

**EFICIENCIA EN LA PRESTACIÓN DEL SERVICIO DE  
ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO EN ANTIOQUIA: SECTOR  
PÚBLICO Y PRIVADO**

ARTÍCULO PRESENTADO COMO REQUISITO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE  
MAESTRO EN ECONOMÍA

ESTEFANÍA VÉLEZ LONDOÑO

Asesor: GUSTAVO LOPEZ ALVAREZ

UNIVERSIDAD EAFIT  
ESCUELA DE ECONOMÍA Y FINANZAS

2013

## Tabla de Contenido

<i>EFICIENCIA EN LA PRESTACIÓN DEL SERVICIO DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO EN ANTIOQUIA: SECTOR PÚBLICO Y PRIVADO</i> .....		1
<b>Tabla de Contenido</b> .....		<b>2</b>
<i>Tablas y Gráficos</i> .....		3
<b>Introducción</b> .....		<b>4</b>
<b>Resumen</b> .....		<b>7</b>
<b>Estado del arte</b> .....		<b>8</b>
<i>Caracterización</i> .....		8
<b>Marco Conceptual</b> .....		<b>12</b>
<i>Costo Medio de Administración (CMA)</i> .....		12
<i>Costo Medio de Operación (CMO)</i> .....		13
<i>Costo Medio de Inversión</i> .....		13
<i>Costo Medio de las Tasas Ambientales</i> .....		14
<b>Metodología y Datos</b> .....		<b>15</b>
<i>Metodología DEA para el Cálculo de los Costos Administrativos</i> .....		17
Variables: .....		17
<i>Metodología DEA para el Cálculo de los Costos Operativos</i> .....		18
Variables .....		18
<i>Parámetros de Inclusión para las DMU:</i> .....		19
<b>Resultados</b> .....		<b>21</b>
<b>Conclusiones y Recomendaciones</b> .....		<b>31</b>
<b>Bibliografía</b> .....		<b>33</b>
<b>ANEXOS</b> .....		<b>35</b>
<i>Anexo 1: Metodología DEA</i> .....		35

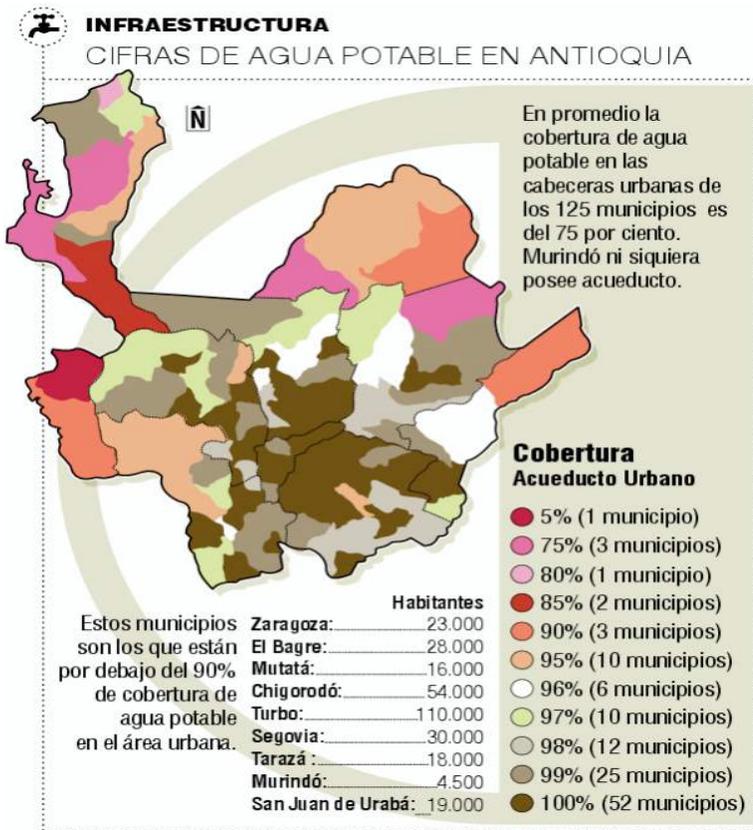
### Tablas y Gráficos

<b>Tabla 1: Costos Administrativos .....</b>	<b>17</b>
<b>Tabla 4: Costos Operativos .....</b>	<b>18</b>
<b>Tabla 3: Empresas Incluidas en la Muestra.....</b>	<b>20</b>
<b>Tabla 4: Variables Transformadas CA.....</b>	<b>21</b>
<b>Tabla 6: Variables Transformadas CO .....</b>	<b>22</b>
<b>Tabla 6: Puntaje de Eficiencia Comparativa para CMA y CMO .....</b>	<b>23</b>
<b>Tabla 7: Clasificación DEA para CMA .....</b>	<b>25</b>
<b>Tabla 8: Clasificación DEA para CMO .....</b>	<b>26</b>
<b>Gráfica 1: Eficiencia en un Modelo Orientado al Producto.....</b>	<b>16</b>
<b>Gráfica 2: Costos Administrativos por Suscriptor .....</b>	<b>22</b>
<b>Gráfica 3: Costos Operativos por Suscriptor .....</b>	<b>23</b>
<b>Gráfica 9 : Puntaje de Eficiencia Costos Administrativos .....</b>	<b>24</b>
<b>Gráfica 10 : Puntaje de Eficiencia Costos de Operación .....</b>	<b>25</b>
<b>Gráfica 4: Densidad de Red .....</b>	<b>26</b>
<b>Gráfica 7: Micromedición .....</b>	<b>27</b>
<b>Gráfica 6: Suscriptores Estrato 1 y 2.....</b>	<b>28</b>
<b>Gráfica 7: Suscriptores Comerciales e Industriales .....</b>	<b>29</b>
<b>Gráfica 8: Calidad Promedio del Agua Cruda.....</b>	<b>30</b>

**Introducción**

En la actualidad se considera de gran importancia una adecuada intervención del Estado en la economía, especialmente en los países en vía de desarrollo, donde el estado tiene la obligación de que la población salga de la pobreza y esto incluye el acceso a los servicios públicos, en especial al agua potable y saneamiento. Para el caso colombiano, los Servicios Públicos Domiciliarios y específicamente el servicio de acueducto y alcantarillado cuentan con una baja cobertura, especialmente en el sector rural. Antioquia presenta una cobertura del 97% en la zona urbana y 58% en la zona rural. Tabares (2010) hace la observación de que si se saca de la muestra a Empresas Públicas de Medellín (EPM), la cobertura es muchísimo más baja, ya que EPM jalona estos indicadores y hace que no se muestren tan bajos como podrían ser. Por estos graves problemas y otros más que se explicarán a continuación, el Estado ha venido buscando maneras de hacer este sector más eficiente. En la **Error! Reference source not found.** se puede observar la cobertura de agua potable en Antioquia, que para el área urbana y rural es en promedio de 75%.

**Ilustración 1: Cobertura de Agua Potable en Antioquia**



FUENTE: Gobernación de Antioquia(2010)

Desde 1994 con la Ley 142, se da la posibilidad del sector privado de participar en el suministro de los Servicios Públicos Domiciliarios, incluyendo los de acueducto y alcantarillado. Ortiz (2011) afirma que en la década de los noventa, comienza a tomar importancia quién esté prestando dicho servicio, ya sea el municipio, el departamento o una empresa privada, ya que la competencia entra a jugar un papel importante como “una fuerza poderosa y eficaz para aumentar la eficiencia y el suministro de bienes y servicios” (Ortiz, 2011, pág. 3).

Este estudio cuestiona si las empresas que prestan el servicio de acueducto y alcantarillado son afectadas, al ser públicas o privadas, en el objetivo de tener mayor eficiencia y poder proporcionar este servicio al menor costo posible a la mayor cantidad de usuarios; ofreciendo la mayor cobertura, mayor calidad y continuidad. Se pretende entonces evaluar la eficiencia de determinadas empresas prestadoras de los servicios de acueducto y alcantarillado en Antioquia por medio de un Modelo de Análisis Envoltante de Datos (DEA) y poder concluir que las empresas privadas son más eficientes que las públicas a la hora de prestar el servicio de acueducto y alcantarillado.

La importancia radica en el tipo de orientación que requieren las políticas públicas, ya sea al privatizar o al volver las empresas públicas; además de entender qué factores determinan la eficiencia de los prestadores. Para esto se debe entender la problemática local del sector, su historia, y aprender de los errores cometidos en el pasado para encontrar las posibles soluciones. Se deben tener en cuenta los principios en los cuales se basa la prestación del servicio, acorde con la normativa colombiana y específicamente la Ley 142 de 1994 o Ley de Servicios Públicos en la cual cobra importancia el “...papel del departamento al coordinar y apoyar de manera adecuada a las empresas de servicios públicos en materia financiera, administrativa y técnica.” (Ley 142, 1994).

Los servicios públicos tienen determinadas características que se deben tener en cuenta para entender los problemas del sector. Estas incluyen los costos hundidos, las economías de escala y el consumo masivo. Los costos hundidos son dados por las grandes inversiones necesarias para poder operar, como lo es tener la infraestructura adecuada. Las economías de escala se presentan cuando se vuelve más eficiente prestarle el servicio a la mayor cantidad de usuarios, dados unos Costos Medios decrecientes y el consumo masivo se da gracias al hecho de que el agua es un bien necesario.

Dichas características incluyen lo que (Spiller, 2000) llama un equilibrio estable de baja calidad, que es un círculo vicioso basado en el hecho de que por tener bajos precios, se tiene entonces baja calidad. Esto implica poco apoyo político para las inversiones en el sector, que lleva a que las empresas no posean recursos para invertir en el sistema y a un mal manejo de los escasos recursos disponibles, lo cual impide la expansión y nuevamente

lleva al sector a los bajos precios. Esto se ve reflejado de manera más específica en Antioquia en el bajo suministro, mala calidad, poca continuidad, poca cobertura, baja potabilización, redes obsoletas y pocas inversiones (Valencia, 2005). Estos problemas además de las características ya mencionadas, se deben, según Tabares (2010) “a los ciclos políticos de las administraciones municipales y de las empresas públicas, la inoperancia de la regulación y el continuo déficit del gobierno” (p. 3).

Este trabajo está organizado de tal forma que en la primera sección se encuentra el Estado del Arte que incluye un poco de contexto acerca de la prestación de los servicios de acueducto y alcantarillado en el departamento de Antioquia. En la segunda sección se describe por medio del Marco Conceptual como está regulado dicho sector y como se determina la tarifa a cobrar por estos servicios. Luego está la sección Metodología en la cual se describe la metodología de análisis envolvente de datos y como por medio de ésta se puede calcular un puntaje de eficiencia para las empresas incluidas en la muestra. Finalmente se procede a mostrar los resultados y a proporcionar determinadas conclusiones y recomendaciones basadas en los resultados de éste análisis.

### **Resumen**

Por medio de esta investigación se pretende identificar las posibilidades de mejorar la eficiencia de las empresas prestadoras de los servicios de acueducto y alcantarillado (ESP) en Antioquia. Para tal fin es importante analizar la historia del funcionamiento y las características del sector de acueducto y alcantarillado en Antioquia en los últimos años, concretamente, comprender qué factores hacen que determinadas empresas sean más eficientes que otras y qué factores ayudaron a determinar el escenario actual de la prestación de dicho servicio en este departamento. Además, se debe entender que factores que determinan los costos administrativos y operativos afectan la eficiencia en la prestación del servicio de acueducto y alcantarillado. Para esto se utilizará la Metodología DEA con el fin de comparar la eficiencia de las empresas prestadoras del servicio de acueducto y alcantarillado en Antioquia, agrupando las empresas por tipo (pública, privada o mixta) y así concluir si esta característica afecta su puntaje de eficiencia comparativa.

Por medio de la metodología utilizada para medir la eficiencia comparativa se pudo concluir que más allá de que una empresa sea pública o privada, hay factores que tienen mayor peso para determinar la eficiencia. Dichos factores incluyen el número de usuarios, la complejidad del sistema respecto al tamaño de las redes, la distancia entre un usuario y otro, la forma como la empresa maneja la operación y el tipo de usuarios que tienen las empresas que se encuentran en Colombia clasificados según estrato.

### Estado del arte

La primera vez que se comienza a hablar de medidas de eficiencia que tienen en cuenta la Frontera de Posibilidades de Producción es con Farrell (1957) quien, además de proponer estimar dicha frontera para la producción agrícola de Estados Unidos, plantea el problema de cómo usar los insumos de la mejor manera posible para producir la mayor cantidad de producto sin tener que aumentarlos. En dicho análisis se trata de medir la eficiencia económica (tanto técnica como de precio) y se le asigna un peso específico a cada insumo y a cada producto. En ese entonces no se utilizaba el término Análisis Envoltante de Datos. La primera vez que se introduce el término es con Charnes, Cooper y Rhodes (1978) quienes describen este método como "...una programación matemática que se aplica a datos observables para obtener estimaciones empíricas de las relaciones entre ellos." (p. 5)

Existe literatura en la cual se aplica este tipo de análisis para medir la eficiencia en sectores tales como la salud, la educación y los servicios públicos. Además es una técnica no paramétrica y no requiere datos del precio del insumo (Ruggiero, 1994).

### Caracterización

Este estudio se realizará en el departamento de Antioquia, el cual está conformado por 125 municipios. Antioquia tiene una extensión aproximada de 65,000 km<sup>2</sup> y para el 2011 alrededor del 30% de su población se encontraba bajo la línea de pobreza (DANE, 2013).

Para entender como funcionan en la actualidad los servicios públicos, se debe tener en cuenta que Colombia sufrió una gran transformación a raíz de la Ley 142 de 1994 ya que esta permitió la entrada del sector privado al suministro de los servicios públicos (Ley 142, 1994). Pero como se señala en el artículo sexto de dicha Ley, para que un municipio preste directamente los servicios públicos, primero debe seguir cierto procedimiento que incluye una convocatoria para que el servicio sea prestado por una ESP.

Actualmente el Sector de Agua Potable y Saneamiento para los municipios con menos de 10.000 habitantes depende en gran medida del Gobierno Nacional, que efectúa transferencias del Sistema General de Participaciones<sup>1</sup> (SGP) para que sean utilizadas en garantizar la prestación eficiente del servicio en los municipios (Salinas, 2011). La mayoría de los municipios del país y específicamente de Antioquia utilizan estos recursos (que

---

<sup>1</sup>El SGP está constituido por los recursos que la nación transfiere a las entidades territoriales (departamentos,

tienen su uso reglamentado mediante la Ley 1176 de 2007) para el pago de los subsidios cruzados para los estratos 1, 2 y 3. Esto debido a que en muchos municipios del país no se logra alcanzar un equilibrio entre subsidios a los estratos 1, 2 y 3 y las contribuciones de los estratos 5, 6, del sector comercial y del sector industrial. Esto se debe a que la mayor parte de los habitantes del país pertenece a los estratos bajos (Valencia A, 2005). En muchos casos para los municipios con menos de 10.000 habitantes son los entes territoriales quienes prestan los servicios públicos, que generalmente “presentan problemas estructurales de no viabilidad financiera, con deficientes indicadores de calidad y cobertura, con baja capacidad técnica y alto grado de informalidad institucional de los servicios, que no suministran información confiable al Sistema Único de Información (SUI)” (Salinas, 2011, pág. 10). Pero además de esto, dichos municipios se resisten a la transformación empresarial, debido a los costos políticos que implican un aumento en la tarifa y la pérdida del manejo de recursos provenientes del SGP destinados para agua potable y saneamiento que realmente son utilizados para otros fines (Salinas, 2011)

Además de los problemas ya mencionados, se debe tener en cuenta que los municipios se embarcaron en créditos como el Plan Carrasquilla (bonos de agua que incluyen crédito por 19 años) y el Plan Departamental de Agua (PAP-PDA). Estos programas buscan hacer inversiones en la infraestructura física del municipio, así como fortalecer institucionalmente a las ESP para garantizar la prestación del servicio en los municipios vinculados (Viceministerio de Agua y Saneamiento, 2008). Además es importante señalar que “los Planes Departamentales de Agua se generaron con el fin de crear esquemas regionales de prestación con operadores especializados para aprovechar las economías de escala y mejorar la asignación y destinación de los recursos aportados por el Estado.” (Salinas, 2011, pág. 11).

Actualmente el Departamento de Antioquia el operador más grande es Empresas Públicas de Medellín, los otros operadores son pequeños y su cobertura se presenta en muy pocos municipios, teniendo unas posibilidades reducidas de generar economías de escala al aumentar el número de suscriptores.<sup>2</sup>

Para entender por qué existe el esquema actual de la prestación en Antioquia, nos debemos remitir a la década del 90, cuando comenzaron los grandes cambios en la prestación de los servicios públicos, no solo en la región, sino también en el país (Valencia, 2005).

---

<sup>2</sup>Economía de Escala en los servicios públicos: disminución de costos unitarios al aumentar el número de suscriptores.

Es 1995 cuando el ex presidente Alvaro Uribe Vélez como gobernador de Antioquia decide liquidar a la empresa Acuantioquia<sup>3</sup> y ceder la operación a ocho empresas privadas. Este proceso tuvo unas características específicas que determinaron el resultado de la prestación del servicio e incluyeron la manera en la que se elaboraron los contratos y la participación de los municipios en la toma de decisiones (Valencia, 2005). Por un lado, los contratos no estaban claramente delimitados respecto a las obligaciones de las empresas en cuanto a la provisión, operación y mantenimiento de los sistemas y además, no se involucró a los municipios cuando se escogió el tipo de contrato, ni el tipo operador del servicio en los municipios (Cárdenas, 2003).

Valencia (2005) explica como se definió además de manera contractual "...que el operador gozaría autonomía técnica, financiera y administrativa sin rendir al contratante ni a los órganos de control técnico ni político ninguna de la información solicitada sobre su gestión" (p.15). En resumidas cuentas, y gracias a unos contratos mal formulados, no hubo claridad acerca de las responsabilidades de las empresas privadas ni de los municipios frente a la operación y mantenimiento de los sistemas, ni sobre la rendición de cuentas a los órganos de control, por esta falta de responsabilidades y de reporte de información, se volvió ineficiente la prestación del servicio (Valencia, 2005).

Actualmente y según el Plan de Desarrollo del Departamento de Antioquia: Antioquia la más Educada 2012-2015, el sector de Agua Potable se caracteriza por "una estructura de la industria dispersa y con un alto número de prestadores de los servicios, se desaprovechan economías de escala, se atomizan los recursos aportados por el Estado, hay una falta de integralidad y visión regional y lentitud en los procesos de modernización empresarial" (Gobernación de Antioquia, 2012, pág. 2 Línea 5 ).

Por lo tanto, y gracias al hecho de que existen tantas ESP pequeñas, es de gran importancia que sean monitoreadas y que se pueda comparar su eficiencia. Por tal motivo, la Comisión de Regulación de Agua y Saneamiento (CRA) mediante la Resolución 287 de 2004 "...establece la metodología tarifaria para regular los costos de prestación de los servicios de acueducto y alcantarillado". Actualmente se está socializando y discutiendo la Resolución 485 de 2009 que reemplazará la Resolución 287 de 2004.

---

<sup>3</sup>Acuantioquia, que en un momento llegó a controlar 42 acueductos en el departamento de Antioquia, era una sociedad anónima conformada en 1960 por entidades públicas, industriales y comerciales con el objeto de "planificar, construir, administrar y comercializar los servicios de acueducto y alcantarillado en las cabeceras municipales de determinados municipios" (Ortiz, 2011, pág. 5).

La Ley 142 de 1994 establece la orientación que debe tener el régimen tarifario para el país, que incluye los siguientes criterios: eficiencia y suficiencia financiera, solidaridad y redistribución de ingresos, neutralidad, simplicidad y transparencia (Ley 142 de 1994, Art.87).

### Marco Conceptual

En la Resolución 485 de 2009 de la CRA, determina cómo en Colombia se debe calcular la tarifa para los servicios de acueducto y alcantarillado por medio del cálculo de determinados costos. La revisión tarifaria de la Resolución 485 de 2009 busca reducir el número de variables incluidas en el modelo y aumentar la cantidad de empresas con el fin de incrementar la robustez del mismo (Resolución 485, 2009).

Es muy importante tener en cuenta la definición de tarifa y su diferencia con el costo. La tarifa es el precio que el usuario paga por el servicio. Está compuesta por dos partes un cargo fijo y un cargo por unidad de consumo. Por otro lado, el costo es “todo en lo que el operador incurre para suministrar el servicio al usuario” (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Viceministerio de Agua y Saneamiento, 2008, pág. 5). La diferencia entre el costo y la tarifa es el subsidio.

$$COSTO = TARIFA + SUBSIDIO \quad (1)$$

Teniendo esto en cuenta, se puede entonces entrar a definir los componentes de la tarifa de la prestación del servicio. Estos son el Cargo Fijo (CF) y en el Cargo por unidad de Consumo (CC) que depende de la cantidad de metros cúbicos que consuma el usuario. El primero es expresado por medio de los Costos Medios de Administración (CMA), mientras que el cargo por consumo está compuesto por el Costo Medio de Operación y Mantenimiento (CMO) y el Costo Medio de Inversión (Resolución 485, 2009).

$$COSTO = CF + CC \quad (2)$$

$$CF = CMA \quad (3)$$

$$CC = CMO + CMI \quad (4)$$

#### Costo Medio de Administración (CMA)

El costo medio de administración es aquel en el que se incurre para administrar la entidad prestadora y garantizar un servicio permanente para los usuarios (Resolución 485, 2009). Se calcula de la misma manera tanto para el servicio de acueducto como para el servicio de alcantarillado. Está compuesto por el Costo Total Eficiente de Administración (CTE)<sup>4</sup> el

cual se multiplica por la proporción que se le asigna al servicio de acueducto ( $s$ ) en comparación con el de alcantarillado ( $1-s$ ), y esto se debe dividir por el número promedio mensual de suscriptores ( $N$ ). Por lo tanto, tendremos entonces las siguientes ecuaciones:

$$CMA_{ac} = \frac{CTE * s}{N_{ac}} \quad (4)$$

$$CMA_{alc} = \frac{CTE * (1 - s)}{N_{alc}} \quad (5)$$

Cabe resaltar que para determinar el CTE se debe aplicar el puntaje DEA de eficiencia comparativa para saber cómo los costos administrativos afectan la eficiencia de la empresa. <sup>5</sup>(Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Viceministerio de Agua y Saneamiento, 2008, pág. 7)

### **Costo Medio de Operación (CMO)**

“Se refiere a los costos necesarios para operar y mantener los sistemas, para garantizar la prestación permanente del servicio a todos los usuarios.” (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Viceministerio de Agua y Saneamiento, 2008, pág. 7). Está determinado por un componente particular del prestador (CMOp) y uno por comparación con los demás prestadores (CMOc). El CMOc es el resultante de aplicar un modelo de eficiencia comparativa para determinar cuáles son los costos eficientes.

$$CMO = CMO_p + CMO_c \quad (6)$$

### **Costo Medio de Inversión**

Es el costo en el que se incurre para ampliar la capacidad de producción y suministro del sistema para atender el crecimiento de la demanda, mejorar el estado de las instalaciones actuales y reponer los componentes que hayan cumplido con su periodo de vida útil.(Resolución 485, 2009). Para su cálculo se toma el valor presente de las inversiones (VPI) más la valoración de los activos en la fecha actual (VPA) y se divide por el valor presente de la demanda proyectada (VPD)

$$CMI = \frac{VPI + VPA}{VPD} \quad (7)$$

---

<sup>5</sup>El modelo DEA se debe estimar por separado para los prestadores con diferentes sistemas (Comision de Regulación de Agua Potable, 2004)

**Costo Medio de las Tasas Ambientales**

Son los costos en los que se incurre por utilizar el medio ambiente como fuente de recursos o el agua como receptor de desechos contaminantes. (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Viceministerio de Agua y Saneamiento, 2008, pág. 9). Dichos costos serán determinados, para cada acueducto por la Tasa Media de Uso del Agua (TMU) que es establecida por las autoridades ambientales. Este valor se debe dividir por el nivel máximo de pérdidas establecido por la CRA (Resolución 485, 2009). Esto se puede expresar de la siguiente manera:

$$CMT = \frac{TMU}{P} \quad (8)$$

## Resultados

En esta investigación por medio del programa WIN4DEAP se calculó el puntaje de eficiencia de las DMUs incluidas en la muestra. Es un programa DOS que ejecuta el Análisis Envolvente de Datos por medio de una programación lineal. “Proporciona una red no muy diferente de una hoja de cálculo para introducir datos y escribe la instrucción necesaria y los archivos de datos” (Coelli, 2008, pág. 29). Entonces por medio de una programación lineal, se le asigna un puntaje de eficiencia a cada DMU, tanto para la parte operativa como la parte administrativa. El usuario debe crear un archivo con los datos y otro con las instrucciones; en el cual se especifique el número de DMUs que en este caso son 12, y el tipo de rendimientos que en este caso son constantes. Además se debe especificar que este es un modelo DEA de solo una etapa. Esto quiere decir que solo se está obteniendo un único puntaje de eficiencia para cada DMU (Coelli, 2008).

El programa entonces le asigna un puntaje de eficiencia cada DMU. Para el caso de la eficiencia administrativa y para el caso de la eficiencia operativa, existen productos controlables y no controlables y el software toma todos como controlables, “es necesario realizar una inversión equivalente del modelo” (Resolución 485, 2009, págs. 58, Anexo 2). De tal manera que, el inverso de los productos pasa a ser insumos y el inverso del insumo pasa a ser producto. Por lo tanto cambia el modelo de minimización de costos a maximización del producto  $1/CA$  y  $1/CO$ . (Resolución 485, 2009). El modelo quedaría entonces de la siguiente manera:

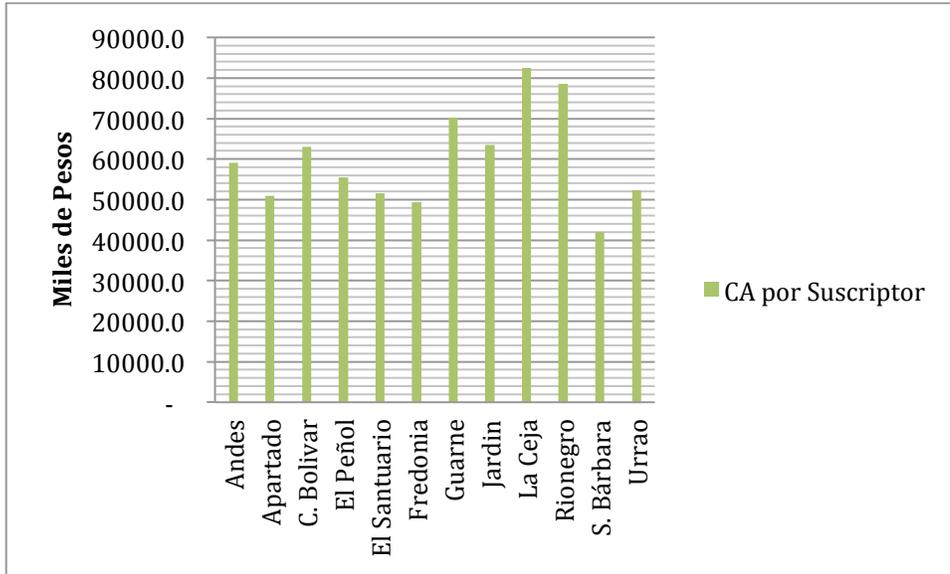
**Tabla 4: Variables Transformadas CA**

Eficiencia Administrativa	
$1/CA$	Producto
$1/ \#$ suscriptores de acueducto	Insumo
$1/ \#$ suscriptores de alcantarillado	Insumo
$1/ \#$ suscriptores 1 y 2	Insumo
$1/ \#$ suscriptores micromedidos	Insumo
$\#$ suscriptores Industriales y Comerciales	Producto

Fuente: Cálculos Propios

La variable Costos Administrativos (CA) se presenta a en la Gráfica 2 para cada una de las DMUs de la muestra:

**Gráfica 2: Costos Administrativos por Suscriptor**



Fuente: Cálculos Propios

Podemos observar que los mayores costos administrativos los presentan las empresas que operan en los municipios de La Ceja y Rionegro, siendo entonces éstos municipios los que presentan mayor complejidad en el tema de manejo de los usuarios.

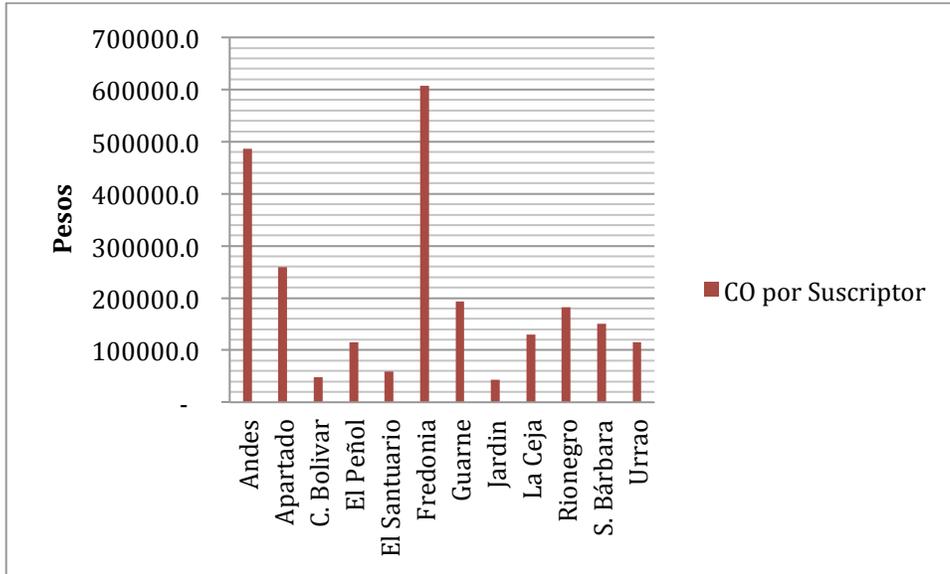
Por otro lado los Costos Operativos (CO) reflejan la manera en que el sistema es eficiente en su operación. Las variables son las siguientes:

**Tabla 5: Variables Transformadas CO**

Eficiencia Operativa	
1/CO	Producto
1/ m3 producidos de acueducto	Insumo
1/ m3 vertidos de alcantarillado	Insumo
1/ Red Total	Insumo
Indicador de Calidad de Agua Cruda	Producto

Fuente: Cálculos Propios

Para los datos con los que se cuenta se tiene entonces la estructura de Costos Operativos de la Gráfica 3:

**Gráfica 3: Costos Operativos por Suscriptor**

Fuente: Cálculos Propios

Estos costos son muy altos en Fredonia y Andes. Estos son dos municipios que no tienen más de 10 mil usuarios, como si sucede en Apartadó y Rionegro. Por lo tanto estos costos no deberían ser tan altos. Esto nos muestra la complejidad de la operación en estos dos municipios, que lleva a pensar que efectivamente son los municipios que difícilmente serán los más eficientes.

Luego de correr el modelo se obtuvieron los resultados presentados en la Tabla 6:

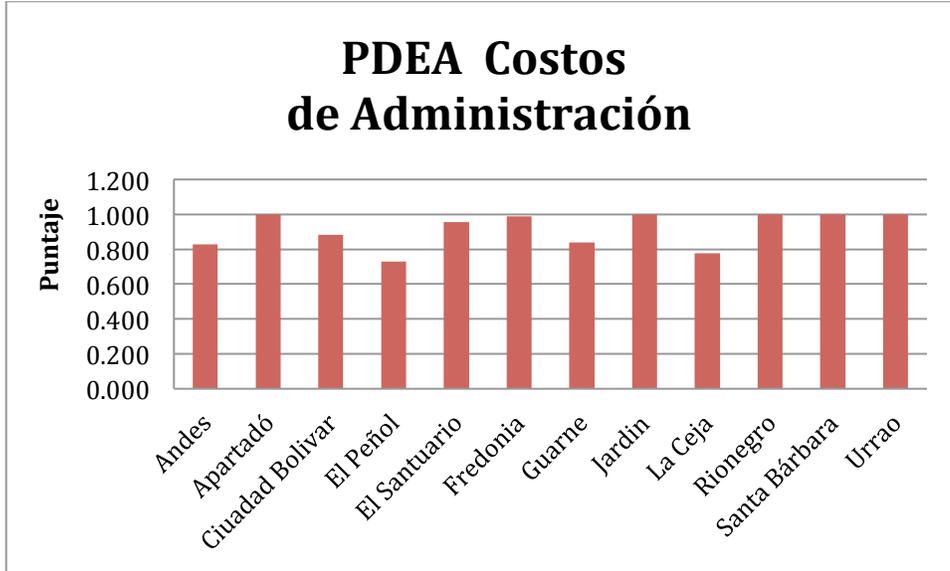
**Tabla 6: Puntaje de Eficiencia Comparativa para CMA y CMO**

EMPRESAS INCLUIDAS EN LA MUESTRA	EFICIENCIA CMA	EFICIENCIA CMO
<b>Mixta</b>		
AGUAS DE RIONEGRO S.A. E.S.P. -Rionegro	1,000	1,000
EMPRESA DE SERVICIOS PUBLICOS DOMICILIARIOS DEL MUNICIPIO DE GUARNE E.S.P. - Guarne	0,838	0,180
<b>Oficial</b>		
AGUAS Y ASEO DE EL PEÑOL E.S.P. - El Peñol	0,730	0,407
EMPRESAS PÚBLICAS DE URRAO E.S.P. - Urrao	1,000	0,308
EMPRESAS PÚBLICAS DE LA CEJA E.S.P. - La Ceja	0,776	0,874
EMPRESAS PUBLICAS DEL MUNICIPIO DE EL SANTUARIO E.S.P. - El Santuario	0,957	0,651
<b>Privada</b>		
INGENIERIA TOTAL SERVICIOS PUBLICOS S.A. E.S.P. - Andes	0,829	1,000
INGENIERIA TOTAL SERVICIOS PUBLICOS S.A. E.S.P. - Ciudad Bolivar	0,881	1,000
INGENIERIA TOTAL SERVICIOS PUBLICOS S.A. E.S.P. - Jardín	1,000	0,532
OPERADORES DE SERVICIOS S.A. E.S.P. - Fredonia	0,988	0,161
OPERADORES DE SERVICIOS S.A. E.S.P. - Santa Bárbara	1,000	0,264
PRESEA APARTADO S.A. E.S.P. - Apartadó	1,000	1,000

Fuente: Cálculos Propios

Los resultados a partir del modelo DEA se pueden observar más claramente en la Gráfica 9, respecto a la eficiencia administrativa.

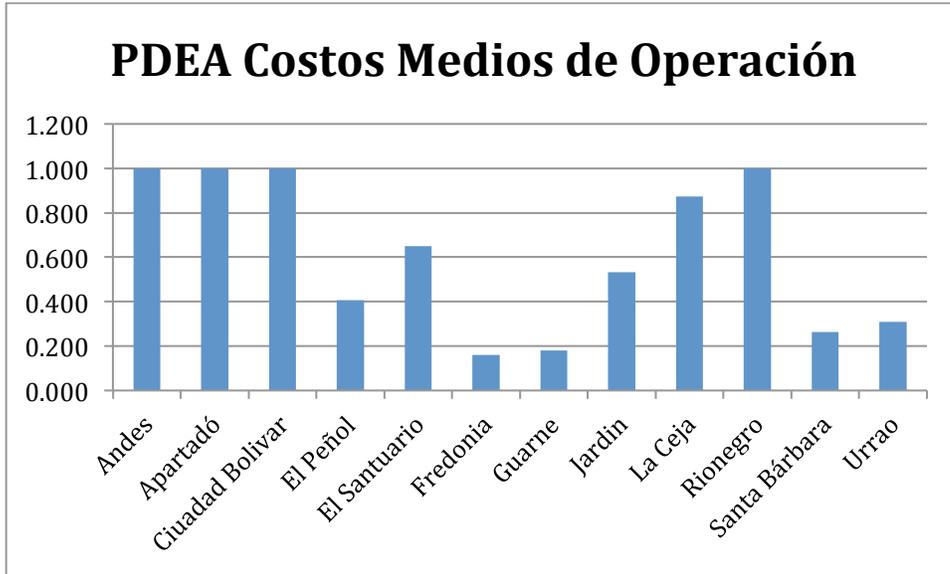
**Gráfica 4: Puntaje de Eficiencia Costos Administrativos**



Fuente: Cálculos Propios

Respecto a la eficiencia operativa, los resultados se observan en la Gráfica 10, resultados que si son comparados con la eficiencia administrativa son menores, mostrando que las empresas son mejores en el manejo administrativo, lo que respecta al usuario que en lo que respecta a la operación en sí del sistema de acueducto y alcantarillado.

**Gráfica 5: Puntaje de Eficiencia Costos de Operación**



Fuente: Cálculos Propios

En Gráfica 10 podemos observar que las empresas con el mayor puntaje de eficiencia comparativa son Presea Apartadó S.A. E.S.P. y Aguas de Rionegro S.A. E.S.P. que son las dos empresas que prestan el servicio a la mayor cantidad de usuarios.

Como el objetivo de esta investigación es identificar qué tipo de empresas son más eficientes, si públicas, privadas o mixtas; se organizaron los resultados de acuerdo a esta clasificación y se obtuvo los promedios de la Tabla 7 para la eficiencia administrativa:

**Tabla 7: Clasificación DEA para CMA**

Tipo	CMA
Mixta	0,919
Oficial	0,866
Privada	0,950

Fuente: Cálculos Propios

Como podemos observar en la tabla 7 la mayor eficiencia administrativa la presentan las empresas privadas, seguidas por las mixtas y finalmente las oficiales.

**Tabla 8: Clasificación DEA para CMO**

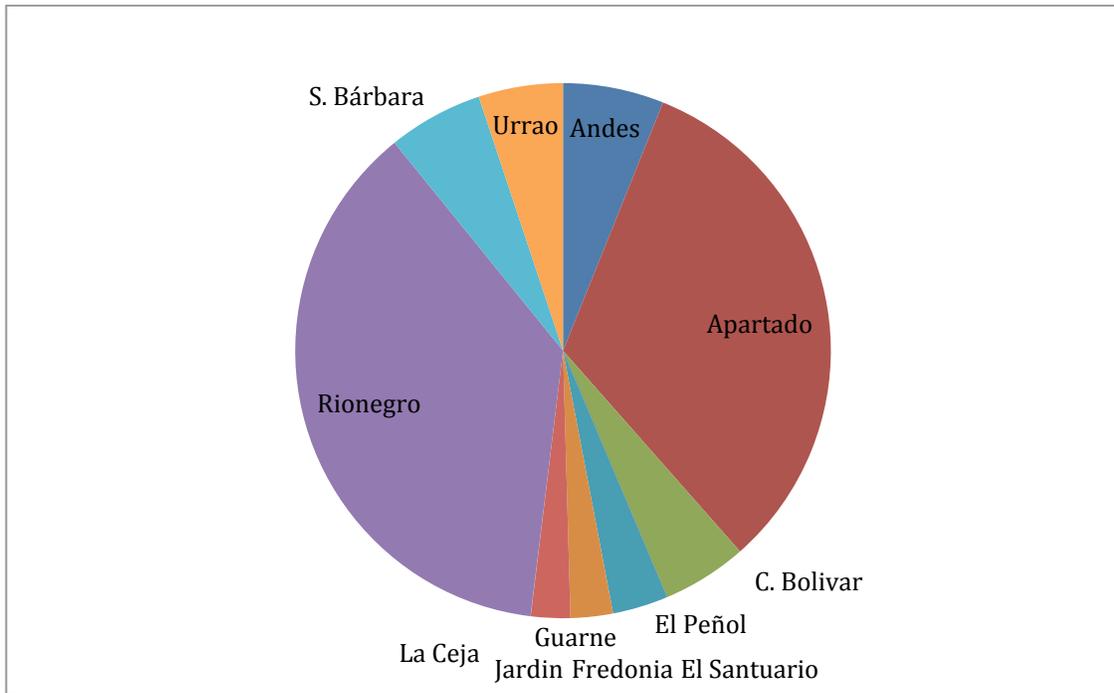
Tipo	CMO
Mixta	0,919
Oficial	0,560
Privada	0,660

Fuente: Cálculos Propios

Por el lado de la eficiencia operativa, las empresas mixtas son las que presentan la mayor eficiencia.

Además de las variables utilizadas para el cálculo del puntaje de eficiencia de los Costos Operativos, por recomendación de la CRA, se omitió la variable densidad de red (km), que de todas maneras se incluyó en las gráficas presentadas en este análisis, aunque no es incluida en el cálculo porque no está en la Resolución 485 de 2009 de la CRA. Para las empresas incluidas en la muestra se presenta la información de la siguiente gráfica:

**Gráfica 6: Densidad de Red**

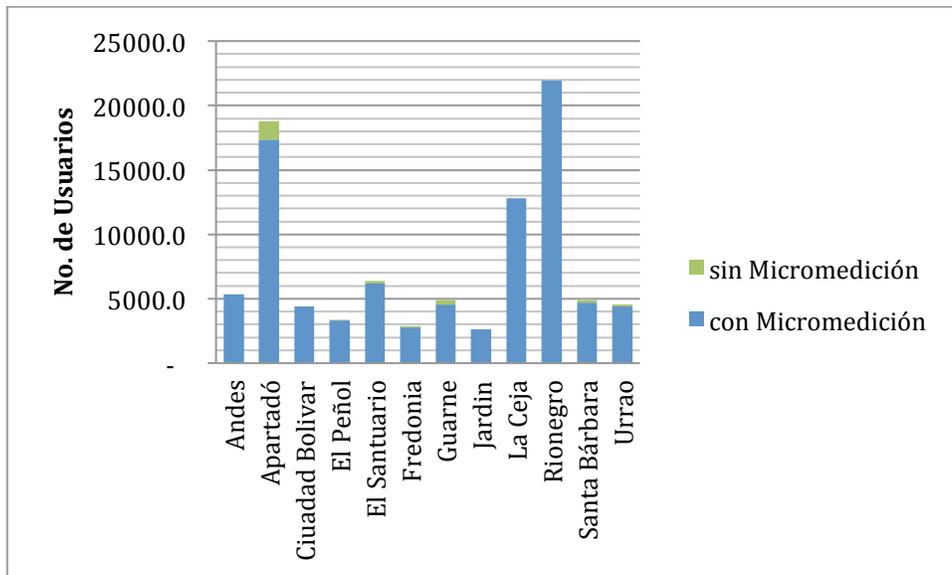


En la Gráfica 4 podemos observar que Rionegro y Apartadó presentan las redes más grandes, que también son los municipios que tienen la mayor cantidad de usuarios. “La densidad de la red total es una variable que refleja la complejidad y el tamaño de la infraestructura a mantener y reparar, por lo tanto es una variable explicativa de mayores costos operativos.”(Resolución 287, 2004, pág. 44). Además los municipios de Santa

Bárbara y Ciudad Bolívar son, de los que tienen más pocos usuarios, las redes más complejas.

Una de las variables determinantes para el cálculo de los Costos de Administración es el número de suscriptores micromedidos, ya que “estos usuarios pueden generar mayores costos administrativos para el prestador que aquellos usuarios sin micromedición. Lo anterior, en la medida en que éstos últimos no requieren algunos procesos de comercialización tal como la lectura y los procesos subsiguientes” (**Resolución 485, 2009, pág. 58**). En la Gráfica 5 podemos observar que el municipio con la mayor proporción de usuarios sin micromedición es Apartadó, de resto los demás municipios no tienen un número significativo de usuarios sin micromedición, esto explica en parte porqué los Costos Administrativos de dicha empresa son tan bajos, sabiendo que es uno de los municipios con la mayor cantidad de usuarios.

**Gráfica 7: Micromedición**

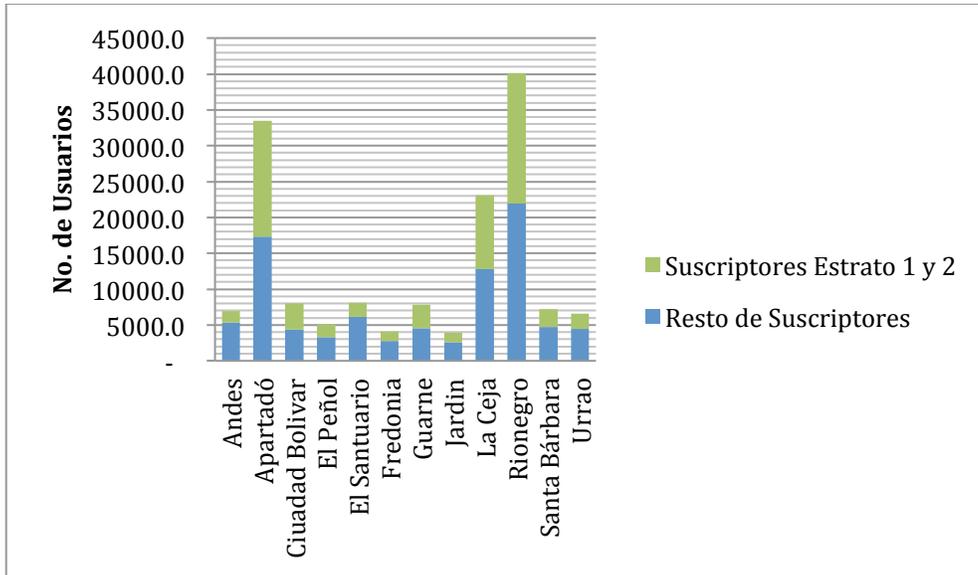


Fuente: Cálculos Propios

La Gráfica 6 muestra la cantidad de usuarios estratos 1 y 2 sobre el total de usuarios. La variable Suscriptores Estrato 1 y 2 “...refleja la estructuración del mercado de acuerdo a los grupos de suscriptores que pueden presentar características particulares como el número de quejas y reclamos, mayor demanda administrativa por atención en conexiones y reconexiones, mayor riesgo de cartera y atención para incentivar el pago, dificultad de acceso a la lectura de consumos, entre otras.” (Resolución 485, 2009, pág. 58).

Observamos en la Gráfica 5 que la mayor cantidad de usuarios 1 y 2 como proporción del total de usuarios es mayor en Apartadó y en Rionegro.

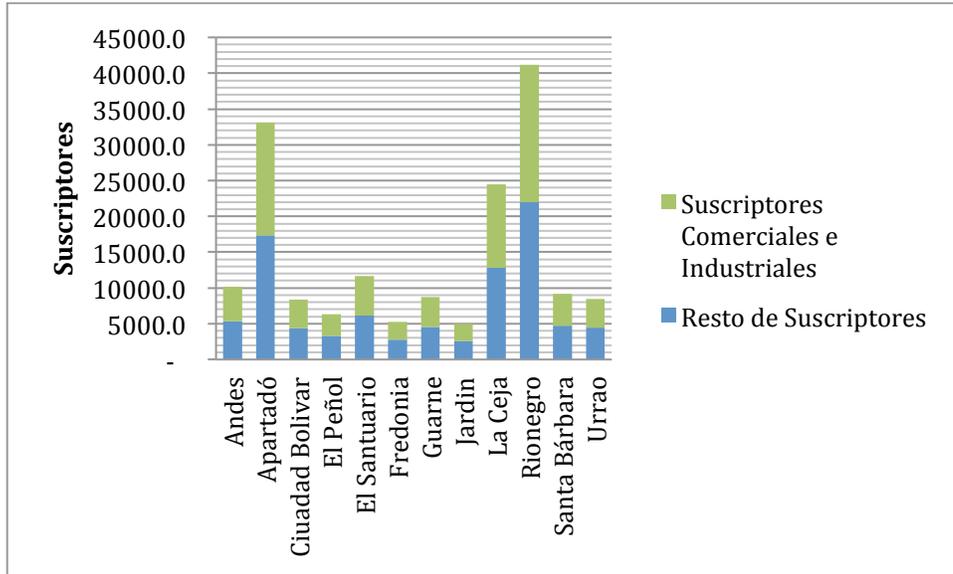
**Gráfica 8: Suscriptores Estrato 1 y 2**



Fuente: Cálculos Propios

Por otro lado se analiza en la Gráfica 7 los suscriptores Industriales y Comerciales como proporción del total de usuarios. “El supuesto para introducir esta variable es que este grupo de usuarios implica un menor esfuerzo de recaudo y atención.” (Resolución 485, 2009, pág. 58). Vemos que en los municipios donde se presenta mayor número de usuarios industriales y comerciales es en el municipio de Apartadó lo que puede ayudarle a esta empresa a ser más eficiente.

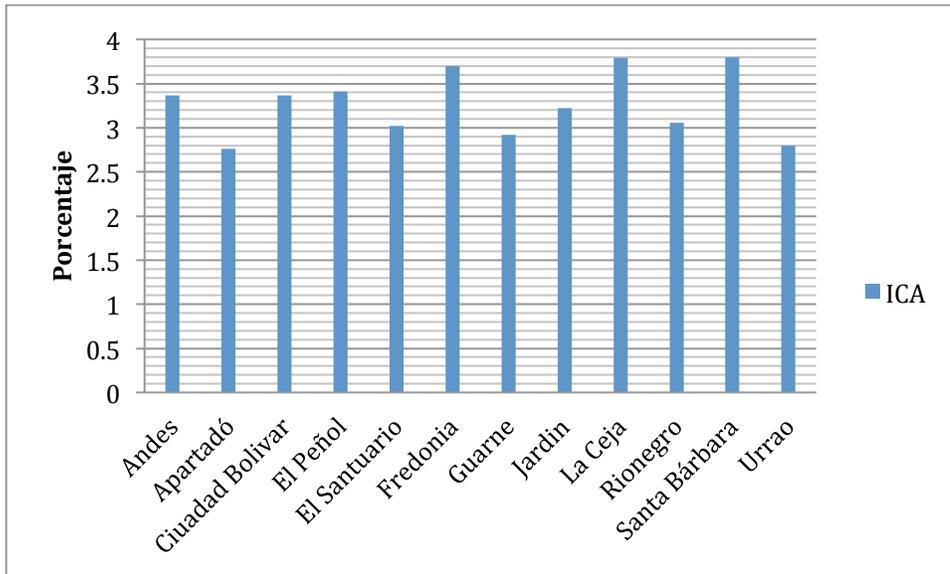
**Gráfica 9: Suscriptores Comerciales e Industriales**



Fuente: Cálculos Propios

En la Gráfica 8 podemos observar la Calidad Promedio del Agua Cruda, “variable que explica la complejidad en los procesos de potabilización, tales como personal especializado, laboratorios, frecuencia de pruebas, etc.”(Resolución 485, 2009, pág. 60). Este indicador es entre 1 y 4; siendo 4 la mejor calidad de agua, el modelo supone que entre menor sea la calidad promedio de agua cruda, mayores costos operativos debe incurrir la empresa. Por lo tanto los mayores costos de potabilización los tiene la empresa que opera en el municipio de Apartadó.

**Gráfica 10: Calidad Promedio del Agua Cruda**



Fuente: Cálculos Propios

### **Conclusiones y Recomendaciones**

Además de los factores institucionales que se presentaron en la revisión de literatura hecha en esta investigación como determinantes de la eficiencia y gracias al análisis de las variables incluidas para medir la eficiencia administrativa y la eficiencia operativa, se puede sacar las siguientes conclusiones para las empresas y las DMUs incluidas en la muestra.

Debemos primero destacar el hecho que en general todas las DMUs de la muestra presentan puntajes de eficiencia mayores para la parte administrativa que para la operativa. Podemos concluir que definitivamente la empresa más eficiente de la muestra tanto operativa como administrativamente, es la empresa que Presea Apartadó SA ESP. Esta conclusión no sale del hecho de que presente los menores costos o los mayores puntajes de eficiencia, sino que a pesar de no contar con las condiciones ideales de operación, ha logrado aprovechar las economías de escala para ser eficiente. Esta empresa no existe en la actualidad, pues el operador hoy en día en el municipio de Apartadó es Aguas de Urabá que pertenece a EPM.

Por otro lado es importante analizar las empresas y su comportamiento según su tipo. La empresas privadas incluidas en la muestra que fueron de cierta manera herederas de lo que fue Acuantioquia. Estos son Operadores de Servicios S.A. E.S.P. (Fredonia y Santa Bárbara) e Ingeniería Total (Ciudad Bolívar y Andes). Por un lado podemos decir que la Empresa Operadores de Servicios que es el prestador en Fredonia y Santa Bárbara, tiene las variables que afectan negativamente el puntaje de eficiencia mas altas de la muestra ya sea para uno de los dos, o ambos municipios. Por otro lado la empresa Ingeniería Total es un poco mas eficiente, pero los costos operativos en Andes son bastante grandes lo que afecta la eficiencia de esta empresa en dicho municipio y en general en su operación.

Por otro lado podemos decir que aunque la complejidad del sistema de Rionegro es alta, es una empresa que sabe usar las economías de escala para presentar resultados eficientes en este estudio, a pesar del hecho de que tiene gran cantidad de usuarios estrato 1 y 2 que vuelven la prestación un poco mas compleja.

Con estos resultados podemos concluir que las economías de escala son un factor que influye de manera significativa en la eficiencia de una empresa. Además de esto y según las variables que se analizaron, la empresa de Apartadó es la más eficiente ya que aunque debe incurrir en mayores costos administrativos y operativos, logra obtener el mejor puntaje de la muestra. Por otro lado, la empresa con la menor eficiencia administrativa es Aguas y Aseo de El Peñol, que es la empresa con la menor cantidad de usuarios comerciales e industriales. Es importante recordar que estos usuarios son los que pagan un

sobrecosto por el servicio y son usuarios que “implican un menor esfuerzo de recaudo y atención.” (Resolución 485, 2009, pág. 58 Anexo 2). Además, podemos observar que para la Eficiencia Operativa, la empresa que presenta el menor puntaje es Aguas y Aseo de El Peñol, que al mismo tiempo es la empresa que produce la menor cantidad de metros cúbicos, teniendo un tamaño de redes similar al de las demás empresas y con casi la misma calidad. Esto significa que el metro cúbico de agua para esta empresa es mucho más costoso que para las demás empresas incluidas en la muestra

Es importante concluir entonces que más allá de determinar si una empresa es pública o privada como un determinante de su eficiencia, es importante tener en cuenta factores como los contratos de operación administración y mantenimiento de los sistemas de acueducto y alcantarillado, los cuales deben ser bien elaborados y con las exigencias pertinentes a la empresa respecto a la rendición de información y las inversiones que debe hacer en el sistema los porcentajes de retribución. También es importante que la empresa esté correctamente conformada y que tenga sostenibilidad financiera y ambiental y que la información que requiera la Superintendencia de Servicios Públicos siempre esté disponible para ser consultada y que esté actualizada constantemente.

Es de vital importancia que las empresas estén de acuerdo con la normativa vigente y prestar los servicios con eficiencia y eficacia. En este sentido se debe tener en cuenta que la empresa debe ser supervisada e incentivada para el cumplimiento de metas respecto a las inversiones que debe hacer. Estas metas y las obras que se desarrollen deben siempre tener en cuenta el impacto de estas sobre los indicadores de cobertura, calidad y continuidad en el servicio.

### Bibliografía

- Constitución Política de Colombia (Const). (7 de Julio de 1991). Art. 365. Bogotá, Colombia: Congreso de la República.
- Ley 142. (11 de Julio de 1994). *Por la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios y se dictan otras*, Artículo 7.2. Bogotá, Colombia.
- Cárdenas, J. F. (2003). Estudio de caso de las pequeñas y medianas empresas (PYMES) de los servicios de agua potable y saneamiento en Colombia. *Departamento de Desarrollo Sostenible*.
- Charnes, Cooper, & Rhodes. (1978). Measuring the Efficiency of Decision Making Units. *European Journal of Operational Research*, 429-444.
- Coelli, T. (2008). A Guide to DEAP Version 2.1. . *Center for Efficiency and Productivity Analysis*.
- Coll, V., & Blasco, O. (2006). Evaluación de la Eficiencia Mediante el Análisis Envolvente de Datos.
- DANE. (2013). Pobreza Monetaria por Departamentos. *Comunicado de Prensa*.
- Departamento Nacional de Planeación. (s.f.). Obtenido de [www.dnp.gov.co](http://www.dnp.gov.co)
- Farell, M. (1957). Measurement of Productive Efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society*.
- Gobernación de Antioquia. (2006). Recuperado el 1 de julio de 2013, de <http://www.antioquia.gov.co/>
- Gobernación de Antioquia. (2010). Plan de Desarrollo.
- Gobernación de Antioquia. (Mayo de 2012). Plan de Desarrollo Antioquia la más Educada (2012-2015).
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Viceministerio de Agua y Saneamiento. (2008). *Costos y Tarifas: Municipios Menores, Zonas Rurales y Urbanas Específicas*. Bogotá: Serie Cultura Empresarial. Fortalecimiento Institucional.
- OMS/UNICEF. (2006). Joint Monitoring Programme for Water and Sanitation.

- Ortiz, A. C. (2011). Ineficiencias, Tarifas y el Servicio de Acueducto. *Revista Divergencia*, 12.
- Ramírez, A., & Guarín, A. (2012). Metodologías de Análisis de Eficiencia. *Departamento de Economía EAFIT*.
- Resolución 287. (25 de Mayo de 2004). Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento. *Por la cual se establece la metodología tarifaria para regular el cálculo de prestación de los servicios de acueducto y alcantarillado*. Bogotá: Diario Oficial No. 45.573.
- Resolución 485. (22 de Diciembre de 2009). Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento. *Por la cual se establece la metodología tarifaria para regular el cálculo de los costos de prestación de los servicios de acueducto y alcantarillado*. Bogotá, Colombia.
- Revollo, D. (2008). Revisión de los Modelos de Eficiencia Introducidos Mediante la Resolución CRA 287 de 2004. *Revista CRA*.
- Ruggiero, J. (1994). On the Measurement of Technical Efficiency in the Public sector. *European Journal of Operational Research*.
- Salinas, J. M. (2011). Retos a futuro en el sector de acueducto y alcantarillado en Colombia. (N. Unidas, Ed.) *Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL)*.
- Seroa da Motta, R., & Moreira, A. (2006). Efficiency and Regulation in the Sanitation Sector in Brazil. *Utilities Policy*.
- Spiller, P. (2000). Plan de Acción y Estrategia Regulatoria. *Comisión de Regulación Agua Potable y Saneamiento*.
- Tabares, J. W. (2010). Condiciones del Agua para el consumo humano y Saneamiento Básico. *Gobernación de Antioquia*.
- Valencia, G. A. (2005). La Participación Privada en el Sector de Agua Potable en Antioquia: Lecciones que vale la pena tener en cuenta. 14, 13-25. Bogotá: Territorios.

## ANEXOS

### **Anexo 1: Metodología DEA**

#### **RENDIMIENTOS CONSTANTES A ESCALA (CRS):**

Tomado de (Coelli, 2008). Se asume tener la siguiente información sobre cada una de las N firmas o DMUs:

$K_i$  = insumos

$M_j$  = productos

$N$  = Número de DMUs para las cuales se tiene toda la información de sus insumos y productos. Esta información está representada por medio de los vectores  $x_i$  y  $y_i$ . La información de estas DMU's está representada por medio de los siguientes vectores:

$X$  = Matriz  $K \times N$  (insumo)

$Y$  = Matriz  $M \times N$  (producto)

El propósito del análisis envolvente de datos es “construir una frontera paramétrica envolvente para que los puntos observados estén por encima o por debajo de ésta frontera.”<sup>7</sup> Cuando se habla de Rendimientos Constantes a Escala se puede entonces buscar la razón de los productos sobre los insumos, teniendo entonces los siguientes vectores:

$u$  = vector  $M \times 1$  (producto)

$v$  =  $K \times 1$  (insumo)

La razón de productos sobre los insumos:

$$\frac{u'y_i}{v'x_i} = \frac{\text{producto}}{\text{insumo}} \quad (12)$$

---

<sup>7</sup>Coelli, T. (2008). A Guide to DEAP Version 2.1. . Center for Efficiency and Productivity Analysis. Coll, V., & M, B. O. (2006).

Se procede entonces a encontrar los ponderados óptimos maximizando el producto para poder resolver el siguiente problema matemático:

$$\text{Max } \frac{u' y_i}{v' x_i} \text{ s.a. } \frac{u' y_i}{v' x_i} \leq 1; j = 1, 2, \dots, N; u, v \geq 0 \quad (13)$$

Se maximiza el valor de la n-ésima DMU al encontrar  $u$  y  $v$ . Al hacer esto se está maximizando la medida de eficiencia de la n-ésima DMU. El problema es que esta operación tiene infinitas soluciones. Por lo tanto se impone una restricción adicional que es la siguiente:

$$\begin{aligned} \text{Max } u, v (u' y_i) \quad \text{s.a.} \quad v' x_i &= 1 \\ \mu' y_j - v' x_j &\leq 0, j = 1, 2, \dots, N \\ \mu, v &\geq 0 \end{aligned} \quad (14)$$

Esta transformación se denota por  $\mu, v$ . Esta transformación expresa los valores en su forma multiplicadora, que también es llamada normalizada o precio sombra.

Por medio de programación lineal se obtiene la forma equivalente envolvente:

$$\begin{aligned} \min_{\theta, \lambda} \theta \text{ s.a.} \quad -y_i + Y\lambda &\geq 0, \\ \theta x_j - X\lambda &\geq 0 \\ \lambda &\geq 0 \end{aligned} \quad (15)$$

Dónde  $\theta$  es un escalar y  $\lambda$  es un vector de constantes  $N \times 1$ . Esta forma envolvente tiene menos restricciones que la forma multiplicadora y por lo tanto es preferible a la hora de resolver. EL valor  $\theta$  obtenido será el puntaje de eficiencia para la n-ésima DMU, satisfaciendo  $\theta \leq 1$ . Siendo 1 un punto eficiente en la frontera, según la definición de (Farell, 1957).



## Formulario de Autorización de Publicación de Proyectos y Tesis Electrónicas

Fecha de Entrega 2013 / 12 / 02  
año / mes / día

### 1. Identificación de la Tesis o Proyecto de Grado (Marque con una X la que corresponda)

Pregrado  Especialización  Maestría  Doctorado

#### Estudiante 1

Nombre completo: <u>Estefanía Vélez Londono</u>	
Dirección: <u>Cra 13 #4B Sur 97</u>	
Teléfono: <u>3173875</u>	E-mail: <u>evelezlon@gmail.com</u>

#### Estudiante 2

Nombre completo:	
Dirección:	
Teléfono:	E-mail:

#### Estudiante 3

Nombre completo:	
Dirección:	
Teléfono:	E-mail:

Escuela:	Ciencias y Humanidades <input type="checkbox"/>	Administración <input type="checkbox"/>
	Ingeniería <input type="checkbox"/>	Derecho <input type="checkbox"/>
		Economía y Finanzas <input checked="" type="checkbox"/>
Departamento:	<u>Economía</u>	
Programa académico:	<u>Maestría en Economía</u>	
Título que opta:	<u>Master en Economía</u>	
Asesor:	<u>Gustavo López Alvarez</u>	

Título de Tesis o Proyecto de Grado:
<u>Eficiencia en la prestación del Servicio de Acueducto y Alcantarillado en Antioquia</u>

Temas Tesis o Proyecto de Grado: (palabras claves de 3 a 5 términos)
<u>Acueducto, Alcantarillado, Eficiencia, Analisis Envolvente de Datos</u>

## 2. Autorización de Publicación de Versión electrónica de la Tesis o proyecto de Grado.

Por medio de este escrito autorizo en forma gratuita y por tiempo indefinido a la Universidad Eafit para situar en la Biblioteca Luis Echavarría Villegas un ejemplar del trabajo con el fin de ser consultado por el público.

Igualmente autorizo en forma gratuita y por tiempo indefinido a publicar en forma electrónica o divulgar por medio electrónico el texto del trabajo con el fin de ser consultado por el público en <http://www.eafit.edu.co/biblioteca>.

Todo persona que consulte ya sea la biblioteca o en medio electrónico podrá copiar apartes del texto citando siempre la fuentes, es decir el titulo del trabajo y el autor. Esta autorización no implica renuncia a la facultad que tengo de publicar total o parcialmente la obra.

La Universidad no será responsable de ninguna reclamación que pudiera surgir de terceros que invoquen autoría de la obra que presento.

### Publicación electrónica

La autorización debe estar respaldada por las firmas todos los autores de la tesis o proyecto.

Si autorizo

Autorizo después de 1 año

No autorizo

**Firma estudiante 1**

**Firma estudiante 2**

**Firma estudiante 3**

*Estefanía Valez*

Documento: 43.984.200

Documento:

Documento:

**3. Forma de Envío:** El texto de la Tesis o Proyecto de Grado de ser enviado en formato PDF, las imágenes que la acompañen pueden ser: gif, jpg.

CD-ROM  Papel

**Entregar en:**

**Circulación y préstamo. Biblioteca Luis Echavarría Villegas**

**E-mail: [prestamos@eafit.edu.co](mailto:prestamos@eafit.edu.co)**