



DOCUMENTO CEDE 2003-38  
ISSN 1657-7191 (Edición Electrónica)  
DICIEMBRE DE 2003

**CEDE**

## **EL VALOR DE LA PRODUCTIVIDAD MARGINAL DEL AGUA EN LA INDUSTRIA MANUFACTURERA COLOMBIANA<sup>1</sup>**

**MARTHA PATRICIA CRUZ, EDUARDO URIBE Y HAROLD CORONADO**

### **Resumen**

Este estudio considera el valor de la productividad marginal del agua en la industria manufacturera colombiana. Su estimación se realiza con información proveniente de aquellos establecimientos industriales que reportaron algún consumo de agua como materia prima, agregados a cuatro dígitos CIIU, en la Encuesta Anual Manufacturera (EAM), durante el periodo 1992 - 1999. A través de la estimación de una función de producción Trans Log, donde el agua ( $W$ ) se incluye como un insumo fundamental, al igual que el trabajo ( $L$ ), el capital ( $K$ ) y la energía ( $E$ ), se deriva el valor privado de la productividad marginal del agua para cada uno de los sectores industriales seleccionados. Los resultados obtenidos demuestran que muchos de los sectores industriales, considerados intensivos en el uso de agua, han logrado reducir notablemente sus costos de acceso al recurso (extracción, tratamiento y distribución) y muestran una baja disponibilidad marginal privada a pagar por el uso de agua como materia prima ( $DAPMg_w$ ). Este es el caso del sector de Alimentos ( $DAPMg_w$  entre  $\$1,125/m^3/mes$  y  $\$4,177/m^3/mes$ ), Bebidas ( $DAPMg_w$  entre  $\$364/m^3/mes$  y  $\$1,184/m^3/mes$ ), Textiles ( $DAPMg_w$   $\$1,233 m^3/mes$  y  $\$2,222 m^3/mes$ ), Metalurgia ( $DAPMg_w$  entre  $\$403 m^3/mes$  y  $\$450 m^3/mes$ ) y Sustancias Químicas ( $DAPMg_w$  entre  $\$577 m^3/mes$  y  $\$1,958 m^3/mes$ )<sup>2</sup>. Este hecho ha favorecido tanto el incremento en el consumo de agua proveniente de fuentes propias (legales o no), como el pago de un precio muy bajo por el uso del agua que no tiene en cuenta el problema de escasez relativa que enfrenta el recurso. El cobro de una tasa por utilización del agua (TUA), que tenga en cuenta la disponibilidad marginal a pagar privada por el uso de agua como un insumo, puede hacer que este recurso natural de dominio público se distribuya de manera más eficiente entre las diferentes actividades industriales del sector manufacturero, más aún si se tiene en cuenta que este estudio encontró que la elasticidad precio propia del agua como materia prima se encuentra alrededor de -1.

Palabras claves: productividad marginal, agua, industria manufacturera.

Clasificación JEL: L60, Q25

---

<sup>1</sup> Artículo publicable presentado por Martha Cruz para optar al título de Magíster en Economía del Medio Ambiente y los Recursos Naturales en Junio de 2003.

<sup>2</sup> La participación de estos sectores industriales en el consumo total de agua como materia prima representa el 91% y está distribuida así: Alimentos 29%, Bebidas 27%, Textiles 15%, Metalurgia 13% y Sustancias Químicas 7%.

## Abstract

This study addresses the marginal productivity of water used in the Colombian manufacturing industry. Using data from local industrial plants within the four digits sector of the CIIU that reported some usage of water in the *Encuesta Anual Manufacturera* (EAM) (annual manufacturing survey), for the 1992-1999 period, the study estimates a Tran Log production function. For this estimation, the author treats water (W), labor (L), capital (K) and energy (E) as inputs to industrial production. She then estimates the marginal productivity of water for a series of selected industrial sectors. This estimation shows that those sectors that are considered heavy users of water have been able to notably reduce the cost for accessing water (extraction, treatment and distribution) and show a low private willingness to pay for the using of this supply ( $DAPMg_w$ ) This is the case with Food ( $DAPMg_w$  between  $\$1,125/m^3/month$  and  $\$4,177/m^3/month$ ) Beverage ( $DAPMg_w$  between  $\$364/m^3/month$  and  $\$1,184/m^3/month$ ), Textiles ( $DAPMg_w$   $\$1,233 m^3/month$  and  $\$2,222 m^3/month$ ), Metalurgy ( $DAPMg_w$  between e  $\$403 m^3/month$  and  $\$450 m^3/month$ ) and Chemicals ( $DAPMg_w$  between  $\$577 m^3/month$  and  $\$1,958 m^3/month$ )<sup>3</sup>. This has favored both the increment in water consumption from private sources (licit or illicit) and the payment of a quite low fee for water usage in which relative scarcity of water is not taken into account. Taking into account the private marginal willingness to pay for water usage by charging a rate for water usage (TUA) would favor a more efficient distribution of water among different industrial activities within the manufacturing industry. The relevance of such charging is more evident if we consider that the study found a product's elasticity with respect to water close to  $-1$ .

Keywords: marginal productivity, water, manufacturing industry

JEL Classification: L60, Q25

---

<sup>3</sup> La participación de estos sectores industriales en el consumo total de agua como materia materia prima representa el 91% y está distribuida así: Alimentos 29%, Bebidas 27%, Textiles 15%, Metalurgia 13% y Sustancias Químicas 7%.

## 1. INTRODUCCIÓN

Aunque la oferta de agua en términos absolutos se considera abundante, Colombia enfrenta un serio problema de escasez relativa. Este problema se manifiesta en la incapacidad de abastecer la demanda de agua en algunas cuencas del país, especialmente en los meses secos. Las áreas cuya disponibilidad de agua varía entre altamente deficitaria y normal representa el 32% de la superficie del país. En ellas se asienta aproximadamente el 80% de la población colombiana y se produce el 75% del PIB<sup>4</sup>.

De acuerdo con el Estudio Nacional del Agua (IDEAM, 1998), el índice de escasez del agua alcanza categorías de medio, medio alto y alto en cerca del 14% de la cabeceras municipales del país, zonas que albergan aproximadamente el 61% de la población colombiana<sup>5</sup>. Si se incrementa la demanda y se reduce la oferta, bajo el supuesto de ausencia de suficientes medidas de conservación de cuencas y tratamiento de aguas residuales, más del 19% de los municipios del país podrían alcanzar un índice de escasez superior al 20% en los próximos 15 años<sup>6</sup>.

Según el documento “Lineamientos de Política para el Manejo Integral del Agua”, el sector agropecuario consume el 63% del agua dulce en Colombia, el sector energético e industrial el 32% y el consumo humano el 5%. El costo en el cual puede

---

<sup>4</sup> *Zonas altamente deficitarias de agua*: regiones con predominio de zonas muy secas, con tendencia a la erosión y suelos estériles. Se localizan en la Alta Guajira y el desierto de la Tatacoa. Corresponde al 1% del área nacional.

*Zonas de disponibilidad deficitaria*: regiones con marcado déficit durante gran parte del año. Se localizan en la Baja Guajira, sabanas de Córdoba y Sucre y cuencas del Río Catatumbo y parte media y baja del río Chicamocha. Corresponde al 5% de la superficie del país.

*Zonas de disponibilidad entre normal y deficitaria*: cuencas de los ríos Magdalena-Cauca, Tomo, Tuparro y Vichada. Corresponde al 26% del territorio.

Fuente: Ministerio del Medio Ambiente. *Lineamientos de Política para el Manejo Integral del Agua*. 1996.

<sup>5</sup> Índice de escasez: relación demanda sobre oferta neta en porcentaje. Ambos se cuantifican en millones de metros cúbicos.

<sup>6</sup> El índice de escasez del agua, construido por el IDEAM (1998), se agrupa en cinco categorías:

- (1) No significativa: menor a 1%. La demanda no es significativa respecto a la oferta
- (2) Mínimo: entre 1% y 10%. La demanda es muy baja con relación a la oferta.
- (3) Medio: entre 11 y 20%. La demanda es baja respecto a la oferta.
- (4) Medio alto: entre 21% y 50%. La demanda es apreciable con relación a la oferta.
- (5) Alto: más de 50%. La demanda es alta respecto a la oferta.

incurrir la sociedad colombiana para mantener los actuales niveles de consumo y de pérdidas del recurso puede llegar a ser muy alto, más aun si se tiene en cuenta que el país tendrá 50 millones de habitantes en el año 2007 y que el 80% de la población se ubicará las zonas urbanas de alta y media montaña, causando el deterioro de las fuentes abastecedoras y protectoras del recurso hídrico en nuestro país.

En la industria se agrupan la producción manufacturera, la minería y la generación de termo-energía. La presión de estas actividades sobre la demanda de agua del sector surge de los grandes requerimientos de las empresas para realizar cuatro procesos básicos: (i) producción, (ii) enfriamiento, (iii) generación de vapor, y (iv) usos generales<sup>7</sup>. Sin embargo, no es fácil separar de manera clara el uso de agua dentro del proceso de producción, del agua utilizada para enfriamiento o generación de vapor. Esto se debe a que el uso de agua para procesos se define como “el agua que tiene contacto directo con el producto intermedio o final y puede ser subdividida en (1) agua que entra al producto como en conservas y bebidas, y (2) agua sirviendo un uso suplementario en la manufactura del producto”<sup>8</sup>.

El uso industrial del agua comparte dos importantes características con el uso agrícola: (i) las empresas cuentan con fuentes propias de abastecimiento y (ii) degradan la calidad del agua que regresa al medio ambiente. Sin embargo, el agua que entra en la industria tiene la posibilidad de ser reutilizada, lo cual le permite al sector reducir costos de energía, recapturar materiales y disminuir la generación de efluentes. Desafortunadamente, en Colombia no existe un estudio acerca del uso industrial del agua que permita diferenciar las cantidades y los costos del agua que entra (acueducto público) y que se trata (fuente propia o recirculación).

Sólo el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) ha permitido obtener cierta información agregada a nivel sectorial sobre el consumo de agua

---

<sup>7</sup> Incluye usos como la limpieza de la planta y la higiene personal.

<sup>8</sup> Vanegas, Raquel. *Modelo General de Demanda de Agua*. Universidad Nacional de Colombia. 2001. p.52.

como materia prima, definida como agua para procesos, en la industria manufacturera colombiana. La fuente es la Encuesta Anual Manufacturera (EAM) y se obtuvo información para el periodo 1992 – 1999 (Tabla No.1).

Esta muestra de establecimientos de la industria manufacturera colombiana estaría consumiendo alrededor de 45 millones de metros cúbicos en el año 1999, es decir, sólo el 13% de la demanda total de agua estimada por el IDEAM para esta actividad industrial.<sup>9</sup>. Los sectores industriales que reportan los mayores consumos de agua como materia prima son: Alimentos y Bebidas (56%), Textiles (15%), Metalurgia (13%), Productos Químicos (10%) y Papel (3%).

**Tabla No. 1**  
**Consumo de Agua como Materia Prima en la Industria Manufacturera Colombiana**

Año	Alimentos y Bebidas (31)	Textiles (32)	Productos de Madera (33)	Papel (34)	Productos Químicos (35)	Minerales no Metálicos (36)	Metalurgia (37)	Productos Metálicos (38)	Otras Industrias (39)	Total
1992	49'729,101	3'769,186	3,440	33'978,012	7'955,273	7'595,530		143,546	6,380	103'180,468
1993	26'980,911	6'317,219	1,081	31'680,563	20'281,598	1'685,456		152,131	9,672	87'108,631
1994	51'804,496	3'442,273		33'267,342	5'621,533	2'340,671	5'322,896	121,927	11,065	101'932,203
1995	36'313,358	1'871,594		34'125,329	1'544,156	2'012,541	7'129,882	71,642	11,972	83'080,474
1996	38'867,970	2'192,798		1'672,207	1'992,235	1'544,507	6'314,713	37,027	16,068	52'637,525
1997	49'321,413	3'043,842		1'596,378	2'342,629	1'850,194	1'190,811	38,378		59'383,645
1998	58'729,753	3'150,966		1'532,877	3'690,476	1'842,278	5'588,685	26,885	151	74'562,071
1999	24'809,617	6'486,090		1'466,996	4'435,905	1'408,300	5'920,065	92,361	158	<b>44'619,492</b>

Fuente: EAM, 1992 - 1999. Los datos corresponden a los metros cúbicos consumidos en el año.

Debe tenerse en cuenta que, en promedio, el 98% de los establecimientos industriales encuestados en el sector de Alimentos y Bebidas (31) reportó algún consumo de agua como materia prima, mientras que en el sector de Textiles (32)

<sup>9</sup> El IDEAM (1998) estimó la demanda de agua para el industria urbana y los grandes consumidores industriales de acuerdo con el crecimiento real de la economía a partir de 1997, sobre la demanda potencial de agua para la industria en 1996. Como resultado de estas estimaciones, la demanda de agua del sector industrial, sin incluir la generación de termo energía, se encontraría alrededor de 360 millones de metros cúbicos en el año.

sólo un 27% en promedio lo hizo. En el sector de Hierro y Acero (37), este consumo fue reportado, en promedio, por el 68% de los establecimientos encuestados, mientras que en los sectores de Productos Químicos (35) y de Minerales no Metálicos (36), lo hizo el 86% y el 84%, respectivamente. En los sectores de Pulpa y Papel (34) y de Productos Metálicos (38), en promedio, sólo el 17% de los establecimientos encuestados en cada sector reportó algún consumo de agua como materia prima. De esta manera, es muy probable que el consumo total de agua como materia prima que se obtuvo, sólo corresponda a una pequeña parte del consumo real de agua que vienen realizando los diferentes sectores de la industria manufacturera colombiana, pues sólo el 50% de los establecimientos industriales que fueron encuestados cada año en reportó algún tipo de información al respecto.

**Tabla No. 2**  
**Establecimientos que Reportaron Consumo de Agua como Materia Prima**

Año	Sector 31		Sector 32		Sector 33		Sector 34		Sector 35		Sector 36		Sector 37		Sector 38		Sector 39		Total	
	E	%	E	%	E	%	E	%	E	%	E	%	E	%	E	%	E	%	E	%
1992	1,559	99%	536	28%	154	34%	81	14%	961	90%	346	81%			281	17%	102	52%	4,020	51%
1993	1,484	99%	515	29%	239	57%	72	12%	961	90%	343	81%			247	16%	92	51%	3,953	52%
1994	1,483	99%	488	28%			78	14%	555	53%	345	82%	81	66%	336	23%	87	52%	3,453	46%
1995	1,571	99%	468	26%			77	13%	1,001	91%	397	86%	86	67%	370	23%	100	51%	4,070	51%
1996	1,632	99%	497	28%			84	13%	1,062	91%	411	87%	92	73%	82	5%	102	50%	3,962	48%
1997	1,649	96%	498	27%			82	13%	1,081	91%	405	88%	81	66%	90	6%			3,886	47%
1998	1,618	96%	473	28%			191	31%	1,074	91%	357	83%	79	71%	255	17%	102	50%	4,149	53%
1999	1,589	96%	373	24%			186	29%	1,015	91%	344	87%	70	65%	286	20%	91	48%	3,954	53%

Fuente: EAM, 1992 - 1999. Cálculos del Autor. E: número de establecimientos industriales.

Además, los establecimientos industriales que reportaron algún consumo de agua como materia prima, muestran que éste se redujo cerca de un 60% en el periodo considerado (1992 – 1999), mientras el número de establecimientos encuestados cada año permaneció casi constante<sup>10</sup>. Esta gran reducción en el consumo de agua como materia prima parece estar

<sup>10</sup> Todos los porcentajes se calcularon dividiendo el número de establecimientos a cuatro dígitos CIIU que, agrupados a dos dígitos CIIU, reportaron algún consumo de agua en la EAM, sobre el número total de establecimientos encuestados en cada sector industrial a dos dígitos CIIU.

relacionado con la caída en la producción industrial, una tendencia decreciente en a actividad económica que se viene presentando desde mediados de los años noventa.

Gráfico No.1

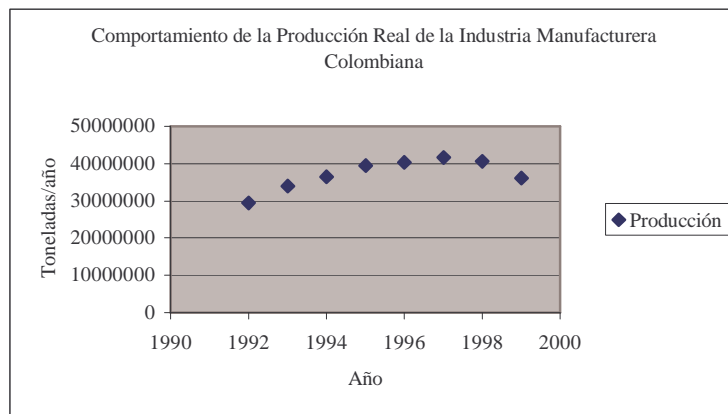
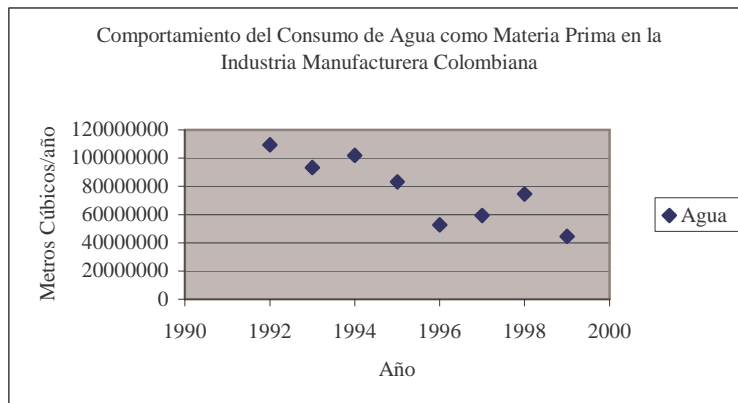


Gráfico No. 2



Fuente: EAM, 1992 – 1999.

Adicionalmente, la EAM obtuvo información sobre la cantidad de agua como materia prima que fue comprada y el valor pagado por ésta. De acuerdo con estas cifras, el costo del agua como materia prima no supera el 0.05% del valor de la producción bruta en la industria de Alimentos y Bebidas, y en el resto de los sectores esta participación no sobrepasa el 0.01%. Si además, el valor que las empresas reportan corresponde sólo a la cantidad de agua como materia que compran, entonces ellas sólo estarían pagando entre el 50% y el 75% del agua que consumen. Esto

permitiría concluir que la mayoría de las empresas encuestadas reportan sólo el pago por el agua que entra a través de un sistema de acueducto público<sup>11</sup>.

Pero dado que el desarrollo de las diferentes actividades industriales se produce alrededor de determinadas zonas que garantizan suficiente disponibilidad de agua, es un hecho que el abastecimiento de agua a través de fuentes propias sólo está siendo considerado al momento de reportar la cantidad de agua consumida pero no la cantidad de agua comprada, debido principalmente al bajo costo que representa tomarla directamente de una concesión de aguas.

Las concesiones son permisos legales que otorgan las Autoridades Ambientales Regionales y Urbanas para realizar derivaciones de uso doméstico o industrial, independientemente de la disponibilidad de agua en la región. Se realizan por licencia ambiental o por resolución y es un requisito general que debe cumplir toda persona natural o jurídica, pública o privada que desee acceder al recurso hídrico en Colombia<sup>12</sup>. Ninguna persona ejerce derechos de propiedad sobre el agua, pues esta se considera un recurso natural de dominio público, de tal manera que cualquier traspaso total o parcial de una concesión necesita autorización previa de la autoridad ambiental encargada. Por lo tanto, bajo la actual legislación ambiental, queda por fuera la posibilidad de tener un mercado de aguas en Colombia. Los usuarios del recurso, en este caso los establecimientos industriales, no pueden vender ni comprar permisos y deben limitarse a extraer la cantidad de agua que determina el contrato de concesión para el uso aprobado. En contraparte, las Autoridades Ambientales exigen el pago de unos derechos de aprovechamiento y, en algunos casos, realizan el cobro de tasas por utilización del agua (TUA)<sup>13</sup>.

---

<sup>11</sup> Ver Informe Final: Asesoría para Analizar el Impacto de la Tasa por Utilización del Agua en los Diferentes Sectores de la Economía. Ministerio del Medio Ambiente. 2002.

<sup>12</sup> Decreto Ley 2811 de 1974, Decreto 1541 de 1978, Ley 99 de 1993.

<sup>13</sup> Estas tasas fueron introducidas por el Código Nacional de los Recursos Naturales (Decreto Ley 2811 de 1974) y fueron modificadas por el artículo 43 de la Ley 99 de 1993.



Estas tasas, modificadas mediante el artículo 43 de la Ley 99 de 1993, no han sido aún reglamentadas por el Ministerio del Medio Ambiente, de tal manera que las Autoridades Ambientales han optado por (i) actualizar el valor de la tasa fijada por el INDERENA o por la propia entidad antes de entrar en vigencia la Ley 99 de 1993; ii) reglamentar la tasa bajo criterios propios; iii) no cobrar la tasa. Las autoridades ambientales que han optado por la primera opción, cobran actualmente una suma mensual fija por litro por segundo asignado en la concesión, de acuerdo con lo establecido en el Decreto 1541 de 1978, y la determinan mediante resolución interna. En la mayoría de los casos estas tasas se ajustan de acuerdo con el índice de precios al consumidor del DANE y sólo se cobran a las concesiones con un caudal superior a 1 litro por segundo (lps).

En términos generales, el precio mensual que se cobra por cada lps asignado difiere de acuerdo con el tipo de uso y la fuente<sup>14</sup>. Pero el valor de las tasas también puede variar de acuerdo con el volumen de agua concesionado - a mayor volumen mayor precio - y pueden ser diferentes si la fuente de agua se encuentra reglamentada o no (Tabla No. 3). Los valores de las tarifas que se están cobrando para uso industrial, actualmente varían entre \$0.5/m<sup>3</sup> y \$46/m<sup>3</sup>, aunque en el área metropolitana de Bogotá, el Departamento Administrativo del Medio Ambiente (DAMA) esté cobrando tarifas que oscilan entre \$160/m<sup>3</sup> y \$330/m<sup>3</sup> por el uso de agua proveniente de pozos subterráneos (principal fuente de abastecimiento del sector industrial en esta área).

---

<sup>14</sup> Aplicando la siguiente conversión: 1 lps equivale a 2592 metros cúbicos mes.

**Tabla No.3**  
**El valor de la Tasa por Utilización del Agua para algunas Autoridades Ambientales**

CORPORACIÓN	CVC				CORTOLIMA		CAR		DAMA		PROMEDIO	
	Volumen / mes		Tarifa		Tarifa	Tarifa	Tarifa		Tarifa		Tarifa	
	(m <sup>3</sup> /mes)		(\$/ m <sup>3</sup> )		(\$/ m <sup>3</sup> )	(\$/ m <sup>3</sup> )	(\$/ m <sup>3</sup> )		(\$/ m <sup>3</sup> )		(\$/ m <sup>3</sup> )	
	Min	Max	Min	Max	C. R.	C.N.R.	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Doméstico	0 < V < 2592	V > 2592000	0,49	1,99	0,47	0,09	3	46,6			1,1	7,5
Industrial	0 < V < 2592	V > 2592000	0,49	1,99	0,47	0,09	3	46,6			1,2	8,5
Agropecuario	0 < V < 2592	V > 2592000	0,49	1,99	0,47	0,09	3	46,6			1,1	7,9
Minero	0 < V < 2592	V > 2592000	0,49	1,99							0,5	2
Recreativo	0 < V < 2592	V > 2592000	0,49	1,99	0,47	0,09	3	46,6			1,2	9
Piscícola	0 < V < 2592	V > 2592000	0,49	1,99	0,47	0,09	3	46,6			1,2	9,1
Acueducto	0 < V < 2592	V > 2592000	0,25	0,65			3	46,6			1,1	9
Gen. de Energía	0 < V < 2592	V > 2592000	0,24	0,71	0,41	0,04	3	46,6			0,9	6,8
Agua subterránea	0 < V £ 1000	Q <sup>3</sup> 60000	1,02	1,53			3	46,6	160,7	329,6	2	17,2

Fuente: Ministerio del Medio Ambiente. Grupo de Análisis Económico y Financiero. Fuente: Ministerio del Medio Ambiente. Grupo de Análisis Económico y Financiero.

Pero el cobro de estas tasas, determinadas con base en los costos administrativos de control y vigilancia del recurso hídrico, no ha favorecido la obtención de un precio del agua que, ante la ausencia de un mercado, valore no sólo el costo de proveer el recurso sino además el costo de oportunidad del recurso.

Como mecanismo de asignación eficiente la teoría económica plantea el establecimiento de un precio del agua que refleje el verdadero costo económico del recurso de forma tal que incluya la disponibilidad a pagar privada de los usuarios, los costos de proveer el recurso y los costos de las externalidades impuestas a terceros en la sociedad (costo de oportunidad).

Este trabajo da un primer paso en la búsqueda de dicho precio de eficiencia para el sector manufacturero colombiano, a través del cálculo de la disponibilidad marginal a pagar privada de los sectores industriales que reportan algún consumo de agua como materia prima en la EAM.

En Colombia ya se han hecho algunos estudios que tratan de establecer la disponibilidad marginal a pagar privada por el uso de agua para riego, a través de la estimación de la función de la productividad marginal del agua (García, 2001), pero hasta el momento no se ha hecho ninguno que permita determinar el aporte del agua al valor de la producción industrial.

El principal objetivo de este trabajo será determinar el valor de la productividad marginal del agua en la industria manufacturera colombiana, como reflejo de la disponibilidad marginal a pagar privada del sector industrial por el uso de agua en su proceso productivo.

Como objetivos secundarios se encuentran:

- Analizar las diferencias específicas en el valor del agua, entre sectores industriales.
- Estimar la elasticidad precio de la demanda de agua para determinar la sensibilidad de los diferentes sectores industriales a cambios en el precio de este insumo.
- Dar recomendaciones de política acerca del valor de la tasa por utilización del agua en Colombia.

## 2. MARCO TEORICO

El agua se considera un bien económico por su carácter de bien escaso<sup>15</sup>. No se trata de un bien público, en el sentido de ser un bien colectivo, ni tiene la característica de que su consumo no afecte la disponibilidad del recurso para otros consumidores<sup>16</sup>. El suministro puede ser realizado por agentes públicos o privados<sup>17</sup>. Pero en lo referente a su disponibilidad, el agua puede ser considerada un bien de propiedad pública por dos razones fundamentales: es limitada y su uso es vital para los seres humanos<sup>18</sup>. El reconocimiento de estas propiedades tiene una consecuencia muy importante: el uso y la disposición del agua por parte de algún agente en cantidades que comprometan la disponibilidad del bien para el mismo u otros agentes genera efectos externos negativos. Es por esta razón que el agua, como bien económico, debe estar sujeto a regulaciones específicas que aseguren su suministro universal e impidan su desperdicio.

Un nivel de precio eficiente genera una señal de mercado que puede inducir a los usuarios del recurso a ser eficientes en su utilización. Si el precio que enfrentan el usuario es bajo ( $P_m$ ), el recurso será sobre utilizado ( $q_m$ ). Pero si se logra establecer un precio eficiente ( $P_E$ ), que permita igualar el costo marginal de utilizar el recurso con el beneficio marginal del mismo<sup>19</sup>, la utilización del recurso será eficiente y racional, desde el punto de vista económico e individual<sup>20</sup>. Así, un productor que busque maximizar sus beneficios, utilizará agua como insumo en su proceso de

---

<sup>15</sup> Robinson, J. y Eatwell, J. (1992). *Introducción a la Economía Moderna*. Fondo de Cultura Económica. México. Pág. 52 – 56.

<sup>16</sup> Los servicios colectivos (defensa, justicia, seguridad pública, etc.) tienen la propiedad de ser utilizados simultáneamente por todos los consumidores sin que exista apropiación individual.

<sup>17</sup> El abastecimiento de bienes públicos puede o no obligar a su producción en condiciones diferentes a las de competencia perfecta. En dichos casos se tendrá una oferta monopólica de los bienes públicos realizada, por lo general, por el gobierno. Pero el agua no es un bien público en el sentido de un bien colectivo.

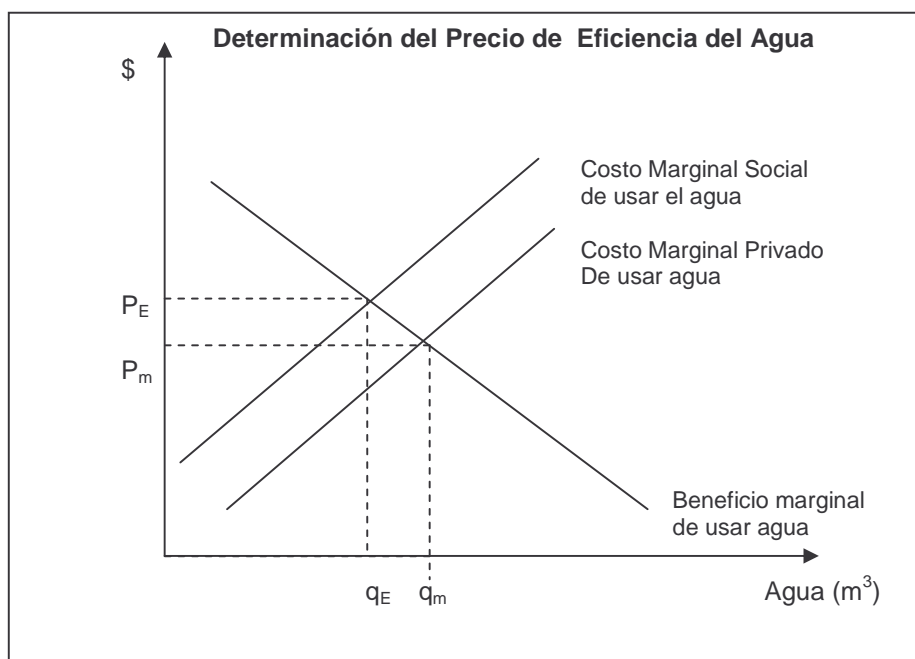
<sup>18</sup> El acervo de agua es de propiedad pública pero el flujo que resulta de transformar este acervo en agua disponible para los usuarios puede ser de propiedad pública, privada o comunal.

<sup>19</sup> El costo marginal de utilizar el agua debe incluir no sólo el costo de proveer el recurso sino además su costo de oportunidad. Debe reflejar el verdadero costo social de usar el recurso.

<sup>20</sup> Desde este punto de vista, el agua debe ser asignada de tal forma que maximice el beneficio neto para la sociedad (beneficios menos costos). Un precio igual por unidad permitirá que los costos marginales de los individuos se igualen con el precio y se igualen entre si, de tal manera que permita minimizar los costos de cumplimiento de una meta de calidad ambiental (Principio Equimarginal).

producción, hasta el punto donde el valor marginal que aporta el agua a la producción sea igual al precio del recurso ( $q_E$ ). Este precio, si ya es eficiente, reflejara la disponibilidad marginal a pagar social de los usuarios del recurso hídrico. Pero si no lo es, es decir, si no incluye el costo de oportunidad del recurso, sólo reflejará la disponibilidad marginal a pagar privada del productor o el costo marginal privado de usar el recurso.

**Gráfico No. 3**



Para determinar un precio eficiente desde el nivel central, que conduzca a un óptimo social, el Estado requiere información perfecta sobre el beneficio marginal que produce cada unidad asignada a cada uso, actual y potencial, en cada momento del tiempo. Sólo de esta manera podría garantizar la asignación del recurso a los usos que generen los beneficios más altos para la sociedad. Pero las dificultades y los costos de acceder a este tipo de información son tan grandes, que el Estado colombiano se ha visto obligado a tomar este tipo de decisiones con información imperfecta, lo cual no garantiza que la sociedad colombiana esté realizando el mejor uso del recurso.

Ante estas dificultades, el concepto de eficiencia sin optimalidad, plantea la posibilidad de obtener metas de calidad ambiental al menor costo posible para la sociedad. Este concepto, propuesto y desarrollado por los reconocidos economistas William Baumol y Wallace Oates (1988), ya se aplica en Colombia a través del cobro de tasas retributivas para el control de la contaminación hídrica (Decreto 901 de 1997)<sup>21</sup>.

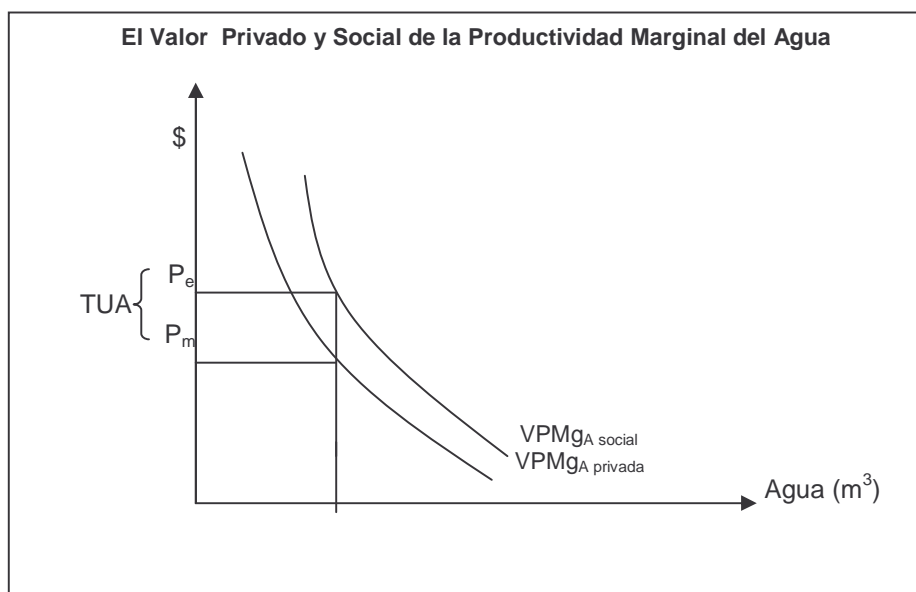
La aplicación de este concepto en la implementación de una tasa por utilización del agua, que lleve a un incremento gradual en el precio del agua, lo que busca es garantizar que los diferentes usuarios del recurso hídrico reduzcan el desperdicio de agua y asuman el costo de alcanzar una meta de calidad ambiental en términos de disponibilidad del recurso hídrico, bajo ciertas condiciones de cantidad y calidad. Esta es una solución de segundo mejor que podría generar un precio del agua tal que no sólo incluya el costo de construcción y operación de la infraestructura necesaria para almacenar, tratar y distribuir el agua (costo de acceso al recurso), sino además alguna forma de valorar el costo de oportunidad del recurso, para una comunidad dada.

Si la curva de beneficio marginal representa la curva de valor de la productividad marginal del agua, entonces un productor industrial utilizará agua hasta el punto donde el precio del recurso iguale el aporte de una unidad de agua al valor de la producción. Si el precio del agua refleja el costo marginal social de utilizar el recurso (gracias al cobro de la TUA), entonces el valor de la productividad marginal del agua de los usuarios industriales estaría reflejando su disponibilidad marginal social a pagar por el uso del agua como insumo productivo. Pero mientras el precio del agua no incluya el cobro de una TUA, como aproximación del costo de oportunidad del recurso, la disponibilidad marginal a pagar de los usuarios industriales sólo reflejará el valor privado de la productividad marginal del agua.

---

<sup>21</sup> El sistema consiste en establecer una meta de calidad ambiental a priori y una tasa que se incrementa gradualmente en una cantidad preestablecida hasta alcanzar la meta, dejando la decisión de cuanto consumir a los agentes individuales, los cuales poseen la mejor información disponible sobre cuánto les cuesta reducir y tienen el incentivo económico para minimizar sus costos de reducción.

Gráfico No. 4



La estimación del valor de la productividad marginal del agua sólo es uno de las metodologías que puede ser utilizada para estimar la disponibilidad marginal a pagar por el uso del agua como insumo productivo. Otra forma de hacerlo es a través de la estimación de un precio sombra del agua. Sin embargo, no son muchos los estudios empíricos que han hecho uso de la teoría de los costos y la producción para analizar la demanda de agua en la industria, debido principalmente a la gran dificultad que existe para acceder a información sobre el nivel de consumo y el costo del agua, a nivel de una firma.

Las funciones de costos han sido utilizadas por los investigadores, más para examinar la sensibilidad del uso de agua en la industria a cambios en su propio precio, en el precio de otros insumos y en el nivel del producto, que para estimar el valor marginal del agua como insumo productivo<sup>22</sup>. Los estudios más recientes han

<sup>22</sup> Estas funciones surgen del problema de minimización de costos que enfrenta una firma  $\text{Min } wx$  s.a  $f(x) = q$ , donde  $x = (x_K, x_L, x_E, x_M, x_N)$  son los insumos utilizados,  $w = (w_K, w_L, w_E, w_M, w_N)$  es el vector de precios de los insumos,  $f(x)$  es la tecnología de producción y  $q$  un nivel dado de producto. Las condiciones de primer orden son:  $w_i = \lambda \partial f / \partial x_i$ . De aquí las conocidas relaciones:  $w_i / w_j = (\partial f / \partial x_i) / (\partial f / \partial x_j)$ , es decir, tasa económica de sustitución igual a tasa marginal de sustitución técnica. La condición de segundo orden es que la función  $f(x)$  debe ser cuasicóncava. El producto de resolver este problema de optimización es la función de costos  $C(w, q)$ , que cumple las siguientes propiedades: (i) es no decreciente en  $w$ , (ii) es homogénea de grado uno en  $w$ , (iii) es cóncava en  $w$ , y (iv) es continua en  $w$ .

utilizado la función de costos Trans Log<sup>23</sup>, una función de costos flexible que le ha permitido a algunos investigadores, como Dupont y Renzetti (2001), estimar el precio sombra del agua en la industria, sin que este se convierta en su principal objetivo<sup>24</sup>. Ellos estiman una función de costos Trans Log para la industria manufacturera canadiense, considerando el agua como un insumo variable con dos tipos de uso: agua que entra y agua que recircula. Trabajando con un conjunto de observaciones, construido con base en tres estudios de corte transversal sobre el uso de agua en esta industria para 1981, 1986 y 1991, a nivel de provincia a dos dígitos CIIU, los autores encuentran que el agua que entra, modelada como un insumo variable, es sustituto del capital, el trabajo y la energía, y complemento de las materias primas. El agua que recircula aparece como sustituto del trabajo y del agua que entra. La elasticidad de la demanda de agua que entra y que recircula respecto al precio es  $|0.77|$  y  $|0.69|$ , y respecto al producto  $|0.69|$  y  $|0.71|$ . La elasticidad precio de la demanda de agua aumenta un poco, al considerar su uso en procesos  $|0.8|$ , enfriamiento y generación de vapor  $|0.79|$ . Finalmente, el estudio encuentra alguna evidencia sobre el progreso tecnológico entre 1981 y 1991, que parece estar más relacionado más con el agua que entra que con el agua que recircula.

Otros estudios también utilizan una función de costos Trans Log para analizar las posibilidades de sustitución entre el agua y otros insumos productivos en la industria manufacturera de Canadá y Estados Unidos. Dupont y Renzetti (1998) y Renzetti (1992), examinan la demanda de agua en la industria manufacturera canadiense, considerando cuatro tipos de uso: entrada, tratamiento, recirculación y descarga. Ellos asumen que las empresas son libres de ajustar las cantidades que utilizan dentro de cada uso, sin ninguna restricción. Los datos provienen de observaciones de corte transversal, a nivel de planta, y el precio de cada uso se representa por su respectivo costo marginal. Se encuentra que la elasticidad precio de la demanda del agua que entra oscila entre  $|0.15|$  y  $|0.59|$  dependiendo del sector, y que el agua que recircula es sustituto del agua que entra. Babin, Willis y Allen (1982) y

---

<sup>23</sup>Otra función de costo utilizada ha sido la Cobb Douglas (Renzetti, 1988).

<sup>24</sup> El modelo teórico general que se desarrolla en este estudio se presenta de manera detallada en el Anexo 1.



Grebenstein y Fiel (1979) usan observaciones de corte transversal, a nivel de estado, para la industria manufacturera estadounidense. Ellos incluyen el agua como un insumo, al igual que el capital y el trabajo, pero no consideran la recirculación del agua, ni la fuente de abastecimiento (acueducto público o fuente propia). Encuentran que la elasticidad precio de la demanda de agua para uso industrial se encuentra entre  $|0.01|$  y  $|0.81|$  dependiendo del sector industrial, y que el agua es sustituto del trabajo y complemento del capital. Estudios anteriores utilizaron la función de costos Trans Log para analizar la demanda de energía (Halvorsen, 1977) y la tecnología de producción de la industria (Berndt y Wood, 1975).

Las funciones de producción han sido utilizadas por los investigadores para estimar el valor de la productividad marginal del agua en algunos sectores productivos<sup>25</sup>. En el caso del sector industrial, sólo el trabajo de Wang y Lall (1995) desarrolla este concepto teórico para determinar el valor marginal del agua en la industria China. Ellos calculan el valor de la productividad marginal del agua a través de la estimación de una función de producción Trans Log. En esta función, el agua se introdujo como un insumo más, junto al capital, el trabajo, la energía y las materias primas. Para realizar dicha estimación utilizaron información proveniente de 2,000 empresas, que fueron clasificadas a través de variables dummy (sector industrial, región y tipo de propiedad). Los investigadores encontraron, en primer lugar, que las tarifas por uso de agua industrial cobradas en la China estaban por debajo del verdadero aporte del agua al valor de la producción (con grandes diferencias entre

---

<sup>25</sup> Si la firma es precio aceptante, el problema del productor será  $Max\Pi(p, w) = pf(x) - wx$ . En este caso,  $p$  representa el precio de venta del producto,  $q = f(x)$  la cantidad producida,  $x = (x_K, x_L, x_E, x_M, x_W)$  los insumos utilizados, y  $w = (w_K, w_L, w_E, w_M, w_W)$  los precios de los insumos. Las condiciones de primer orden de este problema son:

$$p \frac{\partial f(x^*)}{\partial(x_i)} = w_i \quad i = K, L, E, M, W$$

*Valor del Producto Marginal = Precio del insumo*

La función de producción utilizada debe cumplir las siguientes propiedades: (i) continua y doblemente diferenciable, para cantidades positivas de los insumos, (ii) con un producto marginal positivo, es decir, que el mayor empleo de un insumo genera un incremento en el producto, (iii) cóncava, es decir, que a medida que se aumenta el uso del insumo el producto marginal es decreciente.

regiones). En segundo lugar, pudieron establecer que la elasticidad precio de la demanda de agua para la industria China se encontraba alrededor del 1%, con importantes diferencias entre sectores.

En Colombia, Jorge García (2001) empleó esta metodología para analizar el valor del agua de riego en la producción de arroz (García, 2001). Utilizando información de la Encuesta Nacional Arroceras para los departamentos de Huila y Tolima, el autor estimó una función de producción cuadrática con datos provenientes de 33 productores (fincas). El agua, el trabajo, los insecticidas y los funguicidas utilizados fueron las variables consideradas. Con una función de productividad marginal del agua lineal, y un precio representativo del mercado de arroz, el trabajo demostró que los usuarios agrícolas podrían estar dispuestos a pagar \$70/m<sup>3</sup>, pero sólo estaban pagando por el agua de riego entre \$2.61/m<sup>3</sup> y \$9.14/m<sup>3</sup>. La demanda de agua de riego resultó prácticamente inelástica y permitió determinar que los usuarios del recurso en estos distritos de riego sobreutilizan el recurso y pagan por su uso mucho menos de lo que el recurso aporta el valor de la producción de arroz. Por lo tanto, políticas que impliquen pequeños incrementos en el precio del agua no parecen tener mayor efecto en la reducción del consumo de agua para riego.

### 3. METODOLOGÍA

Para determinar el valor privado de la productividad marginal del agua en la industria manufacturera colombiana, se partirá de la estimación de una función de producción Trascendental Logarítmica. Esta representación de la función de producción fue propuesta por Christensen, Jorgenson y Lau (1973), como respuesta a las restricciones de aditividad y homogeneidad que plantea la función de producción Cobb Douglas (1928). Esta última función, extensamente usada en el análisis empírico de la producción y el mercado de factores, tiene un buen comportamiento en términos de monotonidad y convexidad. Sin embargo, también presenta restricciones que implican participaciones constantes del factor y limitan a la unidad la elasticidad de sustitución así como la elasticidad de sustitución parcial cruzada de Allen-Uzawa. Por su parte, la función de producción Trans Log es cuadrática en los logaritmos y flexible para proveer una gran variedad de patrones de sustitución, además de garantizar una aproximación más adecuada para representar la producción de varios productos con varios insumos.

Para los propósitos de este estudio, se asume que la industria manufacturera colombiana enfrenta una función de producción agregada doblemente diferenciable. Su naturaleza cuadrática garantiza un buen comportamiento en términos de monotonidad y convexidad. Se asume que la función Trans Log se caracteriza por retornos constantes a escala y que cualquier cambio técnico que afecte W, L, K y E es Hicks neutral<sup>26</sup>. En la función de producción, el producto (Y) está relacionado con la disponibilidad de cuatro insumos: agua (W), trabajo (L), capital (K) y energía (E).

$$\ln Y = \alpha + \gamma_W \ln W + \gamma_L \ln L + \gamma_K \ln K + \gamma_E \ln E + \frac{1}{2} \beta_{WW} \ln^2 W + \frac{1}{2} \beta_{LL} \ln^2 L + \frac{1}{2} \beta_{KK} \ln^2 K + \frac{1}{2} \beta_{EE} \ln^2 E + \beta_{WL} \ln W \ln L + \beta_{WK} \ln W \ln K + \beta_{WE} \ln W \ln E + \beta_{LK} \ln L \ln K + \beta_{LE} \ln L \ln E + \beta_{KE} \ln K \ln E + \varepsilon$$

<sup>26</sup> Independencia técnica de los insumos entre sí, es decir, la mayor o menor utilización de un insumo no afecta la productividad de los otros.

Donde:

$\ln Y$  = log del valor del producto

$\ln K$  = log del capital

$\ln L$  = log del trabajo

$\ln W$  = log del agua

$\ln E$  = log de la energía

La elasticidad del producto respecto al agua puede ser derivada de la siguiente manera:<sup>27</sup>

$$\eta = \frac{\partial \ln Y}{\partial \ln W} = \gamma_A + \beta_{WW} \ln W + \beta_{WL} \ln L + \beta_{WK} \ln C + \beta_{WE} \ln E \quad (2)$$

El valor privado de la productividad marginal del agua:

$$\eta = \frac{\partial \ln Y}{\partial \ln W} = \frac{\rho_w W}{Y} \Rightarrow \rho_w = \eta^* \frac{Y}{W} \quad (3)$$

Para calcular la elasticidad precio de la demanda del agua en la industria se asume que cada empresa busca maximizar sus beneficios, por lo cual el precio del agua ( $\rho_A$ ) será igual al valor privado de la productividad marginal de este insumo e igual al costo marginal privado de usarla.

La elasticidad del agua respecto a su precio puede ser derivada de la siguiente manera<sup>28</sup>:

$$\gamma = \frac{\partial \ln W}{\partial \ln \rho_w} = - \frac{\eta}{(\eta - \eta^2 - \beta_{WW})} \quad (4)$$

---

<sup>27</sup> Metodología aplicable a todos los insumos que hayan sido introducidos en la función de producción.

<sup>28</sup> Esta fórmula fue derivada por Wang y Lall (1995).

La información utilizada en este estudio proviene de la Encuesta Anual Manufacturera, agrupada a nivel sectorial a cuatro dígitos CIIU y para un periodo de 8 años (1992 – 1999).

**Tabla No. 4**  
**VARIABLES DEL MODELO DE PRODUCCIÓN**

Variable	Significado	Unidades
Y	valor de la producción industrial <sup>29</sup>	pesos constantes / año
A	agua consumida como materia prima	metros cúbicos / año
T	personal remunerado	trabajadores /año
C	valor de los activos al final del año	pesos constantes/ año
E	Energía eléctrica consumida	kilowatios / año

Fuente: EAM 1992 –1999.

Con esta información se optó por construir tres conjuntos de datos de panel:

- A cuatro dígitos CIIU, se construyó un conjunto de datos de panel sólo para el sector de Alimentos y Bebidas (31), con 15 sectores y 8 años, para un total de 120 observaciones.
- A cuatro dígitos CIIU, se construyó un conjunto de datos de panel para el resto de los sectores industriales (32, 34, 35, 36, 37, 38, 39), con 25 sectores y 8 años, para un total de 200 observaciones
- A tres dígitos CIIU, se agrupó la información obtenida de la EAM y se construyó un conjunto de datos de panel con 18 sectores y 8 años, para un total de 144 observaciones.

La decisión de construir dos conjuntos de datos de panel, a cuatro dígitos CIIU, se tomó después de considerar que el sector de Alimentos y Bebidas (31) es muy importante para analizar el valor privado de la productividad marginal del agua la industria manufacturera colombiana, pues reporta más del 50% del consumo total de

<sup>29</sup> El valor de la producción industrial (Y) y el valor de los activos (C) fueron traídos a pesos de 2002, de acuerdo con el IPP del Banco de la República (base junio de 1999 = 100).

agua como materia prima. Además, los sectores industriales a cuatro dígitos CIIU, que componen esta muestra, fueron seleccionados por reportar algún consumo de agua como materia prima en la EAM. Por lo tanto, se asume que las cantidades de agua (W), trabajo (L), capital (K) y energía (E) corresponden al total utilizado y reportado cada año por todos los establecimientos industriales que fueron encuestados en cada uno de los sectores seleccionados bajo este criterio.

**Tabla No. 5**  
**Sectores de la Industria Manufacturera Colombiana**

CIU 3	SECTOR	CIU 4	SECTOR
311	Alimentos	3111	Matanza de ganado; preparación y conservación de carnes
		3112	Fabricación de productos lácteos.
		3113	Envasado y conservación de frutas, legumbres y vegetales.
		3116	Productos de molinería.
		3117	Productos de panadería.
		3118	Ingenios y refinерías de azúcar.
		3119	Elaboración de cacao y productos de chocolate.
312	Otros Alimentos	3121	Elaboración de productos alimenticios diversos.
		3122	Elaboración de alimentos preparados para animales.
		3123	Elaboración de compuestos dietéticos y otros.
313	Bebidas	3131	Destilación, rectificación y mezcla de bebidas espirituosas.
		3132	Industrias vinícolas.
		3133	Bebidas malteadas y malta.
		3134	Fabricación de bebidas no alcohólicas y gaseosas.
314	Tabaco	3140	Preparación de tabaco y fabricación de sus productos.
321	Textiles	3211	Hilado y acabado de textiles.
		3213	Fabricación de tejidos de punto.
		3216	Tejidos y manufacturas de algodón y sus mezclas.
322	Prendas de Vestir	3221	Fabricación de prendas de vestir.
323	Cuero	3231	Curtidurías y talleres de acabado.
341	Papel	3411	Fabricación de pulpa de madera, papel y cartón.
		3419	Fabricación de artículos de pulpa, papel y cartón.
351	Sustancias Químicas	3511	Fabricación de sustancias químicas industriales básicas.
		3512	Fabricación de abonos y plaguicidas.
		3513	Fabricación de resinas sintéticas.
352	Productos Químicos	3521	Fabricación de pinturas, barnices y lacas.
		3522	Fabricación de productos farmacéuticos y medicamentos.
		3523	Fabricación de jabones y preparados de limpieza; cosméticos.
		3528	Fabricación de diversos productos químicos.
		3529	Otros productos químicos.
354	Derivados del Petróleo	3540	Fabricación de productos diversos derivados del petróleo.
356	Productos Plásticos	3560	Fabricación de productos plásticos.
369	Minerales no Metálicos	3691	Fabricación de productos de arcilla para la construcción.
		3692	Fabricación de cemento, cal y yeso.
		3699	Fabricación de productos minerales no metálicos.
371	Hierro y Acero	3710	Industrias básicas de hierro y acero.
381	Productos Metálicos	3813	Fabricación de elementos estructurales metálicos.
384	Material de Transporte	3844	Fabricación de motocicletas y bicicletas.
385	Material Científico	3851	Fabricación de material profesional y científico.
390	Otras Manufacturas	3904	Industrias manufactureras diversas.

Para realizar el análisis de datos de panel o datos que combinan series temporales con secciones cruzadas, a menudo se asume que los efectos temporales son transiciones o cambios de estado discretos. En este caso, los efectos temporales se consideraron específicos para el período en el que ocurren y no permanecen a lo largo de los períodos para un sector industrial determinado. Con base en las técnicas de estimación que existen y que se concentran precisamente en el análisis de la heterogeneidad entre las unidades cruzadas, se llevó a cabo la estimación de la función de producción industrial Trans Log, con los tres conjuntos de datos.

El contexto básico para este análisis es un modelo de regresión de la forma:

$$\ln Y_{st} = \mu_s + \sum_{i=1}^4 \gamma \ln x_{ist} + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^4 \psi \ln x_{ist} \ln x_{jst} + \varepsilon_{st} \quad i, j = W, L, K, E. \quad (5)$$

$$E\{\varepsilon_{st}\} = 0 \text{ y } \text{Var}\{\varepsilon_{st}\} = \sigma$$

Donde hay K regresores en  $x_{st}$ , sin incluir el término constante. El efecto individual es  $\mu_s$ , que se considera constante a lo largo del tiempo t y específico para cada sector industrial ( $s=1, \dots, n$ ). Si  $\mu_s$  es igual para todos los sectores, mínimos cuadrados ordinarios (MCO) proporciona estimaciones consistentes y eficientes de los parámetros. Los dos marcos para generalizar este modelo son:

- *Efectos Fijos*, que considera  $\mu_s$  como un término constante específico de cada sector en el modelo de regresión ( $\alpha_s$ ). Para estimar este modelo se utiliza el enfoque de mínimos cuadrados ordinarios con variables ficticias (MCVF), donde las variables  $d_n$  son variables dummy específicas para cada sector ( $\alpha_1 d_{1st} + \alpha_2 d_{2st} + \dots + \alpha_n d_{nst}$ ).

$$\ln Y_{st} = \alpha_s + \sum_{i=1}^4 \gamma \ln x_{ist} + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^4 \psi \ln x_{ist} \ln x_{jst} + \varepsilon_{st} \quad i, j = W, L, K, E. \quad (6)$$



- *Efectos Aleatorios*, donde  $\mu_s$  es un error específico de cada sector que se comporta de manera similar a  $\varepsilon_{st}$ , excepto que para cada sector existe una única extracción muestral, que aparece en la regresión de forma idéntica cada periodo. Para estimar este modelo se utiliza el enfoque de mínimos cuadrados generalizados factibles (MCGF), debido a que para un sector dado, las perturbaciones en diferentes años se encuentran correlacionadas por su componente común  $\mu_s$ .

$$\ln Y_{st} = \alpha + \sum_{i=1}^4 \gamma \ln x_{ist} + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^4 \sum_{j=1}^4 \psi \ln x_{ist} \ln x_{jst} + \mu_s + \varepsilon_{st} \quad i, j = W, L, K, E. \quad (7)$$

$$\begin{aligned} E\{\varepsilon_{st}\} = E\{\mu_s\} = 0; \quad E\{\varepsilon_{st}\} = \sigma_\varepsilon^2; \quad E\{\varepsilon_{st}\} = \sigma_\mu^2; \quad E\{\varepsilon_{st}, \mu_s\} = 0 \text{ para cada } s, t \text{ y } v. \\ E\{\varepsilon_{st}, \varepsilon_{vz}\} = 0 \text{ si } t \neq z \text{ o } s \neq v; \quad E\{\mu_s, \mu_v\} = 0 \text{ si } s \neq v; \quad \text{Sea } \omega_{st} = \varepsilon_{st} + \mu_s \text{ entonces} \\ E = \{\omega_{st}^2\} = \sigma_\varepsilon^2 + \sigma_\mu^2; \quad E\{\omega_{st} \omega_{sz}\} = \sigma_\mu^2 \text{ si } t \neq z. \end{aligned}$$

Para descartar la presencia de heterocedasticidad en el modelo de efectos fijos (MCOF), se realizó una estimación robusta de la matriz de covarianzas de MCO <sup>30</sup>. También se examinó la presencia de autocorrelación en los residuos de los sectores, para determinar si  $\varepsilon_{st}$  era generado por un proceso AR(1)<sup>31</sup>.

La selección del modelo que produjo las mejores estimaciones de los parámetros de la función de producción Trans Log, con cada uno de los conjuntos de datos de panel, se realizó a través del planteamiento de tres hipótesis básicas.

**Hipótesis 1:** el término constante es el mismo para todos los sectores industriales.

<sup>30</sup> Estimación robusta de la matriz de la matriz de covarianzas asintótica de mínimos cuadrados. El objetivo es garantizar que el modelo no presente problemas de heterocedasticidad, es decir, que cada  $\varepsilon_{it}$  tenga una varianza diferente  $\sigma_i$ . Se utilizó la corrección de White para heterocedasticidad inespecífica.

<sup>31</sup> En el modelo de efectos fijos:  $y_{st} = \alpha_s + \gamma X_{st} + \varepsilon_{st}$   $\varepsilon_{st} = \rho \varepsilon_{st-1} + \eta_{st}$   
 En el modelo de efectos aleatorios:  $y_{st} = \alpha + u_{st} + \gamma X_{st} + \varepsilon_{st}$   $\varepsilon_{st} = \rho \varepsilon_{st-1} + \eta_{st}$

La estimación se realiza en dos pasos. En el primer paso el modelo es estimado ignorando la autocorrelación, con el propósito de obtener un estimador consistente de  $\rho$ . El segundo paso consiste en aplicar un procedimiento de mínimos cuadrados generalizados.

Este es un contraste de significatividad de los efectos de grupo. La razón F utilizada para el contraste es:

$$F\{n-1, nT-n-K\} = \frac{(R_u^2 - R_p^2)/(n-1)}{(1 - R_u^2)/(nT - n - K)}$$

Donde  $u$  indica el modelo no restringido y  $p$  indica el modelo restringido, con un único término constante para todos los sectores.

**Hipótesis 2:** el modelo clásico sin efectos de grupo es apropiado para estimar la función de producción Trans Log de la industria manufacturera colombiana.

Este es el contraste del multiplicador de Lagrange (ML) para el modelo de efectos aleatorios, basado en los residuos de MCO. Un valor alto de ML favorece uno de los dos modelos, MCVF o MCGF, en contra del modelo de MCO que no considera efectos de grupo. El ML se distribuye como una  $\chi^2$  con K grados de libertad ( $D$  matriz de variables artificiales y  $e$  vector de residuos de MCO):

$$ML = \frac{nT}{2(T-1)} \left[ \frac{e' D D' e}{e' e} - 1 \right]^2$$

**Hipótesis 3:** el modelo de efectos aleatorios es más adecuado que el modelo de efectos fijos, para estimar la función de producción Trans Log de la industria manufacturera colombiana.

Este el contraste de Hausman. Se basa en la idea de que, bajo la hipótesis de no correlación<sup>32</sup>, ambos, MCO en el modelo de MCVF y MCGF, son consistentes, pero MCO es ineficiente, mientras que bajo la alternativa, MCO es consistente, pero MCG

---

<sup>32</sup> Los efectos individuales no se correlacionan con los otros regresores. Este es el supuesto del enfoque de efectos aleatorios.

no lo es. Así, bajo la hipótesis nula, las dos estimaciones no deberían diferir sistemáticamente. El ingrediente esencial de este contraste es la matriz de varianzas y covarianzas del vector de diferencias  $[b-\beta]$ . El contraste se distribuye como una  $\chi^2$  con K grados de libertad, y se basa en el criterio de Wald<sup>33</sup>:

$$W = \chi^2[K] = [b - \beta]' \hat{\Sigma}^{-1} [b - \beta]$$

Por último, es necesario aclarar que no se consideró la posibilidad de estimar un modelo de coeficientes aleatorios (RCM), es decir, un modelo de panel donde la variación entre grupos cambia todas las pendientes de la función media condicional, debido al pequeño número de observaciones anuales que se tienen para cada sector industrial<sup>34</sup>.

---

<sup>33</sup> Para obtener mayor información sobre este tipo de pruebas y en general sobre el análisis de datos de panel ver Greene, capítulos 14 y 15.

<sup>34</sup> La forma reducida de este modelo es:  $y_i = x_i\beta + (e_i + x_i v_i) = x_i\beta + w_i$ ; con  $E[w_i] = 0$  y  $\text{Var}[w_i] = \sigma_i^2 1 + x_i' x_i = \Pi_i$ . Este modelo supone una distribución de los vectores de los coeficientes  $\beta_i$  entre grupos y aplica un modelo de regresión clásica a cada grupo, con presencia de heterocedasticidad y autocorrelación dentro de los grupos.

#### 4. RESULTADOS Y ANÁLISIS

La Tabla No. 7 presenta las estimaciones obtenidas con el conjunto de datos de panel, a cuatro dígitos CIIU, del sector de Alimentos y Bebidas. La Tabla No. 8 muestra las estimaciones realizadas, con el conjunto de datos de panel a cuatro dígitos CIIU, para el resto de los sectores industriales. La Tabla No. 9 presenta las estimaciones obtenidas con el conjunto de datos de panel a tres dígitos CIIU. En estas tablas, los parámetros de la función de producción Cobb Douglas se presentan para efectos ilustrativos más que comparativos.<sup>35</sup>

Las estimaciones realizadas a cuatro dígitos CIIU, para el sector de Alimentos y Bebidas y para el resto de los sectores industriales (Tabla No. 7 y No 8) se realizaron corrigiendo la presencia de autocorrelación en los residuos de los sectores, mientras las estimaciones a tres dígitos CIIU (Tabla No. 9) se obtuvieron descartando la presencia de heterocedasticidad en la varianza de los errores. De esta manera se garantiza que la estimación de cada uno de los conjuntos de datos de panel genere un conjunto de estimadores consistentes( Programación en Limdep 7.0).

Las pruebas estadísticas para determinar cuál modelo (MCO, MCVF, MCGF) produce las mejores estimaciones de la función de producción Trans Log, permitieron establecer que el modelo más apropiado para el sector de Alimentos y Bebidas es el modelo de efectos aleatorios (MCGF), para el resto de los sectores industriales es el modelo de efectos fijos (MCVF), y para la industria manufacturera agregada a tres dígitos CIIU es el modelo de efectos aleatorios (MCGF).

En el caso de la Hipótesis 1, los efectos de los sectores industriales no son iguales, así que la hipótesis nula se rechaza a un nivel de confianza de 99%, en los tres

---

<sup>35</sup> En el Anexo 2 se presentan los valores de la productividad marginal del agua calculados con base en la elasticidad del producto respecto al agua obtenida a través de la estimación de la función Cobb Douglas.

casos. En la Hipótesis 2 , el modelo sin efectos de grupo (MCO) no es de ninguna manera mejor que el modelo de efectos aleatorios, razón por la cual la hipótesis nula se rechaza a un nivel de confianza de 99%. De acuerdo con la Hipótesis 3, los efectos individuales no parecen estar correlacionados con los demás regresores en el sector de Alimentos y Bebidas y en el total de la industria manufacturera agregada a tres dígitos CIIU, pero si parecen estarlo para el resto de los sectores industriales a cuatro dígitos CIIU, así que la hipótesis nula debe ser aceptada en los dos primeros casos y debe ser rechazada en el último caso, con un nivel de confianza de 95% (Tabla No.6).

**Tabla No. 6**  
**Pruebas Estadísticas para el Contraste de Modelos**

Contraste	Estadístico	Sector 31	Resto Sectores	CIIU 3	Criterio	Decisión
Efectos de grupo	$F\{n-1, nT-n-K\}$ $F_{gl, 0.01} = 20.3$	$F\{14, 76\}$ $= 31.56$	$F\{24, 136\} =$ $59.84$	$F\{17, 112\}$ $= 97.07$	$F_c > F$ Rechazo $H_0$	Los efectos de grupo son significativos.
Multiplicador de Lagrange	$\chi^2\{1\}$ $\chi^2_{1, 0.01} = 6.63$	$\chi^2\{1\} =$ $63.81$	$\chi^2\{1\} = 217.30$	$\chi^2\{1\} =$ $184.5$	$\chi^2\{1\} > \chi^2$ Rechazo $H_0$	Un modelo que considere los efectos de grupo es el apropiado.
Test de Hausman	$\chi^2\{K\}$ $\chi^2_{14, 0.05} = 23.68$	$\chi^2\{14\} =$ $4.56$	$\chi^2\{14\} = 45.44$	$\chi^2\{14\} =$ $23.04$	$\chi^2\{14\} > \chi^2$ Rechazo $H_0$ $\chi^2\{14\} < \chi^2$ Acepto $H_0$	MCVF es mejor que MCGF MCGF es mejor que MCVF

La bondad de ajuste de los modelos es muy alta para los tres conjuntos de datos de panel, con un  $R^2$  de 0.96, 0.83 y 0.95 en el caso de MCGF, y de 0.99, 0.97 y 0.99 en el caso de MCVF. Esto significa que la variabilidad del valor real de la producción industrial manufacturera puede ser explicada entre un 95% y un 97% por el uso de los factores agua (W), trabajo (L), capital (K) y energía (E), para los tres conjuntos de datos.

Para el sector de Alimentos y Bebidas, todas las variables explicativas resultaron estadísticamente significativas a 0.01 (\*\*\*) , 0.05 (\*\*) y 0.1 (\*), excepto dos variables que se encuentran relacionadas con el agua ( $\beta_{WL}$ ,  $\psi_{WE}$ ). Para el resto de los sectores

industriales a cuatro dígitos CIIU, la mayoría de las variables relacionadas con el capital (K) resultan poco significativas estadísticamente ( $\gamma_K, \beta_{WW}, \beta_{KK}, \beta_{LK}, \beta_{LE}, \beta_{KE}$ ). Finalmente, para el total de la industria manufacturera agregada a tres dígitos CIIU, el número de variables estadísticamente no significativas aumenta considerablemente ( $\gamma_W, \gamma_K, \beta_{WW}, \beta_{LL}, \beta_{KK}, \beta_{EE}, \beta_{WK}, \beta_{LE}$ ).

De acuerdo con estos resultados, es evidente que la desagregación de la información sectorial a cuatro dígitos CIIU favorece la estimación de la función de producción Trans Log de la industria manufacturera colombiana. No obstante, es un hecho que ya a este nivel de agregación sectorial, la heterogeneidad de los productos industriales que se llegan a incluir en el segundo conjunto de datos de panel es muy grande, razón por la cual la calidad de las estimaciones se reduce.

**Tabla No. 7**  
**Estimaciones Panel CIU 4 - Sector de Alimentos y Bebidas**

Variable Dependiente: Ln Y		Función Trans Log			Función Cobb Douglas		
Coeficiente	Variable	MCO	MCGF	MCVF	MCO	MCGF	MCVF
$\gamma_W$	Ln W	-0.285	<b>-0.469</b>	-0.476	-0.063	<b>-0.031</b>	-0.025
		{0.403}	{0.192}***	{0.193}**	{0.012}	{0.010}***	{0.010}**
$\gamma_L$	Ln L	5.03	<b>4.24</b>	4.26	0.467	<b>0.710</b>	0.812
		{2.07}	{1.13}***	{1.13}***	{0.079}	{0.096}***	{0.113}***
$\gamma_K$	Ln K	2.74	<b>5.43</b>	5.60	0.215	<b>0.314</b>	0.329
		{1.7}	{0.962}***	{0.979}***	{0.058}	{0.040}***	{0.041}***
$\gamma_E$	Ln E	-2.59	<b>-3.14</b>	-3.04	0.332	<b>0.086</b>	0.040
		{1.64}	{0.975}***	{0.994}***	{0.073}	{0.075}	{0.086}
$\beta_{WW}$	Ln <sup>2</sup> W	-0.005	<b>-0.002</b>	-0.002			
		{0.003}	{0.001}*	{0.001}*			
$\beta_{LL}$	Ln <sup>2</sup> L	-0.483	<b>-0.572</b>	-0.584			
		{0.104}	{0.129}***	{0.135}***			
$\beta_{KK}$	Ln <sup>2</sup> K	0.001	<b>-0.191</b>	-0.198			
		{0.064}	{0.034}***	{0.034}***			
$\beta_{EE}$	Ln <sup>2</sup> E	0.091	<b>-0.326</b>	-0.332			
		{0.139}	{0.083}***	{0.084}***			
$\beta_{WL}$	Ln W*Ln L	0.124	<b>0.019</b>	0.021			
		{0.044}	{0.025}	{0.025}			
$\beta_{WK}$	Ln W*Ln K	0.055	<b>0.023</b>	0.023			
		{0.026}	{0.013}**	{0.013}**			
$\beta_{WE}$	Ln W*Ln E	-0.122	<b>-0.015</b>	-0.016			
		{0.033}	{0.019}	{0.019}			
$\beta_{LK}$	Ln L*Ln K	-0.197	<b>-0.206</b>	-0.197			
		{0.144}	{0.074}***	{0.075}***			
$\beta_{LE}$	Ln L*Ln E	0.420	<b>0.628</b>	0.621			
		{0.194}	{0.177}***	{0.182}***			
$\beta_{KE}$	Ln K*Ln E	-0.090	<b>0.363</b>	0.370			
		{0.170}	{0.084}***	{0.084}***			
105 OBS	Constante	-13.18	-37.64		12.54	11.81	
Ajuste R <sup>2</sup>		0.95	0.96	0.99	0.91	0.91	0.97
Estadístico F		158.7		472.4	274.9		284

**Tabla No. 8**  
**Estimaciones Panel CIU4 - Otros Sectores Industriales**

Variable Dependiente: Ln Y		Función Trans Log			Función Cobb Douglas		
		MCO	MCGF	MCVF	MCO	MCGF	MCVF
Coefficiente	Variable						
$\gamma_w$	Ln W	0.766	0.459	<b>0.483</b>	0.004	-0.005	<b>-0.006</b>
		{0.498}	{0.238}**	{0.244}**	{0.011}	{0.006}	{0.006}
$\gamma_L$	Ln L	-9.21	-4.55	<b>-4.98</b>	0.247	0.544	<b>0.588</b>
		{1.70}	{1.13}***	{1.26}***	{0.056}	{0.063}***	{0.077}***
$\gamma_k$	Ln K	-1.58	-1.13	<b>-0.428</b>	0.722	0.092	<b>0.049</b>
		{2.27}	{0.98}	{1.01}	{0.069}	{0.044}**	{0.047}
$\gamma_E$	Ln E	6.08	3.65	<b>2.76</b>	-0.192	0.275	<b>0.363</b>
		{1.69}	{1.04}***	{1.14}**	{0.057}	{0.053}***	{0.069}***
$\beta_{ww}$	Ln <sup>2</sup> W	0.009	0.0002	<b>-0.001</b>			
		{0.003}	{0.002}	{0.002}			
$\beta_{LL}$	Ln <sup>2</sup> L	0.617	0.183	<b>0.239</b>			
		{0.098}	{0.071}**	{0.079}***			
$\beta_{kk}$	Ln <sup>2</sup> K	0.085	0.020	<b>-0.007</b>			
		{0.091}	{0.036}	{0.037}			
$\beta_{EE}$	Ln <sup>2</sup> E	0.204	-0.053	<b>-0.111</b>			
		{0.071}	{0.055}*	{0.048}**			
$\beta_{wL}$	Ln W*Ln L	0.055	-0.00009	<b>-0.022</b>			
		{0.020}	{0.012}	{0.013}*			
$\beta_{wK}$	Ln W*Ln K	-0.010	-0.025	<b>-0.029</b>			
		{0.032}	{0.014}*	{0.015}**			
$\beta_{wE}$	Ln W*Ln E	-0.062	0.011	<b>0.027</b>			
		{0.027}	{0.014}	{0.015}**			
$\beta_{LK}$	Ln L*Ln K	0.317	0.120	<b>0.046</b>			
		{0.103}	{0.064}**	{0.067}			
$\beta_{LE}$	Ln L*Ln E	-0.580	-0.073	<b>0.028</b>			
		{0.115}	{0.087}	{0.093}			
$\beta_{KE}$	Ln K*Ln E	-0.289	-0.033	<b>0.044</b>			
		{0.146}	{0.069}	{0.071}			
175 OBS	Constante	22.60	19.86		9.19	15.05	
Ajuste R <sup>2</sup>		0.85	0.86	0.98	0.76	0.77	0.96
Estadístico F		71.53		296.75	142.45		1273.97



**Tabla No. 9**  
**Estimaciones Panel CIU 3 – Industria Manufacturera**

Variable Dependiente: Ln Y		Función Trans Log			Función Cobb Douglas		
		MCO	MCGF	MCVF	MCO	MCGF	MCVF
Coeficiente	Variable						
$\gamma_w$	Ln W	1.27	<b>-0.059</b>	-0.081	0.055	<b>-0.001</b>	-0.003
		{0.382}	{0.134}	{0.123}	{0.014}	{0.007}	{0.007}
$\gamma_L$	Ln L	-3.93	<b>-1.73</b>	-0.926	0.420	<b>0.569</b>	0.512
		{1.24}	{0.703}***	{0.731}	{0.049}	{0.053}***	{0.061}***
$\gamma_K$	Ln K	0.587	<b>0.285</b>	0.513	0.581	<b>0.130</b>	0.097
		{1.34}	{0.413}	{0.488}	{0.049}	{0.024}***	{0.029}***
$\gamma_E$	Ln E	2.77	<b>3.37</b>	2.90	-0.160	<b>0.313</b>	0.419
		{1.17}	{0.661}***	{0.729}***	{0.051}	{0.056}***	{0.072}***
$\beta_{ww}$	Ln <sup>2</sup> W	0.005	<b>-0.001</b>	-0.001			
		{0.003}	{0.001}	{0.001}			
$\beta_{LL}$	Ln <sup>2</sup> L	0.067	<b>-0.023</b>	-0.054			
		{0.070}	{0.041}	{0.035}			
$\beta_{KK}$	Ln <sup>2</sup> K	-0.011	<b>0.002</b>	-0.001			
		{0.046}	{0.015}	{0.019}			
$\beta_{EE}$	Ln <sup>2</sup> E	-0.042	<b>-0.019</b>	-0.006			
		{0.071}	{0.042}	{0.041}			
$\beta_{wL}$	Ln W*Ln L	0.067	<b>0.017</b>	0.013			
		{0.026}	{0.012}*	{0.008}			
$\beta_{wK}$	Ln W*Ln K	-0.028	<b>0.009</b>	0.009			
		{0.029}	{0.009}	{0.008}			
$\beta_{wE}$	Ln W*Ln E	-0.062	<b>-0.017</b>	-0.014			
		{0.029}	{0.012}*	{0.009}			
$\beta_{LK}$	Ln L*Ln K	0.097	<b>0.101</b>	0.092			
		{0.083}	{0.038}***	{0.031}**			
$\beta_{LE}$	Ln L*Ln E	-0.032	<b>-0.020</b>	-0.018			
		{0.081}	{0.067}	{0.045}			
$\beta_{KE}$	Ln K*Ln E	-0.005	<b>-0.070</b>	-0.071			
		{0.099}	{0.040}**	{0.045}**			
144 OBS	Constante	-3.31	-5.78		10.48	13.18	
Ajuste R <sup>2</sup>		0.94	0.95	0.99	0.91	0.91	0.99
Estadístico F		159.35		1036.4	372.46		1273.97

Ahora bien, la función de producción Trans Log, continua y doblemente diferenciable, se comporta bien si (i) los insumos son productivos, en el sentido que un mayor empleo de ellos produce un incremento del producto (producto marginal positivo); y si (ii) la función es cóncava en las cantidades de los insumos (producto marginal decreciente).

La condición de productividad marginal positiva de los insumos es satisfecha si la elasticidad del producto respecto a cada insumo también es positiva. Se chequeó esta condición con cada una de las observaciones anuales, para cada conjunto de datos de panel, y se concluyó que la función Trans Log satisface esta condición de manera global sólo para el uso de trabajo (T), capital (C) y energía (E). En el caso del agua, la elasticidad del producto respecto a este insumo resultó negativa para algunos sectores. Este hecho podría indicar que el uso de agua durante esos años, y para esos sectores, se redujo, mientras la producción creció en términos reales. En otras palabras, la participación del valor del agua ( $P_{AA}$ ) en el valor de la producción (Y) resultó ser muy pequeña y presenta una tendencia decreciente entre 1992 y 1999.

Una hipótesis que puede ser considerada para explicar el signo negativo que acompaña en algunos casos la elasticidad del producto respecto al agua, es que la EAM viene reportando principalmente el consumo de agua proveniente del acueducto. Si esto es así, debe notarse que el consumo facturado por parte de los usuarios industriales de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB), por ejemplo, se ha venido reduciendo durante los últimos cinco años, debido principalmente a la grave crisis económica que enfrenta Colombia desde finales de los años noventa. La posibilidad de que estos usuarios industriales hayan recurrido al uso de fuentes propias o de sistemas de recirculación, entre otras alternativas que les permitan ahorrar costos y mantener o elevar su nivel de producción, puede considerarse una de las razones por las cuales los establecimientos industriales encuestados no vienen reportando incrementos, y si

disminuciones, en el consumo de agua proveniente principalmente del sistema de acueducto público. Si la EAM reporta fundamentalmente este tipo de consumo, el cálculo de la elasticidad del producto respecto al agua no estará reflejando la productividad de este insumo cuando se consideran los incrementos en el uso de agua proveniente de fuente propias (legales o no) o de la implementación de sistemas de recirculación.

La condición de concavidad de la función de producción Trans Log es satisfecha si la matriz simétrica del Hessiano, basada en los parámetros estimados para cada conjunto de datos de panel, es negativa semidefinida. Esta condición se cumple sin ningún problema para cada función Trans Log estimada.

Para calcular el valor privado de la productividad marginal del agua en la producción de la industria manufacturera colombiana, primero se obtuvo la elasticidad del producto respecto al agua ( $\eta$ ), reemplazando los coeficientes de MCGF y MCVF, seleccionados para cada conjunto de datos de panel, y el valor promedio de los logaritmos de los insumos para cada sector industrial en la ecuación (2)<sup>36</sup>. Luego, con base en la ecuación (3) se obtuvo el valor marginal del agua ( $VPMg_w$ ) multiplicando cada una de las elasticidades obtenidas atrás, por la razón entre el valor de la producción industrial y el volumen de agua consumida como materia prima en cada sector. Este cálculo se realizó utilizando el valor promedio de la producción (a pesos de 2002) y el volumen promedio de agua consumida como materia prima, que fueron reportados por cada uno de los sectores en la EAM 1992-1999<sup>37</sup>. El valor inicial que se obtuvo fue la disponibilidad total a pagar en el año, razón por la cual se optó por dividir este valor sobre doce, para obtener así el valor de cada metro cúbico consumido en el mes ( $\$/m^3/mes$ ). Finalmente, con base en la

---

<sup>36</sup> En los sectores marcados con  $\Theta$  la elasticidad del producto respecto al agua es negativa en la gran parte de los años considerados. Este hecho podría estar relacionado con la reducción que presenta la participación del valor del agua en el valor de la producción.

<sup>37</sup> El cálculo de estos promedios no tuvo en cuenta los años que pueden considerarse como atípicos, o que presentan cambios demasiado bruscos en la cantidad de agua utilizada de un año a otro, teniendo en cuenta el número de establecimientos industriales encuestados cada año y la tasa de crecimiento real de la producción de estos sectores.

ecuación (4), se obtuvo la elasticidad precio de la demanda del agua para cada sector industrial ( $\gamma$ ).

La tabla No.11 presenta las elasticidades y el valor privado de la productividad marginal del agua para el sector de Alimentos y Bebidas (31). De acuerdo con esta tabla, los sectores industriales que realizan los mayores consumos de agua como materia prima, son los sectores que están menos dispuestos a pagar por ella.

En el caso del sector de Alimentos (311, 312), cuyo consumo de agua corresponde al 29% del total reportado en la EAM, el sector (311) podría estar dispuesto a pagar entre \$1,125 y \$4,177 por cada metro cúbico de agua consumido en un mes, mientras que en el sector (312), la disponibilidad marginal a pagar por el uso de agua estaría en promedio alrededor de los \$3,340 m<sup>3</sup>/mes. Estas diferencias en el aporte del agua al valor de la producción entre sectores son muy importantes, si se considera además que un incremento de 10% en el precio del agua puede disminuir su consumo entre un 8% y un 10% en el sector (311), y entre un 7% y un 9% en el sector (312).

**Tabla No. 10**  
**El Valor Marginal del Agua para la Industria de Alimentos y Bebidas**

CIU	SECTOR	$\eta$	$\gamma$	VPM <sub>gw</sub> (\$/m <sup>3</sup> /mes)	Agua* (m <sup>3</sup> /año)
<b>311</b>	<b>Alimentos**</b>	<b>0.027</b>	<b>-1.00</b>	<b>1,125</b>	<b>3'301,042</b>
<b>311</b>	<b>Promedio***</b>	<b>0.017</b>	<b>-0.86</b>	<b>4,177</b>	
3116	Productos de molinería.	0.022	-0.92	9,802	162,686
3117	Productos de panadería.	0.032	-0.96	6,758	467,985
3119	Elaboración de cacao y productos de chocolate.	0.010	-0.81	5,571	77,086
3111	Matanza de ganado; preparación y conservación de carnes	0.011	-0.83	3,508	426,605
3112	Fabricación de productos lácteos.	0.020	-0.91	3,071	2'546,460
3118	Ingenios y refinерías de azúcar.	0.020	-0.91	304	17'897,694
3113	Envasado y conservación de frutas, legumbres y vegetales. $\Theta$	0.005	-0.71	222	1'528,778
<b>312</b>	<b>Otros Alimentos**</b>	<b>0.013</b>	<b>-0.95</b>	<b>3,552</b>	<b>321,058</b>
<b>312</b>	<b>Promedio***</b>	<b>0.010</b>	<b>-0.72</b>	<b>3,114</b>	
3123	Elaboración de compuestos dietéticos y otros. $\Theta$	0.010	-1.00	4,370	3,160
3121	Elaboración de productos alimenticios diversos.	0.018	-0.90	3,070	925,244
3122	Elaboración de alimentos preparados para animales.	0.001	-0.57	1,901	34,770
<b>313</b>	<b>Bebidas**</b>	<b>0.019</b>	<b>-0.98</b>	<b>364</b>	<b>4'465,284</b>
<b>313</b>	<b>Promedio***</b>	<b>0.027</b>	<b>-0.85</b>	<b>1,184</b>	
3133	Bebidas malteadas y malta.	0.019	-0.90	2,083	3'590,411
3132	Industrias vinícolas. $\Theta$	0.049	-1.00	1,925	495,585
3134	Fabricación de bebidas no alcohólicas y gaseosas.	0.035	-0.97	552	11'218,467
3131	Destilación, rectificación y mezcla de bebidas espirituosas.	0.003	-0.52	174	2'556,674
<b>314</b>	<b>Tabaco**</b>	<b>0.015</b>	<b>-0.96</b>	<b>136,240</b>	<b>3,222</b>
3140	Preparación de tabaco y fabricación de sus productos.	0.008	-0.77	96,081	

Fuente: cálculos del Autor. Notas: \* volumen anual de agua consumida durante el periodo 1992-1999. \*\* estimaciones realizadas con información a tres dígitos CIU. \*\*\* promedio de las estimaciones obtenidas a cuatro dígitos CIU.

En el sector de Bebidas (313), la disponibilidad marginal a pagar por el uso de agua también es menor en aquellos sectores donde su consumo es muy alto. Este es el caso de la fabricación de bebidas no alcohólicas y gaseosas (3134), que consume tres veces lo que reporta la producción de bebidas malteadas (3133), y está dispuesto a pagar sólo una cuarta parte de lo que el sector (3133) podría pagar. En promedio, la industria de Bebidas estaría dispuesta a pagar entre \$364 y \$1,184 por cada metro cúbico consumido en un mes, es decir, menos de la mitad del valor que

estaría dispuesto a pagar en promedio el sector de Alimentos. Con un consumo equivalente al 27% del total reportado en la EAM, un incremento en el precio del agua llevaría a la industria de Bebidas a reducir la cantidad de este insumo entre un 5% y un 9%.

En el sector de Tabaco el valor marginal del agua resulta demasiado alto, al parecer porque la elasticidad del producto respecto al agua puede considerarse muy alta para este sector, si se compara con la participación del valor del agua en el valor de la producción. Como se observa en la tabla No.12, la situación que se presenta en el sector de Tabaco se repite en otras actividades del sector de Prendas de vestir (3221), Cuero (3231), Sustancias Químicas (3512) Productos Químicos (3522), Productos plásticos (3560), Productos Metálicos (3813), Material de Transporte (3844), Material Científico (3851) y Otras Manufacturas (3904)<sup>38</sup>

Sin embargo, en el resto de los sectores industriales, la elasticidad del producto respecto al agua genera disponibilidades marginales a pagar bastante razonables<sup>39</sup>. El sector de Textiles (321), que reporta sólo el 15% del consumo total de agua, estaría dispuesto a pagar entre \$1,233 m<sup>3</sup>/mes y \$2,222 m<sup>3</sup>/mes. El sector de Papel (341), con el 3% del consumo total, podría pagar entre \$1,128 m<sup>3</sup>/mes y \$1,589 m<sup>3</sup>/mes. El sector de Sustancias Químicas (351), con el 7% del consumo total, estaría dispuesto a pagar entre \$577 m<sup>3</sup>/mes y \$1,958 m<sup>3</sup>/mes. El sector de Productos Químicos (352), con el 3% del consumo total, pagaría entre \$3,625 m<sup>3</sup>/mes y \$4,000 m<sup>3</sup>/mes. El sector de Minerales no Metálicos, con el 3% del consumo total, podría pagar entre \$290 m<sup>3</sup>/mes y \$2,680 m<sup>3</sup>/mes. El sector de Hierro y Acero, con el 13% del consumo total, estaría dispuesto a pagar entre \$403 m<sup>3</sup>/mes y \$450 m<sup>3</sup>/mes.

---

<sup>38</sup> Utilizando las cifras entregadas por la EAM, esta participación puede ser calculada dividiendo el valor del agua sobre el valor de la producción bruta: 0.001% (3140), 0.010% (3221), 0.005% (3231), 0.002% (3512), 0.004% (3522), 0.001% (3560), 0.009% (3813), 0.002% (3844), 0.006% (3851), 0.0008% (3904).

<sup>39</sup> Teniendo en cuenta que el precio de referencia por cada metro cúbico de agua consumido puede ser el valor promedio de la tarifa para uso industrial que cobran las diferentes Empresas de Servicios Públicos del país: \$1.947 para m<sup>3</sup>/usuario / mes.

La diferencia en el valor marginal del agua entre sectores industriales es una realidad que refleja diferencias sectoriales en la disponibilidad privada a pagar por cada metro cúbico de agua consumido en un mes. Los sectores industriales que están menos dispuestos a pagar parecen ser aquellas actividades que han logrado reducir notablemente sus costos de acceso al recurso (tratamiento, potabilización y distribución), posiblemente a través del abastecimiento de agua proveniente de fuentes propias. Este es el caso de la industria de Alimentos (311, 312), Bebidas (313), Sustancias Químicas (351) y Productos Químicos (352). Esto significaría que no toman toda el agua que requieren de una sola fuente, sino que complementan el abastecimiento de agua, por ejemplo, a través del acueducto público y del aprovechamiento de fuentes propias. El abastecimiento directo a través de fuentes propias, con o sin tratamiento del agua que se toma, ha abaratado el costo de este insumo para toda la industria manufacturera. Así lo puede estar reflejando la baja disponibilidad marginal a pagar por el agua de actividades como la producción de Minerales no Metálicos (369) y de Hierro y Acero (371).

**Tabla No. 11**  
**El Valor Marginal del Agua para el Resto de la Industria Manufacturera**

CIU	SECTOR	$\eta$	$\gamma$	VPM <sub>gw</sub> (\$/m <sup>3</sup> /mes)	Agua* (m <sup>3</sup> /año)
321	<b>Textiles**</b>	<b>0.019</b>	<b>-0.98</b>	<b>1,233</b>	<b>1'102,294</b>
321	<b>Promedio***</b>	<b>0.010</b>	<b>-1.04</b>	<b>2,222</b>	
3213	Fabricación de tejidos de punto. $\Theta$	0.012	-1.03	4,782	20,173
3216	Tejidos y manufacturas de algodón y sus mezclas. $\Theta$	0.010	-1.04	1,587	511,560
3211	Hilado y acabado de textiles.	0.009	-1.05	296	2'775,148
322	<b>Prendas de Vestir**</b>	<b>0.020</b>	<b>-0.98</b>	<b>17,913</b>	<b>27,183</b>
3221	Fabricación de prendas de vestir.	0.025	-1.00	7,980	
323	<b>Cuero**</b>	<b>0.002</b>	<b>-0.66</b>	<b>1,650</b>	<b>19,460</b>
3231	Curtidurías y talleres de acabado.	0.029	-1.01	54,544	
341	<b>Papel**</b>	<b>0.011</b>	<b>-0.94</b>	<b>1,589</b>	<b>8'702,213</b>
341	<b>Promedio***</b>	<b>0.015</b>	<b>-0.98</b>	<b>1,128</b>	
3419	Fabricación de artículos de pulpa, papel y cartón.	0.013	-0.98	1,164	94,133
3411	Fabricación de pulpa de madera, papel y cartón.	0.017	-0.99	1,092	17'310,292
351	<b>Sustancias Químicas**</b>	<b>0.003</b>	<b>-0.76</b>	<b>577</b>	<b>452,134</b>
351	<b>Promedio***</b>	<b>0.014</b>	<b>-0.97</b>	<b>1,958</b>	
3512	Fabricación de abonos y plaguicidas.	0.017	-0.99	221,827	11,333
3511	Fabricación de sustancias químicas industriales básicas.	0.019	-0.99	3,474	996,405
3513	Fabricación de resinas sintéticas.	0.006	-0.93	442	348,663
352	<b>Productos Químicos**</b>	<b>0.036</b>	<b>-1.01</b>	<b>3,625</b>	<b>881,385</b>
352	<b>Promedio***</b>	<b>0.026</b>	<b>-0.97</b>	<b>4,001</b>	
3522	Fabricación de productos farmacéuticos y medicamentos. $\Theta$	0.055	-0.96	83,188	138,367
3523	Fabricación de jabones y preparados de limpieza; cosméticos. $\Theta$	0.031	-0.99	7,245	3'589,761
3528	Fabricación de diversos productos químicos.	0.021	-1.00	5,411	58,456
3529	Otros productos químicos. $\Theta$	0.020	-1.01	1,878	555,932
3521	Fabricación de pinturas, barnices y lacas.	0.005	-0.92	1,470	64.409
354	<b>Derivados del Petróleo**</b>	<b>0.009</b>	<b>-0.92</b>	<b>1,489</b>	<b>217,058</b>
3540	Fabricación de productos diversos derivados del petróleo.	0.010	-0.96	143	
356	<b>Productos Plásticos**</b>	<b>0.020</b>	<b>-0.98</b>	<b>749,239</b>	<b>2,852</b>
3560	Fabricación de productos plásticos. $\Theta$	0.024	-1.00	4,243,417	

Fuente: cálculos del Autor. Notas: \* volumen anual de agua consumida durante el periodo 1992-1999. \*\* estimaciones realizadas con información a tres dígitos CIU. \*\*\* promedio de las estimaciones obtenidas a cuatro dígitos CIU.



**Tabla No. 12**  
**El Valor Marginal del Agua para el Resto de la Industria Manufacturera**

CIU	SECTOR	$\eta$	$\gamma$	VPM <sub>gw</sub> (\$/m <sup>3</sup> /mes)	Agua* (m <sup>3</sup> /año)
<b>369</b>	<b>Minerales no Metálicos**</b>	<b>0.003</b>	<b>-0.80</b>	<b>290</b>	<b>844,851</b>
<b>369</b>	<b>Promedio***</b>	<b>0.012</b>	<b>-0.96</b>	<b>2,680</b>	
3691	Fabricación de productos de arcilla para la construcción.	0.006	-0.93	4,389	350,214
3699	Fabricación de productos minerales no metálicos.	0.023	-0.99	2,686	880,684
3692	Fabricación de cemento, cal y yeso.	0.008	-0.95	964	1'303,655
<b>371</b>	<b>Hierro y Acero**</b>	<b>0.021</b>	<b>-0.98</b>	<b>403</b>	<b>5'485,544</b>
3710	Industrias básicas de hierro y acero.	0.017	-0.99	454	
<b>381</b>	<b>Productos Metálicos**</b>	<b>0.024</b>	<b>-0.99</b>	<b>42,844</b>	<b>37,878</b>
3813	Fabricación de elementos estructurales metálicos. $\Theta$	0.012	-1.03	9,307	
<b>384</b>	<b>Material de Transporte**</b>	<b>0.010</b>	<b>-0.94</b>	<b>9,834</b>	<b>31,296</b>
3844	Fabricación de motocicletas y bicicletas.	0.021	-1.00	5,708	
<b>385</b>	<b>Material Científico**</b>	<b>0.009</b>	<b>-0.93</b>	<b>9,172</b>	<b>22,987</b>
3851	Fabricación de material profesional y científico.	0.016	-0.99	18,435	
<b>390</b>	<b>Otras Manufacturas**</b>	<b>0.016</b>	<b>-0.97</b>	<b>41,740</b>	<b>8,686</b>
3904	Industrias manufactureras diversas.	0.040	-0.96	81,437	

Fuente: cálculos del Autor. Notas: \* volumen anual de agua consumida durante el período 1992-1999. \*\* Estimaciones realizadas con información a tres dígitos CIU. \*\*\* promedio de las estimaciones obtenidas a cuatro dígitos CIU.

Si se compara el valor de la disponibilidad marginal a pagar privada de los sectores industriales más intensivos en el uso de agua como materia prima, con el valor de la tarifa promedio aplicada a acueducto y alcantarillado por diferentes Empresas de Servicios Públicos del país (Anexo 3), el aporte del agua como materia prima al valor de la producción resulta igual, y en ocasiones superior, a la tarifa promedio que se puede pagar en las principales áreas metropolitanas del país (entre \$2,500/m<sup>3</sup>/mes y \$4,000/m<sup>3</sup>/mes). Sin embargo, en aquellos sectores donde la disponibilidad marginal a pagar resulta inferior al valor promedio de esta tarifa, es un hecho la principal fuente de abastecimiento de estos sectores, el sistema de acueducto público, está siendo desplazada por fuentes de agua más baratas, como pueden ser las fuentes propias. De continuar así, la industria manufacturera colombiana seguirá utilizando volúmenes de agua superiores a los que podría llegar a utilizar si considerara no sólo el costo de acceso sino también el costo de oportunidad del recurso.

Para incluir este costo dentro del precio del agua se plantea el cobro de una tasa por utilización del agua, que mediante la implementación de una tarifa mínima y la aplicación de una regla incremental, introduzca de manera gradual el costo de oportunidad del recurso hídrico para una región en particular, a través del cumplimiento de una meta ambiental, definida en términos de disponibilidad del recurso bajo ciertas condiciones de cantidad y calidad. En el caso del uso industrial manufacturero, se sugiere que el valor de la tarifa mínima de la tasa por utilización del agua sea establecido teniendo en cuenta la disponibilidad marginal a pagar por el agua que presentan los diferentes sectores industriales. Es decir, se sugiere que el valor de la tarifa mínima sea establecido teniendo en cuenta el aporte más bajo que en promedio realiza el consumo de un metro cúbico de agua al valor de la producción industrial manufacturera. De acuerdo con los resultados obtenidos en este estudio, el valor de la tarifa mínima podría estar alrededor de los \$118/m<sup>3</sup>/mes<sup>40</sup>.

Esta tarifa mínima de la tasa por utilización del agua corresponde aproximadamente al 10% de la disponibilidad a pagar marginal del sector de Bebidas. Si se realiza una aproximación general del impacto que puede tener esta tarifa en el Consumo Intermedio (CI) y los Beneficios Brutos (BB) de diferentes sectores industriales<sup>41</sup>, a tres dígitos CIIU, el mayor efecto incremental de la tasa sobre el Consumo Intermedio (TUA / CI) y los Beneficios Brutos (TUA / BB) se produce en los sectores de Bebidas (313), Hierro (371) y Alimentos (311). Si el pago correspondiente al cobro de la tarifa se agrega al valor del agua como materia prima, que vienen reportando los diferentes establecimientos industriales, el efecto total de tasa sobre el Consumo Intermedio (PTUA / CI) y sobre los Beneficios Brutos (PTUA / BB) es

---

<sup>40</sup> Esta tarifa podría aplicarse a concesiones de agua superficial y subterránea, considerando que su cobro debe realizarse sobre el volumen de agua efectivamente consumido o utilizado por los usuarios de la concesión.

<sup>41</sup> En el consumo intermedio (CI) se encuentra el pago realizado por concepto de materias primas, energía, gastos, arrendamientos, servicios públicos, servicios técnicos, etc. Representa entre el 50% y el 80% del valor de la producción bruta del sector industrial manufacturero. Los Beneficios Brutos (BB) se obtuvieron de restarle al valor de la producción bruta (Y) el costo total (CT). Este costo se construyó agregando el valor del Consumo Intermedio (CI) y las remuneraciones totales (sueldos, salarios y prestaciones sociales). Esta información se obtuvo de la EAM 1992 – 1999, cuyos valores se trajeron a pesos constantes de 2002.

mayor en los sectores de Bebidas (313), Papel (341), Hierro (371), Textiles (321) y Alimentos (311). No obstante, tanto el efecto incremental como el total resultan poco significativos para el total de la industria manufacturera colombiana, razón por la cual \$118/m<sup>3</sup>/mes parece una tarifa mínima viable para dar inicio al cobro de una tasa por utilización del agua, dentro de la aplicación del concepto de eficiencia sin optimalidad.

**Tabla No. 13**  
**Impacto de la Tarifa Mínima de la TUA sobre los Costos y los Beneficios de la Industria Manufacturera**

Tarifa Mínima TUA \$118/m <sup>3</sup> /mes	Alimentos		Bebidas	Textiles	Papel	Sustancias Químicas		Minerales	Metalurgia
	311	312	313	321	341	351	352	369	371
TUA / CI	0,07%	0,01%	0,13%	0,03%	0,02%	0,01%	0,01%	0,03%	0,09%
TUA / BB	0,18%	0,02%	0,08%	0,04%	0,04%	0,01%	0,01%	0,03%	0,18%
PTUA / CI	0,11%	0,03%	0,60%	0,16%	0,22%	0,02%	0,07%	0,19%	0,15%
PTUA / BB	0,27%	0,09%	0,39%	0,22%	0,42%	0,04%	0,06%	0,17%	0,30%

Fuente: cálculos del Autor.

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Este estudio logró determinar la disponibilidad marginal a pagar por el uso del agua en la industria manufacturera colombiana, estimando el valor de la productividad marginal del agua para diferentes sectores industriales. Estos sectores industriales fueron seleccionados por reportar algún consumo de agua como materia prima en la EAM, entre 1992 -1999.

El valor marginal del agua para cada sector industrial se obtuvo a través de la estimación de una función de producción Trans Log, que incluyó el agua como insumo fundamental. Esta función de producción se estimó para tres conjuntos de datos de panel, con información a cuatro y tres dígitos CIIU. El ejercicio demostró que los mejores resultados se obtienen cuando se trabaja con un nivel de agregación bajo (CIIU4) y con un sector industrial en particular (Alimentos y Bebidas).

La elasticidad del producto respecto al agua ( $\eta$ ), derivada de la función de producción Trans Log, demostró que en promedio la participación del valor del agua en el valor de la producción industrial es muy pequeña en la industria manufacturera colombiana (0.015%). Para los sectores intensivos en el uso del agua, como el sector de Alimentos y Bebidas, la elasticidad del producto respecto al agua no superó el 0.03%, lo que significó una buena estimación de la participación del valor del agua en el valor de la producción de este sector. Pero en aquellos sectores menos intensivos en el uso de agua, como la elaboración de Productos Plásticos y Productos Metálicos, la elasticidad del producto respecto al agua resultó ser muy alta para estimar la verdadera participación del valor del agua en el valor de la producción de estos sectores, de acuerdo con la EAM (0.001%).

Precisamente en aquellos sectores industriales, donde los parámetros de la función Trans Log estimada no permitieron obtener la mejor estimación de la elasticidad del

producto respecto al agua, el valor marginal del agua toma valores extremadamente altos que no pueden ser comparados con los valores obtenidos para los demás sectores industriales. Este es el caso de la producción de Tabaco (314), Prendas de vestir (323), Productos Plásticos (356) y otras manufacturas (38, 39).

En el caso de los sectores más intensivos en el uso de agua como materia prima, Alimentos y Bebidas (311, 312 y 313), Textiles (321), Papel (341), Sustancias Químicas (351) y Productos Químicos (352), el valor marginal del agua que se obtiene resulta bastante razonable si se compara con la tarifa promedio para acueducto y alcantarillado que puede cobrar una ESP en las grandes ciudades, las capitales departamentales, y las cabeceras municipales de nuestro país (Anexo 4). Aunque se asuma que su principal fuente de abastecimiento es el acueducto público, es un hecho que el valor marginal del agua en estos sectores puede ser más alto que el valor de la tarifa promedio, y que esa disponibilidad a pagar por el uso de agua se reduce cuando el sector industrial accede a fuentes de abastecimiento más baratas, como las concesiones de aguas.

Mientras el aporte de un metro cúbico de agua en el valor de la producción de cada sector industrial supere el costo de usarla, es un hecho que la industria manufacturera colombiana seguirá incrementando o continuará utilizando grandes volúmenes de agua, sin considerar la posibilidad de alcanzar un uso más racional del recurso.

Desde el nivel central, el Estado colombiano puede contribuir a mejorar la asignación del recurso hídrico en nuestro país, con el cobro de una tasa por utilización del agua que incremente de manera razonable el costo de acceso al recurso. Utilizando el concepto de eficiencia sin optimalidad, esta tasa puede ser implementada a través

del establecimiento de una tarifa mínima y de la determinación de una regla de incremento gradual que garantice el cumplimiento de una meta ambiental<sup>42</sup>.

Para definir el valor de la tarifa mínima, en el caso del uso industrial manufacturero, se sugiere que su valor esté enmarcado dentro de la disponibilidad a pagar privada por el agua que presentan los diferentes sectores industriales, a tres o cuatro dígitos CIIU. Es decir, se sugiere que el valor de la tarifa mínima sea establecido teniendo en cuenta el aporte más bajo que en promedio realiza el consumo de un metro cúbico de agua al valor de la producción industrial manufacturera. De acuerdo con los resultados obtenidos en este estudio, el valor de la tarifa mínima podría estar alrededor de los \$118/m<sup>3</sup>/mes. De esta forma, se controla el impacto de la tasa en los costos de la actividad industrial manufacturera y se incentiva la reacción de los usuarios industriales ante pequeños cambios en el precio del recurso, pues un incremento de 10% en el precio del agua podría provocar una reducción de 9% en el consumo que realiza en promedio el sector industrial manufacturero de nuestro país<sup>43</sup>.

Por todo esto, y con el objetivo de garantizar el mejor cálculo del valor marginal del agua en la industria manufacturera colombiana, se recomienda estimar de nuevo la función de producción Trans Log, o cualquier otra función de producción flexible, con información proveniente de alguna(s) Empresa(s) de Servicios Públicos, que preste(n) el servicio de acueducto en una de las grandes áreas metropolitanas del país, y datos provenientes de la(s) Autoridad(es) Ambiental(es) Regional(es) sobre la concesión de aguas superficiales y subterráneas en el área, con información de corte transversal a nivel de empresa. Nuevamente, sólo se estaría estimando la disponibilidad marginal a pagar por el uso de agua que entra, dejando de lado el

---

<sup>42</sup> En cumplimiento de la Ley 99 de 1993, la tarifa mínima de la tasa podría ser afectada por un factor regional, que elevaría su valor, cuando fuera necesario, para dar cumplimiento a una meta de calidad ambiental, relacionada con la conservación del recurso hídrico.

<sup>43</sup> De acuerdo con el Banco Mundial (1995), las elasticidades precio de la demanda del agua que fueron estimadas para la industria manufacturera colombiana, se encuentran dentro del rango de elasticidades calculado para los países en vías de desarrollo: -0.45 a -1.37.

análisis del consumo de agua tratada y reutilizada en el proceso de producción industrial.

También se recomienda estimar el valor marginal del agua a través de la construcción de una función de costo flexible, como la Trans Log. Esta función permite estimar la participación del costo del agua dentro del costo total de producción, y bajo el supuesto de retornos constantes a escala, podría ser comparable con la participación del valor del agua dentro del valor de la producción. Además, esta función permite estimar no sólo elasticidades precio propias sino cruzadas, lo que facilita determinar si el agua y los demás insumos utilizados por la industria manufacturera son sustitutos o complementarios en el proceso de producción . En algunos estudios internacionales, el agua aparece como sustituto de la energía, el trabajo y el capital (Renzetti, 2001), mientras que en otros, el agua resulta ser sustituto del trabajo y complemento del capital (Grebenstein, 1979).

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- Babin, F., C. Willis, y P. Allen. (1982). **Estimation of Substitution Possibilities between Water and Other Production Inputs**. American Journal of Agricultural Economics, 64, 1: 148 - 51.
- Baumol, W. y Oates, W. (1988). **The Theory of Environmental Policy**. Cambridge University Press: 159 – 176.
- Bernt, E. y Wood, D. (1975). **Technology, Prices, and the Derived Demand for Energy**. The Review of Economics and Statistics, 57, 1: 259 - 268.
- Christensen, L., Jorgeson, D., y Lau, L. (1973). **Transcendental Logarithmic Production Function Frontiers**. Review of Economics and Statistics, 55: 29 - 45.
- DeRooy, Y. (1974). **Price Responsiveness of the Industrial Demand for Water**. Water Resources Research, 10, 3: 403 - 406.
- Dupont, D. y Renzetti, S. (1998). **Water Use in the Canadian Food Processing Industry**. Canadian Journal of Agricultural Economics, 46, 1: 1 - 10.
- Dupont, D. y Renzetti, S. (2001). **The Role of Water in Manufacturing**. Environmental and Resource Economics, 18, 4: 411 - 32.
- Ferrero, A. (1994). **Valoración económica del agua**. En Análisis Económico y Gestión de Recursos Naturales. Madrid, Alianza Editorial: 221 - 247.
- García, J. (2001). **Valoración del Agua de Riego en Agricultura: el Caso del Arroz en los Departamentos de Tolima y Huila**. Trabajo de Grado para optar al título de Magíster en Economía del Medio Ambiente. Universidad de los Andes.
- Grebenstein, C. y Field, B. (1979). **Substituting for Water Inputs in U.S. Manufacturing**. Water Resources Research, 15, 2: 228 - 32.
- Greene, W. (1998). **Análisis Econométrico**. Tercera Edición. Prentice Hall: 531 - 611.
- Halvorsen, R. (1977). **Energy Substitution in U.S. Manufacturing**. The Review of Economics and Statistics, 59, 4: 381 - 388.
- Renzetti, S. (1988) **An Econometric Study of Industrial Water Demands in British Columbia, Canada**. Water Resources Research, 24, 10: 1569 - 75.



Renzetti, S. (1992). **Estimating the Structure of Industrial Water Demands: the Case of Canadian Manufacturing.** Land Economics, 68, 4: 396 - 404.

Vanegas, R. (2001). **Modelo General de Demanda de Agua.** Trabajo de grado para optar al título de Magíster en Economía y Desarrollo. Universidad Nacional de Colombia.

Wang, H. y Lall, S (1995). **Valuing Water for Chinese Industries: A Marginal Productivity Assessment.** World Bank.

World Bank (1995). **China: Regional Disparities,** BR No. 14496-CHA. Washington D.C.

## ANEXO 1

### MODELO TEORICO GENERAL DE LA FUNCION DE COSTOS TRANSLOG

Todos los estudios que utilizan una función de costo Trans Log para analizar las relaciones de sustitución entre insumos productivos en la industria, plantean el siguiente modelo teórico general.

Se asume que existe una función de producción agregada doblemente diferenciable que relaciona el flujo del producto bruto  $Y$  a los servicios de cuatro insumos: capital ( $K$ ), trabajo ( $L$ ), y todos los otros insumos intermedios ( $M$ ). Además se asume que la producción se caracteriza por rendimientos constantes a escala (RCA) y que cualquier cambio técnico afectando  $K$ ,  $L$ ,  $E$ ,  $M$  es Hicks-neutral. A tal función de producción le corresponde una función de costos, la cual refleja la tecnología de producción. En su forma general se escribe esta función de costo como  $G = G(Y, P_K, P_L, P_E, P_M)$ , donde  $G$  es el costo total, y  $P_K$ ,  $P_L$ ,  $P_E$  y  $P_M$  son los precios de los insumos  $K$ ,  $L$ ,  $E$  y  $M$  respectivamente.

Para propósitos de estimación se emplea una forma funcional específica para  $G$ . Se elige una forma Trans Log, entre otras formas funcionales flexibles<sup>44</sup>. Para el modelo KLEM, se utiliza entonces una función de costos con simetría y RCA impuestos así:

$$\begin{aligned} \ln G = & \ln \alpha_0 + \ln Y + \alpha_K \ln P_K + \alpha_L \ln P_L + \alpha_E \ln P_E + \alpha_M \ln P_M + 1/2 \gamma_{KK} (\ln P_K)^2 + \gamma_{KL} \ln P_K \ln P_L + \gamma_{KE} \ln P_K \ln P_E \\ & + \gamma_{KM} \ln P_K \ln P_M + 1/2 \gamma_{LL} (\ln P_L)^2 + \gamma_{LE} \ln P_L \ln P_E + \gamma_{LM} \ln P_L \ln P_M + 1/2 \gamma_{EE} (\ln P_E)^2 + \gamma_{EM} \ln P_E \ln P_M + 1/2 \gamma_{MM} \\ & (\ln P_M)^2 \quad (1) \end{aligned}$$

Homogeneidad lineal en los precios impone las siguientes restricciones sobre (1)

$$\alpha_K + \alpha_L + \alpha_E + \alpha_M = 1$$

---

<sup>44</sup> Otras funciones de costo flexible: Generalizada de Leontief y Generalizada de Cobb Douglas.

$$\begin{aligned}
\gamma_{KK} + \gamma_{KL} + \gamma_{KE} + \gamma_{KM} &= 0 \\
\gamma_{KL} + \gamma_{LL} + \gamma_{LE} + \gamma_{LM} &= 0 \\
\gamma_{KE} + \gamma_{LE} + \gamma_{EE} + \gamma_{EM} &= 0 \\
\gamma_{KM} + \gamma_{LM} + \gamma_{EM} + \gamma_{MM} &= 0
\end{aligned} \tag{2}$$

Asumiendo perfecta competencia en los mercados de los factores, se tratan los precios de los insumos como fijos. Dado el nivel de producto, las funciones de demanda del insumo que minimizan el costo son derivadas como sigue. Primero se diferencia logaritmicamente (1),

$$\frac{\partial \ln G}{\partial \ln P_i} = \frac{\partial G}{\partial P_i} \frac{P_i}{G} = \alpha_i + \sum_j \gamma_{ij} \ln P_j \quad i, j = K, L, E, M$$

Usando el lema de Shephard,

$$\frac{\partial \ln G}{\partial \ln P_i} = x_i \quad i = K, L, E, M$$

Se obtiene las ecuaciones de demanda de los insumos KLEM:

$$\begin{aligned}
M_K &= \frac{P_K K}{G} = \alpha_K + \gamma_{KK} \ln P_K + \gamma_{KL} \ln P_L + \gamma_{KE} \ln P_E + \gamma_{KM} \ln P_M \\
M_K &= \frac{P_L L}{G} = \alpha_L + \gamma_{KL} \ln P_K + \gamma_{LL} \ln P_L + \gamma_{LE} \ln P_E + \gamma_{LM} \ln P_M \\
M_K &= \frac{P_E E}{G} = \alpha_E + \gamma_{KE} \ln P_K + \gamma_{LE} \ln P_L + \gamma_{EE} \ln P_E + \gamma_{EM} \ln P_M \\
M_K &= \frac{P_M M}{G} = \alpha_M + \gamma_{KM} \ln P_K + \gamma_{LM} \ln P_L + \gamma_{EM} \ln P_E + \gamma_{MM} \ln P_M
\end{aligned} \tag{3}$$

Donde el costo total  $G = P_K K + P_L L + P_E E + P_M M$ . Las  $M_i$  son las participaciones del costo de los insumos en el costo total de producir  $Y$ .

Dupont y Renzetti (2001) estimaron el modelo KLEM, agregando dos facetas del uso de agua en la industria: entrada y recirculación. Para calcular el precio sombra del agua, se estimó una función de costo Trans Log donde el agua que entra se incluyó como un insumo fijo:  $C = C_F (P_K, P_L, P_E, P_M, q_W, P_R, Q, T)$ . En esta función,  $T$  indica una tendencia de tiempo como proxy del cambio tecnológico. Diferenciando la función de costos con respecto a la cantidad de agua que entra ( $q_W$ ), se produce el negativo del precio sombra del agua:  $-\rho_W = \rho_W (P_K, P_L, P_E, P_M, q_W, P_R, Q, T)$ . Si la firma está en equilibrio respecto a su factor fijo, entonces el negativo del precio sombra no diferirá significativamente del precio del factor:

$$\rho = \left( \alpha_W + \alpha_{WW} \ln q_W + \sum_h \alpha_{ih} \ln P_h + \beta_{QW} \ln Q + \psi_{WT} \ln T \right) \cdot \left( \frac{C_F}{q_W} \right)$$

Para estimar el modelo KLEM se asume que las desviaciones de las participaciones del costo de las derivadas logarítmicas de la función de costo Trans Log son el resultados de errores aleatorios en el comportamiento minimizador de costos; se adiciona a cada una de las ecuaciones en (3) un término de perturbación. Dado que las participaciones del costo siempre suman la unidad, la suma de las perturbaciones entre las cuatro ecuaciones es cero en cada observación. Esto implica que la matriz de covarianza de las perturbaciones es singular y no diagonal. Arbitrariamente se deja fuera la perturbación de la ecuación  $M_K$  y se especifica que el vector columna de perturbación  $\epsilon(t) = \{\epsilon_L(t), \epsilon_E(t), \epsilon_M(t)\}$ , independiente e idénticamente distribuido e manera normal con la media del vector igual a cero y matriz de covarianza no singular  $\Omega$ ,  $t = 1 \dots T$ .

Las elasticidades parciales de sustitución (AES) de Uzawa, para una función de costos Trans Log, se obtienen así (Bernt, 1975):

$$\sigma = \frac{GG_{ij}}{G_i G_j} \quad \sigma_i = \frac{\partial G}{\partial P_i}, \quad \sigma_{ij} = \frac{\partial^2 G}{\partial P_i \partial P_j} \quad \sigma_{ij} = \sigma_{ji}.$$

$$\sigma_{ii} = \frac{M_i^2 - M_i + \gamma_{ii}}{M_i} \quad \sigma_{ij} = \frac{M_i M_j + \gamma_{ij}}{M_i} \quad i, j = K, L, E, M.$$

Estas AES no están restringidas a ser constantes pues podrían variar con los valores de las participaciones del costo. Allen (1938) muestra que las AES están analíticamente relacionadas con las elasticidades precio de la demanda para factores de producción

$$E_{ij} = M_j \sigma_{ij} \quad \text{donde ni } \sigma_{ij} = \sigma_{ji}, \text{ y en general } E_{ij} \neq E_{ji}.$$

Un supuesto grande que se maneja para estimar este modelo de ecuaciones aparentemente no relacionadas es que a nivel de una firma individual podría ser razonable asumir que la oferta de los insumos es perfectamente elástica, y por lo tanto los precios de los insumos se toman como fijos. Pero a un nivel industrial más agregado, es probable que los precios de los insumos sean menos exógenos y podría ser inapropiado asumir que los regresores en (3) no están correlacionados con las perturbaciones.

Uno de los métodos de estimación más utilizado ha sido el de variables instrumentales: se regresa cada uno de los regresores en (3) sobre un conjunto de variables consideradas exógenas al sector industrial, y se emplean los valores estimados de esta “primera etapa” de regresiones como instrumentos en lugar de los regresores en (3)<sup>45</sup>. Luego se emplea un estimador iterativo de mínimos cuadrados de dos o tres etapas, para estimar las ecuaciones remanentes.

---

<sup>45</sup> Dado que se impone la homogeneidad lineal en los precios (2), se puede describir los regresores en (3) como logaritmos de los radios de los precios. Se forman valores de los instrumentos como valores estimados de las regresiones de  $\ln(P_L/P_K)$ ,  $\ln(P_E/P_K)$  y  $\ln(P_M/P_K)$  sobre las variables exógenas.

## ANEXO 2

### ESTIMACIÓN DEL VALOR DE LA PRODUCTIVIDAD MARGINAL DEL AGUA FUNCION DE PRODUCCIÓN COBB DOUGLAS

SECTOR	CIU 4	SECTOR	VPM <sub>gw</sub> (\$/m <sup>3</sup> /mes)
Alimentos	3119	Elaboración de cacao y productos de chocolate.	17,270
	3116	Productos de molinería.	13,812
	3111	Matanza de ganado; preparación y conservación de carnes	9,885
	3117	Productos de panadería.	6,547
	3112	Fabricación de productos lácteos.	4,759
	3113	Envasado y conservación de frutas, legumbres y vegetales.	1,374
	3118	Ingenios y Refinerías de Azúcar	471
Otros Alimentos	3122	Elaboración de alimentos preparados para animales.	19,678
	3123	Elaboración de compuestos dietéticos y otros.	13,548
	3121	Elaboración de productos alimenticios diversos	5,287
Bebidas	3133	Bebidas malteadas y malta.	3,399
	3131	Destilación, rectificación y mezcla de bebidas espirituosas.	1,799
	3132	Industrias vinícolas.	1,218
	3134	Fabricación de bebidas no alcohólicas y gaseosas	489
Tabaco	3140	Preparación de tabaco y fabricación de sus productos.	372,312
Textiles	3213	Fabricación de tejidos de punto.	2,435
	3216	Tejidos y manufacturas de algodón y sus mezclas.	740
	3211	Hilado y acabado de textiles	202
Prendas de Vestir	3221	Fabricación de prendas de vestir.	1,931
Cuero	3231	Curtidurías y talleres de acabado.	11,383
Papel	3419	Fabricación de artículos de pulpa, papel y cartón.	541
	3411	Fabricación de pulpa de madera, papel y cartón	392
Sustancias Químicas	3512	Fabricación de abonos y plaguicidas.	77,976
	3511	Fabricación de sustancias químicas industriales básicas.	1,080
	3513	Fabricación de resinas sintéticas	450
Productos Químicos	3522	Fabricación de productos farmacéuticos y medicamentos.	9,099
	3521	Fabricación de pinturas, barnices y lacas.	4,879
	3528	Fabricación de diversos productos químicos.	1,561
	3523	Fabricación de jabones y preparados de limpieza; cosméticos.	1,390
	3529	Otros productos químicos	560
Derivados del Petróleo	3540	Fabricación de productos diversos derivados del petróleo.	6,823
Productos Plásticos	3560	Fabricación de productos plásticos.	3'486,834
Minerales no Metálicos	3691	Fabricación de productos de arcilla para la construcción.	4,332
	3692	Fabricación de cemento, cal y yeso.	744
	3699	Fabricación de productos minerales no metálicos.	692
Hierro y Acero	3710	Industrias básicas de hierro y acero.	163
Productos Metálicos	3813	Fabricación de elementos estructurales metálicos.	18,089
Material de Transporte	3844	Fabricación de motocicletas y bicicletas.	7,890
Material Científico	3851	Fabricación de material profesional y científico.	6,788
Otras Manufacturas	3904	Industrias manufactureras diversas.	12,123

### ANEXO 3

#### TARIFA MEDIA DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO PARA 20/M<sup>3</sup>/MES

Empresas de Servicios Públicos (ESP)	Industria y Comercio
<b>Grupo 1 (6) Promedio</b>	<b>3,145</b>
Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá – EAAB	4,003
Empresas Municipales de Cali – EMCALI	3,424
Empresas Públicas de Medellín – EPM	2,876
Sociedad de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Barranquilla - TRIPLE A	2,666
Aguas de Cartagena - ACUACAR	2,967
Empresa Industrial y Comercial de Cúcuta - E.I.C.E.	2,937
<b>Grupo 2 (15) Promedio</b>	<b>1,744</b>
Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Pereira	1,771
Empresa Ibaguereña de Acueducto y Alcantarillado	943
Compañía de Acueducto y Alcantarillado Metropolitano de Santa Marta - METROAGUA	2,828
Aguas de Manizales	1,689
Empresas Públicas de Neiva	1,745
Empresas Públicas de Armenia	1,277
Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Villavicencio - EAAV	2,409
Empresa de Servicios Públicos de Valledupar - EMDUPAR	1,030
Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Sincelejo - EMPAS	1,975
ACUAVIVA S.A. Palmira	1,610
Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Popayán	993
Empresas Municipales de Cartago	2,436
Empresa de Aguas de Girardot, Ricaurte y la Región - ACUAGYR	1,577
Compañía de Servicios Públicos de Sogamoso	1,753
Empresa de Servicios Públicos de Quibdó	888
<b>Grupo 3 (4) Promedio</b>	<b>1,175</b>
<b>Grupo 4 (10) Promedio</b>	<b>1,802</b>
<b>Grupo 5 (31) Promedio</b>	<b>2,083</b>
<b>Total muestra de empresas (66)</b>	<b>1,947</b>

Fuente: Supercifras No. 6 de 2002. Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios.

Nota: Grupo (1) contiene ESP cuya población a servir es de más de 600,000 habitantes; Grupo (2) entre 100,000 y 600,000 habitantes; Grupo (3) entre 50,000 y 100,000 habitantes; Grupo (4) entre 25,000 y 50,000 habitantes; Grupo (5) menor a 25,000 habitantes; La población a servir corresponde a todos los habitantes localizados en las cabeceras municipales de los municipios servidos en forma directa

## ANEXO 4

### LA ACTIVIDAD MANUFACTURERA EN LAS PRINCIPALES AREAS METROPOLITANAS DEL PAIS

Área Metropolitana	Sector Industrial									
	31	32	33	34	35	36	37	38	39	Total
Bogotá-Cundinamarca	35%	32%	37%	48%	43%	28%	44%	48%	31%	39%
Medellín-Valle de Aburrá	14%	35%	21%	17%	23%	32%	20%	21%	15%	23%
Cali-Yumbo	22%	13%	13%	20%	17%	17%	15%	15%	11%	16%
Bucaramanga-Girón-Floridablanca	11%	9%	8%	3%	3%	6%	2%	4%	9%	7%
Barranquilla-Soledad	8%	4%	10%	5%	9%	6%	4%	5%	12%	7%
Manizales-Villamaría	4%	1%	3%	3%	2%	5%	6%	4%	12%	4%
Pereira-Santa Rosa de Cabal-Dosquebradas	3%	5%	4%	3%	1%	4%	2%	2%	2%	3%
Cartagena	3%	0%	4%	2%	3%	2%	7%	1%	7%	2%

Fuente: Cálculos del Autor con base en la Encuesta Anual Manufacturera. DANE. 1999.

### VOLUMEN DE AGUA FACTURADA POR LOS USUARIOS INDUSTRIALES DE LA EMPRESA DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE BOGOTA - EAAB

Año	No. Cuentas Promedio	Volumen Facturado (m3/año)
1996	5661	28'612,312
1997	5674	22'908,719
1998	5747	20'780,559
1999	5494	19'328,883
2000	5538	18'116,568
2001	5642	15'493,420

Fuente: EAAB. División de Estudios Económicos