducto y alcantarillado. Cualquier acción al respecto debe tomar en cuenta las condiciones particulares de cada caso y sus consecuencias, tanto en el contexto local como en el regional.



## Referencias

1. ANTONIOLI, B. y FILIPPINI, M. (2001). "The use of a variable cost function in the regulation of the Italian water industry", *Quaderno*, 02-01.
2. 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.
3. BANCO MUNDIAL (2004). "Colombia: desarrollo económico reciente en infraestructura. Balanceando las necesidades sociales y productivas de infraestructura", *Informes de base. Sector de agua potable*.
4. BHATTACHARYYA, A., PARKER, E. y 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.
5. CAVES, D. W., CHRISTENSEN, L. R. y TRETHERWAY, M. W. (1984). "Economies of density versus economies of scale: Why trunk and local service airline costs differ", *Rand Journal of Economics*, 15:471-489.
6. CAVES, W. C., CHRISTENSEN, L. R. y SWANSON, J. A. (1981). "Productivity growth, scale economies, and capacity utilization in U.S. railroads, 1955-74", *American Economic Review*, 71:994-1002.
7. CHRISTENSEN, L. R. y JORGENSON, D. W. (1973). "Measuring economic performance in the private sector", in D. W. Jorgenson (1995a, Chapter 5, pp. 175-272).
8. CHRISTENSEN, L. R., y GREENE, W. H. (1976). "Economies of scale in U.S. electric power generation", *Journal of Political Economy*, 84:655-676.

9. COMISIÓN DE REGULACIÓN DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO BÁSICO (CAR) (2001). “El estado del arte de la regulación en el sector de agua potable y saneamiento básico en Colombia”. Bogotá.
10. CONSEJO NACIONAL DE POLÍTICA ECONÓMICA Y SOCIAL (Conpes) y DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN (DNP) (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.
11. DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACIÓN (DNP) (2007). “Planes departamentales de agua y saneamiento para el manejo empresarial de los servicios de acueducto, alcantarillado y aseo”, *Documento Conpes 3463*.
12. FABBRI, P. y FRAQUELLI G. (2000). “Costs and structure of technology in the Italian water industry”, *Empirica*, 27(1):65-82.
13. GARCIA, S. y 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.
14. GREENE, W. H. (1993). *Análisis econométrico* (3ª ed.). Nueva Jersey, Prentice Hall.
15. HAYES, K. (1987). “Cost structure of the water utility industry”, *Applied Economics*, 19:417-425.
16. KIM, H. Y. y CLARK, R. M. (1988). “Economies of scale and scope in water supply”, *Regional Science and Urban Economics*, 18:479-502.
17. McFADDEN, D. (1978). *Cost, revenue, and profit functions. Production economics: A dual approach to theory and applications*, Vol. I: The theory of production.



18. MIZUTANI, F. y URAKAMI, T. (2001). "Identifying network density and scale economies for Japanese water supply organizations", *Papers in Regional Science*, 80:211-230.
19. NAUGES, C. y 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).
20. NERLOVE, M. (1963). "Returns to scale in electricity supply", en F. C. Christ (Ed.), *Stanford measurement in economics-studies in mathematical economics and econometrics in memory of Yehuda Grunfeld*. Stanford, CA, Stanford University Press.
21. PIACENZA, M. y VANNONI, D. (2004). "Choosing among alternative cost function specifications: An application to Italian multi-utilities", *Economics Letters*, 82:415.
22. PULLEY, L. y HUMPHREY, D. (1991). "Scope economies: Fixed costs, complementarity, and functional form" (Working Paper 91-3).
23. RENZETTI, S. (1999). "Municipal water supply and sewage treatment: costs, prices, and distortions", *The Canadian Journal of Economics*, 32(3):688-704.
24. SAAL, D. S. y 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.
25. SAUER, J. (2005). "Economies of scale and firm size optimum in rural water supply", *Water Resources Research*, 41.
26. STONE y WEBSTER (2004). *Investigation into evidence for economies of scale in the water and sewerage industry in England and Wales, final report*. Londres.



27. TORRES, M. y 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.

## Anexos

Anexo 1. Características de las funciones utilizadas en el análisis de las economías de escala y alcance.

Fuente	Forma funcional y tipo 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"> <li>• Trabajo</li> <li>• Otros (costos de arrendos, materiales y energía divididos por los activos totales)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Volumen anual de agua suministrada a los hogares</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Stock de capital (activos operativos)</li> <li>• Densidad de población del área de prestación</li> </ul>
Hayes (1987)	Cuadrática generalizada, Costo total	475 empresas de acueducto de Estados Unidos, 1960, 1970, 1976		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Volumen de agua producida para venta al detal</li> <li>• Volumen de agua producida para venta en bloque</li> </ul>	
Fabbri y Fraquelli (2000)	Translog, Costo total	173 empresas de acueducto de Italia, 1991	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Trabajo</li> <li>• Energía</li> <li>• Materiales y capital (depreciación y costo de materiales divididos por longitud de red)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Volumen anual de agua suministrada</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Número de usuarios</li> <li>• Densidad (población/longitud de red)</li> <li>• Costo de insumo de agua</li> <li>• Porcentaje de costos de tratamiento</li> </ul>
Sauer (2005)	McFadden Simétrica generalizada, Costo variable	47 empresas de acueducto en áreas rurales de Alemania, 2000-2001	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Trabajo</li> <li>• Energía</li> <li>• Químicos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Volumen anual de agua suministrada</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Número de conexiones</li> <li>• Longitud de red</li> <li>• Proporción de agua subterránea</li> <li>• Equity</li> </ul>
Kim y Clark (1988)	Translog, Costo total	60 empresas de acueducto de Estados Unidos para 1973	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Trabajo</li> <li>• Capital</li> <li>• Energía</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Volumen diario de agua suministrada a usuarios residenciales</li> <li>• Volumen diario de agua suministrada a usuarios no residenciales</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Capacidad utilizada</li> <li>• Distancia de la planta de tratamiento al área de servicio</li> </ul>

(Continúa)

**Anexo 1. Características de las funciones utilizadas en el análisis de las economías de escala y alcance (continuación).**

Fuente	Forma funcional y tipo costo	Datos	Precios	Productos	Otras variables
Stone y Webster (2004)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Translog, Costo variable y Costo total (escala)</li> <li>Cuadrática generalizada, Costo variable y Costo total (alcance)</li> </ul>	38 empresas de acueducto y alcantarillado para los periodos 1992-1993 y 2002-2003	<ul style="list-style-type: none"> <li>Trabajo</li> <li>Energía</li> <li>Capital</li> <li>Otros (costos no relacionados con trabajo, energía o capital)</li> </ul>	Acueducto: <ul style="list-style-type: none"> <li>Volumen diario de agua suministrada</li> <li>Conexiones de acueducto</li> </ul> Alcantarillado: <ul style="list-style-type: none"> <li>Conexiones de alcantarillado</li> <li>Población equivalente con servicio de alcantarillado</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Índices de cumplimiento con los estándares de calidad del agua potable</li> <li>Porcentaje de población conectada a la red de alcantarillado que recibe tratamiento secundario</li> <li>Propiedades por debajo del nivel de referencia de presión</li> <li>Propiedades con suspensiones superiores a 12 horas</li> <li>Propiedades con riesgo de inundación de alcantarillado</li> <li>Porcentaje de micromedición</li> <li>Altura promedio de bombeo</li> <li>Porcentaje de agua fuente de río</li> <li>Porcentaje de aguas residuales industriales</li> </ul>
Mizutani y Urakami (2001)	Translog, Costo total	112 empresas de acueducto de Japón, 1994	<ul style="list-style-type: none"> <li>Trabajo</li> <li>Energía</li> <li>Materiales</li> <li>Capital</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Volumen anual de agua suministrada</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Densidad de la red</li> <li>Capacidad utilizada</li> <li>Nivel de tratamiento</li> <li>Proporción de consumo residencial</li> <li>Proporción de agua no proveniente de presas</li> <li>Proporción de agua no proveniente de fuentes subterráneas</li> </ul>

(Continúa)



**Anexo 1. Características de las funciones utilizadas en el análisis de las economías de escala y alcance (continuación).**

Fuente	Forma funcional y tipo costo	Datos	Precios	Productos	Otras variables
García y Thomas (2001)	Translog, Costo variable	55 empresas de acueducto de Francia, período 1995-1997	<ul style="list-style-type: none"> <li>Trabajo</li> <li>Energía</li> <li>Materiales</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Volumen facturado</li> <li>Volumen de pérdidas (diferencia entre el volumen distribuido y el volumen facturado)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Número de conexiones</li> <li>Número de comunidades locales de prestación</li> <li>Longitud de red</li> <li>Capacidad de producción</li> <li>Stocking</li> <li>Capacidad de bombeo</li> </ul>
Antonoli y Filippini (2001)	Cobb-Douglas, Costo variable	32 empresas de distribución de acueducto, período 1991-1995	Trabajo	Volumen de agua distribuida	<ul style="list-style-type: none"> <li>Número de usuarios</li> <li>Longitud de red</li> <li>Porcentaje de pérdidas en la red</li> <li>Número de pozos</li> <li>Tratamiento químico (variable dicotoma)</li> </ul>
Nauges y Van den Berg (2007)	Translog, Costo variable	<ul style="list-style-type: none"> <li>27 empresas regionales de acueducto y alcantarillado de Brasil, 1996-2004</li> <li>48 empresas de acueducto y alcantarillado de Colombia, período 2003-2004</li> <li>41 empresas de acueducto y alcantarillado de Moldavia, 1996-2004</li> <li>67 empresas de acueducto de Vietnam, 1997-2000</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Trabajo</li> <li>Energía</li> <li>Servicios contratados externos</li> <li>Misceláneos</li> </ul>	Volumen anual de agua producida	<ul style="list-style-type: none"> <li>Longitud de red</li> <li>Horas de servicio día</li> <li>Proporción de agua facturada sobre agua producida</li> <li>Porcentaje micromedicación</li> <li>Número de municipios de prestación</li> <li>Número de roturas de red</li> <li>Población a que se le presta el servicio</li> <li>Porcentaje de usuarios residenciales</li> </ul>

(Continúa)

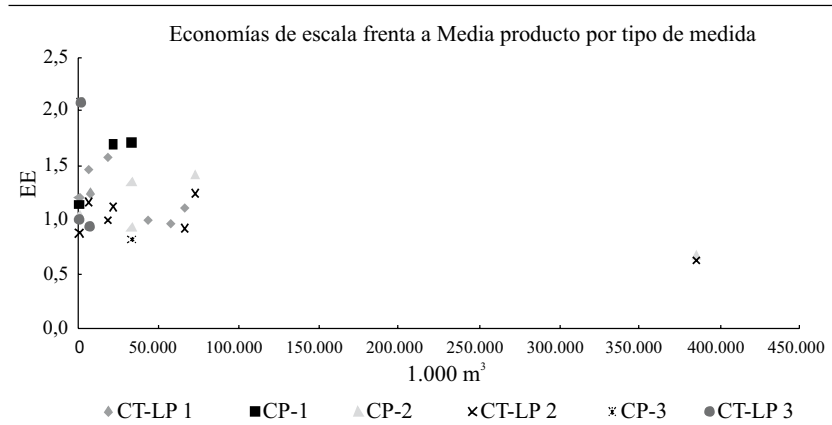
Anexo 1. Características de las funciones utilizadas en el análisis de las economías de escala y alcance (continuación).					
Fuente	Forma funcional y tipo costo	Datos	Precios	Productos	Otras variables
Torres y Paul (2006)	Cuadrática generalizada de Leontief (GLQ), Costo variable	255 empresas de acueducto de Estados Unidos, 1996	<ul style="list-style-type: none"> <li>Trabajo</li> <li>Energía</li> <li>Agua comprada</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Volumen de agua vendida en bloque</li> <li>Volumen de agua vendida a usuarios finales</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Capacidad de almacenamiento</li> <li>Capacidad de tratamiento</li> <li>Porcentaje de agua distribuida de fuentes subterráneas</li> <li>Número de usuarios</li> <li>Tamaño del área de prestación</li> <li>Gastos en químicos</li> </ul>
Renzetti (1999)	Translog, Costo total	77 empresas de acueducto y alcantarillado de Canadá, 1991	<ul style="list-style-type: none"> <li>Trabajo</li> <li>Energía</li> <li>Capital</li> </ul>	Acueducto: <ul style="list-style-type: none"> <li>Volumen de agua usuarios residenciales</li> <li>Volumen de agua usuarios no residenciales</li> </ul> Alcantarillado: <ul style="list-style-type: none"> <li>Volumen de agua residual tratada</li> </ul>	Acueducto: <ul style="list-style-type: none"> <li>Densidad de población del municipio de prestación</li> </ul> Alcantarillado: <ul style="list-style-type: none"> <li>Densidad de población del municipio de prestación</li> <li>Tipo de tratamiento (aguas residuales)</li> </ul>
Saal y Parker (2000)	Translog, Costo total	Empresas de acueducto y alcantarillado del Reino Unido	<ul style="list-style-type: none"> <li>Trabajo</li> <li>Capital</li> <li>Materiales, energía y otros servicios</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Población residencial atendida por el sistema de acueducto, ajustado por factores de calidad</li> <li>Población conectada al sistema de alcantarillado, ajustado por factores de calidad</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tipo de propiedad</li> <li>Aplicación de revisión periódica OFWAT</li> </ul>

Fuente: cálculos CRA, 2008.

**Anexo 2. Resultados y medidas de los estudios de las economías de escala y alcance.**

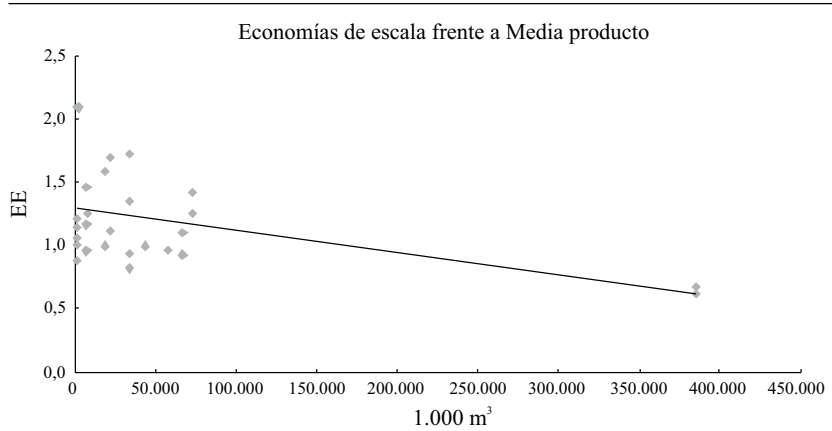
Fuente	Tipo de costo	Medida	Economías de escala	Tamaño promedio (1.000 m³/año)
Ashton (2003)	Costo variable	Largo plazo; producto	0,96	57.536
Hayes (1987)	Costo total	Producto	1,90 (mínimo) 0,95 (máximo)	4.732 (mínimo) 132.489 (máximo)
Fabbri y Fraquelli (2000)	Costo total	Producto Producto y conexiones	1,58 0,99	18.860
Sauer (2005)	Costo variable	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	Producto	0,99	43.200
Stone y Webster (2004)	Costo variable	Corto plazo; producto y número de conexiones Corto plazo; producto y número de conexiones Largo plazo; producto y número de conexiones	0,67 1,42 0,62 1,25	385.440 73.000
Mizutani y Urakami (2001)	Costo total	Producto Producto y longitud de red	1,10 0,92	66.620
García y Thomas (2001)	Costo variable	Corto plazo; producto Largo plazo; producto y conexiones 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 (2001)	Costo variable	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	Corto plazo; producto Largo plazo; producto y conexiones	1,68 1,11	22.000
Torres y Paul (2006)	Costo variable	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	Producto	1,24	8.100
Saai y Parker (2000)	Costo total	Producto (global: acueducto + alcantarillado)	0,83	ND

Fuente: cálculos CRA, 2008.



Fuente: cálculos CRA, 2008.

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



Fuente: cálculos CRA, 2008.