

Consumo residencial de agua en el sistema de ciudades de Colombia

Harvy Vivas*

Resumen

Este trabajo identifica y estima los principales determinantes del consumo de agua generado por la red de ciudades en el sistema urbano de Colombia. El modelo propuesto corresponde a la versión agregada en el espacio renta-consumo de una función Stone-Geary que permite estimar las diferencias de valoración e intensidad de las preferencias por el uso del recurso. Los resultados obtenidos muestran una fuerte relación entre el consumo municipal de agua y la escala de ingresos urbanos. Las tasas de preferencias por el recurso resultaron altamente significativas y muestran un patrón claramente diferenciado entre las agrupaciones de ciudades de la muestra.

Abstract

This paper estimates the main determinants of water consumption generated by the network of cities in Colombia. The model corresponds to the aggregate version in the rent-consumption space of a Stone-Geary function that allows estimation of the differences in valuation and intensity of the preferences for the use of the resource. Results show a strong relationship between municipal consumption of water and the scale of urban income. The rates of preferences for the resource were highly significant and they show a clearly differentiated pattern.

Palabras Clave: Consumo de agua, agregación en consumo, sistema urbano, impactos diferenciales

Clasificación JEL: Q25, Q28, Q31.

* El investigador es profesor y miembro del grupo de investigación en economía ambiental de la Facultad de Ciencias Sociales y Económicas de la Universidad del Valle. El presente texto forma parte del proyecto de investigación: "Elaboración de una regionalización de los municipios que conforman la Cuenca de los Ríos Magdalena y Cauca y elementos para el ordenamiento del Territorio", CIDES, en coordinación con la Unidad de Asentamientos Humanos del IDEAM, 2001. El autor agradece a Vincent Alcántara, profesor titular de la Cátedra de Economía Ambiental y a Iván Muñiz de la cátedra de Economía Urbana del Programa de Doctorado en Economía Aplicada, Universidad Autónoma de Barcelona, por sus valiosos comentarios a las versiones previas de este artículo.

Diversos estudios de economía ambiental realizados recientemente muestran la substancial variación en los consumos de agua por usos, países y regiones. De acuerdo con las cifras de Renzetti, (2002) en una muestra de 25 países, la distribución de la demanda agregada por sectores permite apreciar que las actividades agrícolas utilizan el 65% de la disponibilidad efectiva del recurso, las actividades industriales y la generación de energía el 25% y el uso doméstico aproximadamente un 10%, equivalente a $500\text{Km}^3/\text{año}$. Durante el siglo XX la población mundial se multiplicó por un factor de 3.5¹ y el uso municipal agregado de agua se multiplicó por un factor de 10, pasando de $500\text{Km}^3/\text{año}$ a $5000\text{Km}^3/\text{año}$.

De acuerdo con estos datos, además de los desequilibrios crecientes en los balances hídricos por países y regiones, es evidente la enorme magnitud de los problemas de escasez que tendrán que enfrentar algunas regiones en pocos años. Este hecho se agudiza aún más si observamos los reportes de distribución de la población mundial en la que aproximadamente dos terceras partes se concentra en 62 países con un consumo promedio para actividades domésticas que ya superaba en el año 1990 los 50 litros *per capita* /día (Renzetti, 2000: 10). Lo anterior pone en evidencia el efecto de presión de carga que ejercen las actividades humanas y su incidencia en la disponibilidad del recurso y el bienestar de las generaciones futuras.²

Este artículo identifica y estima los principales determinantes del consumo de agua generado por la red de ciudades en el sistema urbano de Colombia. El modelo propuesto corresponde a la versión agregada en el espacio renta-consumo de una función Stone-Geary y una variante de la forma de Gorman. La micro-fundamentación inicia con la especificación de funciones de utilidad de los hogares con tres tipos de bienes: agua, un bien privado compuesto y un bien público. La función utilizada garantiza el cumplimiento de la condición de integrabilidad de las funciones de demanda, el teorema de Pearce y la condición de agregación de Engel.

El caso de aplicación utiliza datos de consumo residencial de agua para una muestra de 190 ciudades de Colombia. El estudio tiene en cuenta la

¹ Desde 1.65 miles de millones hasta 6.06 miles de millones, (Renzetti, 2002, p. 10) según cifras de Bisbas, (1997).

² Desde la década de los cincuenta la literatura sobre desarrollo enfatizaba en la noción de eficiencia económica como el sustento básico del crecimiento y progreso económico, no obstante, a partir de la década de los ochenta emerge una nueva concepción del desarrollo que introduce un cambio de paradigma hacia una concepción de crecimiento equitativo donde se distinguen objetivos sociales de mejor distribución del ingreso y compromisos *intra-generacionales e inter-generacionales* en el manejo de los recursos. Este cambio, a su vez, introdujo importantes retos en la concepción del bienestar como la combinación de aspectos económicos, socio-demográficos y ambientales.

jerarquización funcional de las ciudades de mayor relevancia, así como la exploración de algunas variables sociodemográficas que pueden incidir en el uso del recurso.

El modelo econométrico estimado utiliza información transversal para el año 2000 de los municipios de la muestra localizados a lo largo de la Cuenca de los Ríos Magdalena y Cauca. Estos municipios presentan diferentes tamaños y funcionalidad urbana que permite captar los impactos diferenciales de acuerdo con su posición en el ranking de funcionalidad urbana. Los municipios considerados se agrupan en cuatro categorías: (a) capital nacional, capitales departamentales y epicentros regionales (b) Centros sub-regionales mayores (c) Centros sub-regionales intermedios y (d) Ciudades pequeñas.

Literatura relacionada

Existe una larga tradición de estudios que se ocupan de los determinantes de la demanda residencial de agua, la mayoría de los cuales considera el efecto que tiene la estructura de precios en la cantidad demandada. Desde el trabajo pionero de Howe y Linaweaver, (1967) se identificaba el precio, el ingreso, el clima y algunas variables sociodemográficas (edad, tamaño de los hogares) como sus principales determinantes. El enfoque convencional aproxima estimaciones de la elasticidad precio de la demanda a partir del modelo estándar del consumidor.

No obstante, una dificultad que se deriva de las diversas especificaciones es la existencia de precios variables con estructuras de tarifas en bloques decrecientes que obliga, en los trabajos econométricos que aproximan funciones de demanda con datos de panel, la utilización de sistemas de precios en bloques decrecientes o en algunos casos mediante la introducción de los precios medios.

La discusión es amplia y para algunos autores el precio "marginal" genera estimaciones sesgadas e inconsistentes. Para Renzetti, (2002: 23) la existencia de precios marginales diferentes indica la determinación simultánea con las cantidades consumidas del recurso, generando así sesgos de simultaneidad y problemas de especificación.³

Los avances en la estimación se dirigen, por un lado, a calibrar funciones que incluyen la variable precio y sus diferencias, (Shefter y Davis, 1985), mientras que otras investigaciones postulan modelos de precios en bloques decrecientes y exploran el impacto de los valores marginales y medios en las estimaciones. El trabajo de Saleth y Dinar, (1997) sostiene que la inclusión de

³ Los sistemas de tarifas en bloques con cuota fija implican la endogeneidad de los precios, de manera simultánea con los niveles de consumo. Por tal razón la estimación con precios marginales o precios medios ineludiblemente genera algún tipo de inconsistencia en las estimaciones con técnicas tradicionales.

la variable diferencia no refleja los impactos totales de los precios intra-marginales y puede también generar problemas de simultaneidad. La discusión está todavía abierta y por tal razón muchas investigaciones prefieren utilizar funciones de demanda con la especificación tradicional de precios de Taylor, (1975); Nordin, (1976)⁴

Este artículo no enfrenta en principio esta dificultad debido a que su interés reside en estimar una función en el *espacio-renta consumo* que se deriva de la especificación de una función de demanda agregada Stone-Geary que cumple con la condición de agregación de Engel. Adicionalmente, debido a que la estimación se hace con datos transversales y pretende captar los impactos diferenciales sobre los niveles de consumo agregado por ciudades, la especificación de precios no es en principio relevante para nuestro problema. Llama la atención la escasez de literatura en este campo.

La mayoría de investigaciones que aproximan información agregada presentan estimaciones de funciones de demanda que magnifican las dificultades de la estructura de precios utilizada aún más que en el caso de las investigaciones que utilizan micro-datos.⁵ En relación con el tipo de datos utilizados, algunos modelos utilizan información de sección cruzada, paneles completos y en otros casos se trabaja con datos agregados.

Solamente en los últimos años se dispone de bases completas con información de hogares, consumos de agua y precios para algunos países. Entre los trabajos que cabe destacar está el de Espey, Espey y Shaw, (1997) que afirman la estabilidad que tienen las diversas estimaciones de elasticidades cuando se trabaja con datos transversales en comparación con aquellos que utilizan series de tiempo.

Las variables utilizadas en diversos estudios, además de los precios, incluyen en las estimaciones de la demanda características económicas y socio-demográficas de los hogares: ingreso, población, densidades residenciales, clima, variables de estacionalidad (Espey, Espey y Shaw, 1997). Otros estudios introducen además, variables como el tamaño y composición de los hogares, así como algunas medidas de escala y atributos de las viviendas (tamaño de los jardines, áreas de recreación, etc.).

⁴ Taylor sugiere la utilización de precios medios y marginales en la ecuación de demanda con el propósito de contabilizar las diferencias en los bloques intra-marginales de precios y Nordin propone la inclusión de variables en diferencias.

⁵ Renzetti, (2002) señala la creciente utilización de técnicas de estimación sofisticadas con micro-datos. Trabajos como el de Pint, (1999) estiman un modelo de efectos fijos con observaciones de hogares. Para el caso español, en la revisión de la literatura con micro-datos, se identifican los trabajos de Arbués, *et. al.* (1998) y el de Martínez-Espineira, (2000) que utiliza micro-datos con periodicidad mensual. El trabajo de García, Valiñas (s.a), se ocupa de la identificación de una estructura óptima de tarifas para el sector doméstico, industrial y comercial en tres municipios españoles.

Investigaciones como la de Lyman, (1992) tienen en cuenta además, un vector de variables asociadas a la composición de bienes de capital de los hogares: valor de las viviendas, número de baños, sistema de calefacción, vegetación (Renzetti, 2002, p.31).

Consumo agregado: El modelo propuesto

La economía está conformada por un sistema de ciudades que se distribuyen de manera homogénea a través de un espacio geográfico con una fuente de abastecimiento de agua. Los hogares de cada ciudad se describen mediante una función de utilidad del tipo Stone-Geary en cuatro argumentos: el bien agua (a), un bien privado compuesto (z) a la Marshall-Hicks y un bien público (g)⁶. La función de utilidad toma la forma específica:

$$U_{ic}(a, z, g; \alpha) = \alpha_c \ln(a - \phi_a) + (1 - \alpha_c) \ln(z - \phi_z) + \gamma_c \ln(g - \phi_g) \quad (1)$$

Para todos los individuos i en la ciudad c del sistema urbano se definen los parámetros α_c , $(1 - \alpha_c)$ y γ_c de intensidad en las preferencias por el respectivo bien; ϕ_i corresponde a los gastos mínimos, suponiendo que los tres bienes son necesarios y requieren de un consumo de supervivencia.

Dada la restricción presupuestaria $p_a + z \leq M$, tomando el bien privado compuesto como numerario, el consumidor realiza una elección única y consigue un cierto nivel de utilidad que se expresa en su función indirecta de utilidad. El programa de optimización permite obtener la ecuación de demanda para el bien agua:

$$a_c^* = \frac{\alpha_c (M - p_a \phi_a - \phi_z)}{p_a} + \phi_a \quad (2)$$

Esta última expresión hace parte del Sistema Lineal de Gasto (SLG) del consumidor i , de tal modo que la expresión entre paréntesis corresponde al remanente de gasto una vez cubierto los consumos mínimos necesarios de los demás bienes. Por tal razón el parámetro representa el gasto marginal en el bien, asociado a una unidad monetaria del gasto total (tasa marginal del presupuesto⁷) o también puede interpretarse como la fracción constante de lo que queda de M después de haber comprado los niveles de subsistencia de todos los bienes.

$$p_a a_c^* = \alpha_c (M - p_a \phi_a - \phi_z) + p_a \phi_a \quad (3)$$

⁶ El bien público representa las comodidades o "amenities" suministradas a precio cero, para efectos de simplificación y sin ninguna incidencia en la solución obtenida.

⁷ Ver Dixon, P., Bowles and Kendrick, (1983) para una buena exposición de los Sistemas Lineales de Gasto, (p. 106). También en Green, John, (1971, pp. 147-157).

Obsérvese en la expresión (2) que al multiplicar por p , el segundo componente de la derecha indica el gasto extra, de tal modo que el gasto en agua es proporcional a este último en (3). Así, la demanda de agua es creciente en α (gusto) y $(\partial a / \partial \alpha) > 0$. De otra parte, si $\alpha = 0$, entonces la demanda de agua es ϕ_a ; si $\alpha = 1$ el hogar gasta el remanente en agua.⁸ La elasticidad ingreso por agua depende de la intensidad de las preferencias:

$$\epsilon_{aM} = \frac{\partial a^*}{\partial M} \frac{M}{a^*} \geq 1 \quad \text{si} \quad \alpha_c \leq \frac{p_a \phi}{p_a \phi_a + \phi_z} \quad (4)$$

Agregación en el consumo

Una de las propiedades fundamentales de las funciones Stone-Geary es su consistencia en la agregación, de tal modo que la función compacta de consumo para la ciudad c , puede expresarse como la suma de las decisiones individuales de los hogares.

Si escribimos los consumos de supervivencia agregados como la suma de los

consumos individuales: $S_i = \sum_{i=1}^N \phi_{ia}$ y las rentas agregadas como $M = \sum_{i=1}^N M_i$

obtenemos las funciones agregadas de demanda:

$$A \equiv \sum_{i=1}^N a_{ic} = S_c + \frac{\alpha_c [M - p_a S_a - S_z]}{p_a} \quad (5)$$

Que proviene de una función de utilidad agregada para los n hogares con la siguiente estructura:

$$\prod_{i=1}^n u_{ci} = (A - S_{ac}) \cdot (Z - S_{zc}) \quad (6)$$

Una propiedad importante es que las cantidades de supervivencia individuales no necesariamente tienen que ser las mismas para todos los individuos u hogares, sin embargo, la restricción se establece en los coeficientes α que deben ser los mismos en el interior de cada grupo. Otra propiedad favorable de la función de demanda es el cumplimiento de la condición de integrabilidad que exige simetría en los efectos cruzados. Adicionalmente cumple con el teorema de Pearce que establece funciones Renta-Consumo y distribuciones de la renta en proporciones constantes y con la condición de agregación de Engel que se asocia a la existencia de ecuaciones lineales de Engel en el espacio renta-consumo.

⁸ Caso hipotético si tenemos en cuenta que hay grados de saturación en el consumo y que el hogar requiere consumos mínimos de los demás bienes.

De acuerdo con la expresión (5) obtenemos la forma de la ecuación en el espacio-renta consumo a partir de:

$$\frac{dAM}{dM} = \frac{\alpha_c M}{p_a S_a + \alpha_c (M - p_a S_a - S_z)} \quad (7)$$

Separamos e integramos para obtener la ecuación que relaciona el consumo de agua agregado (A) en m³ de la ciudad *c* en función de la renta agregada (M):

$$\int \frac{dA}{A} = \int \frac{\alpha_c}{Mp_a S_a + M\alpha_c (M - p_a S_a - S_z)} dM \quad (8)$$

Finalmente llegamos a la ecuación:

$$A_c = \delta_c^* + \alpha_c M \quad (9)$$

De tal modo que $\delta_c^* = [p_a S_a (1 - \alpha_c) - \alpha_c S_z]$ indica la presencia de efectos fijos para cada agrupación.

Un resultado interesante es el parámetro de la renta agregada que corresponde precisamente al gasto marginal en el bien por una unidad monetaria del gasto total (tasa marginal del presupuesto), captando así en el análisis de todo el sistema de ciudades, las diferencias en la valoración o intensidad del gusto por el bien agua. Este resultado sugiere que las diferencias o impactos diferenciales entre ciudades revelan el sesgo o preferencia por el bien agua y en consecuencia, en el agregado indica el efecto de presión de carga sobre el sistema físico natural por la vía de la intensidad de estas preferencias.

En razón de que la provisión del recurso se hace a través de las corrientes de agua de la cuenca, las diferencias de presión que ejercen las ciudades en el consumo indirectamente sugieren --desde una perspectiva pigouviana-- que las ciudades que ejerzan la mayor presión deberían pagar una prima o retribuir a aquellos con menor impacto sobre el subsistema físico-natural.

Especificación econométrica

El modelo es consistente con la condición macroeconómica de Gorman y puede ampliarse para considerar los atributos socio-demográficos de la población o algunos indicadores que capten las diferencias en comodidades o "amenities" de cada ciudad.

Podríamos aproximarnos a la estimación de estos impactos

diferenciales mediante un modelo ampliado que incluya de manera explícita variables como el tamaño promedio de los hogares, la temperatura, la tasa de urbanización y los niveles de precipitación o variables de funcionalidad urbana.

Si definimos un vector de atributos socio-demográficos (Q) y un conjunto de variables dicotómicas de tamaño o funcionalidad urbana (D_c) el modelo general queda:

$$A_c = f(M_c, Q_c, D_c) \quad (10)$$

El modelo especificado establece la relación funcional entre consumo de agua (A), el tamaño del hogar (TH_c), los ingresos (M), la tasa de urbanización ($TURB$), la temperatura (T) y el tamaño funcional a través de variables dicotómicas que intentan captar los impactos diferenciales sobre el consumo y las preferencias. Así, una especificación del modelo en valores medios de consumo de los hogares y rentas medias toma la siguiente forma:

$$a_c = f(m_c, TH_c, T_c, TU_c; \mu_c) \quad (11)$$

El subíndice representa el municipio y μ el término estocástico de error del modelo.

Las estimaciones se hacen en dos niveles: un nivel agregado con la variable renta y por agrupaciones, luego se estima el modelo de consumo medio por hogar con efectos between y within según las jerarquías funcionales de los municipios.

$$\ln(a_c) = \phi_c + \pi_c \ln(m)_c + \beta_{1c} TH_c + \beta_{2c} T_c + \varepsilon_c + \mu_c \quad (12)$$

La especificación de este último asume la inexistencia de correlación entre el término estocástico de error y el conjunto de regresores, de tal modo que los efectos de cada orden de la jerarquía son aleatorios desde la perspectiva de los modelos lineales jerárquicos.⁹

Datos y Resultados

Las estimaciones se realizaron con datos de consumo de agua en miles de m^3 proporcionados en el Estudio Nacional del Agua del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales y el conjunto de variables socio-demográficas proporcionadas por las Encuestas de Hogares y la muestra de ingresos y gastos de Colombia.

⁹ Una excelente referencia para esta familia de modelos econométricos en Raudenbush, S. Y Anthony Bryk, (2002)

Las estimaciones se realizaron con una muestra representativa de 190 municipios, los cuales concentran más del 80% de la población total del país y cerca del 85% de la población urbana, incluyendo el sistema primario de ciudades de mayor jerarquía funcional (capitales departamentales, epicentros regionales) agrupadas según el índice de tamaño funcional elaborado por el Ministerio de Desarrollo.¹⁰

Los 714 municipios de la Macro-cuenca de los Ríos Magdalena y Cauca permiten definir a su vez, de acuerdo con un estudio reciente¹¹, 25 sub-regiones de acuerdo con criterios de epicentrismo, aglomeración industrial, comercial y de servicios, áreas polarizantes, campos de desplazamiento habitual y áreas económicas funcionales.

El sistema territorial presenta una estructura jerarquizada en la que se identifica una ciudad primacial (Santa fe de Bogotá, capital del país), epicentros regionales como Cali, Medellín, Barranquilla y Bucaramanga, epicentros sub-regionales mayores con algunos patrones de especialización y funciones terciarias, y el resto de municipios se distribuyen de acuerdo con el índice acumulado urbano. De este modo, la estructura regional permite apreciar una distribución polarizada que sintetiza la tensión entre fuerzas de aglomeración y de dispersión en un sistema jerárquico de ciudades.

¹⁰ La regionalización nodal que identificó los subsistemas urbanos o redes de ciudades existentes en Colombia se basó en la tecnología de los sistemas de información geográfica (SIG-SPANS) para la integración y complementación del Sistema de Información Urbana (SIU) del proyecto COL93/001 del PNUD-Viceministerio de Desarrollo Urbano, Vivienda y Agua Potable. El resultado fue la *Jerarquización Funcional* mediante un ordenamiento basado en la identificación de 18 variables que definieron los órdenes funcionales o tamaños relativos de las ciudades del país de acuerdo con un índice acumulado urbano. Esta clasificación es la que se toma en la presente investigación, agregando los órdenes de la jerarquía en cuatro categorías: (a) capital nacional, capitales departamentales y epicentros regionales (b) Centros sub-regionales mayores (c) Centros sub-regionales intermedios y (d) Ciudades pequeñas.

¹¹ Centro de Investigaciones Socioeconómicas (CIDSE-Universidad del Valle) y el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM-Ministerio del Medio Ambiente), "Elaboración de una Regionalización de los municipios que conforman la Cuenca de los Ríos Cauca y Magdalena y elementos para el ordenamiento del territorio", 2001, Cali, Colombia.

Oferta y demanda hídrica

La disponibilidad del recurso, de acuerdo con los datos de rendimientos hídricos por vertientes hidrográficas¹² del país, muestran que los caudales de escorrentía superficiales son mayores en la zona del océano pacífico colombiano,³ mientras que la cuenca Magdalena - Cauca, donde reside aproximadamente el 85% de la población urbana del país y se localiza la mayor parte de la actividad económica, cuenta únicamente con un rendimiento promedio de 27 l/s/km² (litros por segundo y Km²) con valores máximos en su parte media de 45 l/s/km² y mínimos en su parte baja de 14 l/s/km² en la cuenca del San Jorge y de 30 l/s/km² en la cuenca del río Cesar en el norte del país.

La distribución espacial de la población y la consolidación de asentamientos urbanos incide directamente en la disponibilidad actual y potencial del recurso. La cuenca de los Ríos Magdalena y Cauca ocupa 274.000 km² (24.85 de la superficie total del país) aporta el 10,6% de la oferta hídrica con la concentración del 85% de la población urbana y el conjunto de actividades económicas que generan el 85% del PIB.

En las últimas décadas se observa un creciente deterioro de la calidad de la cuenca en su conjunto por los efectos contaminantes de las localizaciones residenciales y de la actividad económica.¹⁴ La demanda del recurso en los ámbitos urbanos representaba en el año 1996 el 89.7% y en el 2000 aumentó al 91.5% para usos domésticos. El agregado municipal, incluyendo las actividades rurales, muestra una participación para el año 2000 del 34.2%, mientras que las actividades agrícolas, pecuarias y de vivienda rural superan la cifra del 55% tal como se resume en la tabla 1.

¹² Ministerio del Medio Ambiente, (2000). Informe Nacional sobre la Gestión del Agua en Colombia: Recursos hídricos, agua potable y saneamiento, Santa fe de Bogotá.

¹³ Valores promedios superiores a los 100 litros/s/km², con cuencas como la del San Juan con 163 l/s/km² y la del Micay con 140 l/s/km²; en la costa Atlántica estos rendimientos varían entre 1 l/s/km² en la alta Guajira y 127 l/s/km² en la cuenca del río Atrato, con rendimientos del orden de 26 l/s/km² para el río Sinú y 10 l/s/km² para las cuencas del costado occidental de la Sierra Nevada de Santa Marta.

¹⁴ En promedio se descargan cerca de cuatro millones y medio de metros cúbicos de aguas residuales, 90% de las cuales corresponde a aguas residuales domésticas e industriales.

Oferta y demanda hídrica

La disponibilidad del recurso, de acuerdo con los datos de rendimientos hídricos por vertientes hidrográficas¹² del país, muestran que los caudales de escorrentía superficiales son mayores en la zona del océano pacífico colombiano,³ mientras que la cuenca Magdalena - Cauca, donde reside aproximadamente el 85% de la población urbana del país y se localiza la mayor parte de la actividad económica, cuenta únicamente con un rendimiento promedio de 27 l/s/km² (litros por segundo y Km²) con valores máximos en su parte media de 45 l/s/km² y mínimos en su parte baja de 14 l/s/km² en la cuenca del San Jorge y de 30 l/s/km² en la cuenca del río Cesar en el norte del país.

La distribución espacial de la población y la consolidación de asentamientos urbanos incide directamente en la disponibilidad actual y potencial del recurso. La cuenca de los Ríos Magdalena y Cauca ocupa 274.000 km² (24.85 de la superficie total del país) aporta el 10,6% de la oferta hídrica con la concentración del 85% de la población urbana y el conjunto de actividades económicas que generan el 85% del PIB.

En las últimas décadas se observa un creciente deterioro de la calidad de la cuenca en su conjunto por los efectos contaminantes de las localizaciones residenciales y de la actividad económica.¹⁴ La demanda del recurso en los ámbitos urbanos representaba en el año 1996 el 89.7% y en el 2000 aumentó al 91.5% para usos domésticos. El agregado municipal, incluyendo las actividades rurales, muestra una participación para el año 2000 del 34.2%, mientras que las actividades agrícolas, pecuarias y de vivienda rural superan la cifra del 55% tal como se resume en la tabla 1.

¹² Ministerio del Medio Ambiente, (2000). Informe Nacional sobre la Gestión del Agua en Colombia: Recursos hídricos, agua potable y saneamiento, Santa fe de Bogotá.

¹³ Valores promedios superiores a los 100 litros/s/km², con cuencas como la del San Juan con 163 l/s/km² y la del Micay con 140 l/s/km²; en la costa Atlántica estos rendimientos varían entre 1 l/s/km² en la alta Guajira y 127 l/s/km² en la cuenca del río Atrato, con rendimientos del orden de 26 l/s/km² para el río Sinú y 10 l/s/km² para las cuencas del costado occidental de la Sierra Nevada de Santa Marta.

¹⁴ En promedio se descargan cerca de cuatro millones y medio de metros cúbicos de aguas residuales, 90% de las cuales corresponde a aguas residuales domésticas e industriales.

TABLA 1
COLOMBIA: DEMANDA DE AGUA EN LOS
AÑOS 1996 Y 2000 EN MILES DE M³

DEMANDA	Urbana (D1)				Municipal (D2)			
	Miles de M3		Miles de M3		Miles de M3		Miles de M3	
	1996	%	2000	%	1996	%	2000	%
(DVU) Vivienda Urbana	1.580.436	89.7	1.867.650	91.5	1.580.436	27.3	1.867.650	34.2
(DVR) Vivienda Rural					439.435	7.6	534.368	9.8
(DP) Pecuniaria					509.336	8.8	524.125	9.6
(DRP) Riego Pequeña					353.209	6.1	354.248	6.5
(DS) Servicios	60.401	3.4	64.678	3.2	60.401	1.0	64.678	1.2
(DIU9) Industria Urbana	121.223	6.9	109.558	5.4	121.223	2.1	109.558	2.0
(DRG) Gran Irrigación					2.446.017	42.3	1.757.771	32.2
(DIG) Gran Industria					275.708	4.8	249.176	4.6
Demanda Total	1.762.060	100.0	2.041.886	100.0	5.785.765	100.0	5.461.574	100.0

Fuente: instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM- Ministerio del Medio Ambiente

Estudio Nacional del Agua, Santa fe de Bogotá

D1: Demanda urbana para uso residencial, servicios e industria urbana

D2: Demanda municipal (urbana y rural) para uso residencial grandes consumidores

Estimaciones econométricas

Las estimaciones econométricas corresponden al modelo deducido de la función Stone-Geary en el espacio Renta-Consumo físico de agua a escala agregada y una especificación adicional de consumo medio por hogar. El parámetro de interés es el indicador de intensidad en el uso del recurso (α) para cada una de las categorías funcionales de municipios de la muestra. La especificaciones lineales estimadas permiten obtener, de manera adicional, las elasticidades renta-consumo físico para cada municipio.

La tabla 2 resume un conjunto de variables que describen las características más sobresalientes de los municipios localizados en la región objeto de este estudio.

TABLA 2
COLOMBIA: PRINCIPALES INDICADORES DE
LA MUESTRA DE MUNICIPIOS

Características	Jerarquías Funcionales Municipales				
	Capital nacional Capitales Dtales y Epicentros Regionales	Centros Subregionales Mayores	Centros Subregionales Intermedios	Ciudades Pequeñas	Total de la Muestra
Número de municipios según orden funcional	40	41	42	76	199
Consumo de agua urbano miles de m3	27997.2	3125.6	1086.6	263.7	6601.6
Consumo de agua en litros habitante día	155.3	153.0	154.2	153.3	153.8
Temperatura promedio (grados centígrados)	20.7	22.0	22.3	20.3	21.1
Temperatura máxima	22.3	23.4	23.7	21.4	22.5
Precipitación promedio (m3)	2406.3	2207.3	2386.9	2470.0	2385.1
Precipitación mínima	1562.5	1597.6	1670.7	1693.3	1642.1
Precipitación máxima	3250.0	2817.1	2609.8	3246.7	3025.4
Índice de escape del recurso hídrico	6.0	3.2	0.9	0.5	2.2
Demanda biológica de oxígeno mínima (gramos/cm3)	3614.5	980.5	3614.5	578.9	1194.4
Demanda biológica de oxígeno máxima (gramos/cm3)	10843.6	2941.4	636.1	1736.8	3583.2
Demanda química de oxígeno mínima (gramos/cm3)	9036.3	2451.2	530.1	1447.3	2986.0
Demanda química de oxígeno máxima (gramos/cm3)	36145.2	9804.7	2120.5	5789.3	11944.0
Área municipal promedio en Km2	1073.6	870.9	712.1	635.5	788.6
Tamaño promedio del hogar	4.3	4.5	4.3	4.3	4.3
Ingreso per cápita urbano (pesos Col de 2000)	385863.5	339456.5	334251.0	312891.0	338590.9
Educación media de la población activa (años escolaridad)	8.8	8.1	8.0	7.4	8.0
Densidad telefónica %	12.9	10.0	7.8	3.2	7.5
Tasa de crecimiento población urbana %	2.1	2.0	1.7	2.5	2.1
Tasa de urbanización (población urbana/población total)%	91.3	72.1	56.2	30.3	56.7

Fuente: Estimaciones propias a partir de la base de datos de la muestra de municipios localizados en la cuenca de los ríos Magdalena y Cauca
 Información año 2000 (IDEAM, Ministerio del Medio Ambiente, Colombia y CIDSE, Universidad del Valle)

Cabe destacar que en el agregado de municipios el consumo de agua es relativamente alto, 153.8 litros/h/día, respecto a los promedios internacionales. Los valores más altos se identifican en los municipios de mayor jerarquía y concentración de población, con valores de 155.3 l/h/día, precisamente aquellos que presentan los mayores índices de vulnerabilidad (escasez) medidos a través de la relación entre demanda y oferta del recurso y de demanda biológica y química de oxígeno como indicadores de deterioro.¹⁵

La tabla 3 presenta las estimaciones econométricas del modelo agregado y de impactos diferenciales por grupos. La tabla 5 muestra los resultados del modelo de demanda media por hogar.

TABLA 3
MODELO AGREGADO

Variables	Modelo conjunto (a)		Modelos por Grupos		
	Impactos Diferenciales		Centros Subregionales Mayores	Centros Subregionales Intermedios	Ciudades pequeñas
Variable dependiente el consumo residencial de agua en miles de m³					
Constante		80124 (6.2)	585.35 (1.773)	98.41 (0.733)**	29.9 (1.3)
Ingreso urbano	M	0,08589 (14.6)	0.137 (8.23)	0.165 (8.72)	0.169 (14.2)
Dummies					
Capital racional, Capitales Departamentales y epicentros regionales		Referencia			
Centros sub-regionales mayores	=1	D2	-6484,5 (-5.14)		
Centros sub-regionales intermedios	=1	D3	-7430,1 (-5.85)		
Ciudades pequeñas	=1	D4	-7856,09 (-6.17)		
N			190	39	39
R2 Ajustado			98,4	63,2	66,8
F			1237,9	67,85	76,1
					202,9

Estadísticos t entre paréntesis

*Significativa al 1%

** (ns) No significativa

(a) Errores estándar corregidos por presencia de heteroscedasticidad grupal.

Los modelos finalmente estimados a partir de la especificación (11) y cuyos resultados se presentan en la tabla 3 son los siguientes:

¹⁵La demanda biológica mide la cantidad de oxígeno consumido en el proceso de degradación de la materia orgánica y la demanda química el oxígeno requerido para oxidar compuestos químicos y orgánicos por la acción de agentes fuertemente oxidantes en medios ácidos. El vertimiento de residuos líquidos proviene de las actividades domésticas, industriales y agropecuarias que en conjunto generan aproximadamente 9.000 (ton/día) de materia orgánica contaminante, en términos de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).

$$\begin{aligned}
 A_c &= \delta_c^* + \alpha_{1c}M + \tau_{2c}D_2 + \tau_{3c}D_3 + \tau_{4c}D_4 + \mu_c \\
 A_2 &= \delta_{2c}^* + \alpha_{2c}M_{2c} + \mu_{2c} \\
 A_3 &= \delta_{3c}^* + \alpha_{3c}M_{3c} + \mu_{3c} \\
 A_4 &= \delta_{4c}^* + \alpha_{4c}M_{4c} + \mu_{4c}
 \end{aligned}
 \tag{12}$$

Los subíndices indican el conjunto de ciudades de cada grupo: [1] capital nacional, capitales departamentales y epicentros regionales, [2] Centros sub-regionales mayores, [3] Centros sub-regionales intermedios y [4] Ciudades pequeñas.

El modelo conjunto presentaba heterocedasticidad¹⁶ grupal y fue corregido mediante una matriz eficiente de mínimos cuadrados generalizados. La variable ingreso resultó fuertemente significativa.¹⁷ Los coeficientes estimados para el gasto marginal o tasa marginal de presupuesto (que capta las diferencias en la valoración o intensidad en el uso del recurso)¹⁸ muestran los siguientes resultados:

(i) Una fuerte asociación del consumo agregado de agua medido en miles de m³ con la escala de ingresos urbanos (ver mapas 1 y 2 de distribución espacial de ingresos y consumo de agua) y una tasa de preferencia por el recurso en el modelo global de 0.0859 que indica que el agregado de las unidades de gasto estarían dispuestas a consumir 8.59 miles de m³ del remanente, una vez cubiertos los consumos mínimos necesarios de todos los bienes, en el bien agua si el ingreso aumenta en 100 millones de unidades monetarias.

(ii) Este mismo coeficiente para los grupos [2], [3] y [4] es elevado, revelando indirectamente déficit de consumo o distanciamiento de los niveles de

¹⁶ Como $A_c = \beta' X + \mu_c$, con X el vector de variables explicativas, las N observaciones están agrupadas en 4 categorías de jerarquía funcional urbana, cada uno con N_g observaciones, de tal modo que la $\text{var}[\mu_{cg}] = \sigma_g^2$ y la función del log-verosimilitud

tiene la forma
$$LnL = -\frac{N}{2} Ln(2\pi) - \frac{1}{2} \sum_{g=1}^4 N_g Ln(\sigma_g^2) - \frac{1}{2} \sum_{g=1}^4 \sum_{c=1}^{N_g} \left(\frac{\mu_{cg}}{\sigma_g} \right)^2$$
 El estimador

de mínimos cuadrados generalizados es
$$\hat{\beta} = \left[\sum_{g=1}^4 \frac{X_g' X_g}{\sigma_g^2} \right]^{-1} \left[\sum_{g=1}^4 \frac{X_g' A_g}{\sigma_g^2} \right]$$
 con $\sigma_g^2 = \frac{\sum e_{cg}^2}{N_g}$.

¹⁷ El modelo conjunto utilizó 190 observaciones (ciudades) y los modelos de contrastación por grupos, 39 para cada uno de los grupos 2 y 3; el grupo 4 se estimó con 67 ciudades.

¹⁸ Recordando que corresponde a la fracción constante del remanente del gasto agregado una vez cubiertos los niveles de subsistencia de todos los bienes que se destinaría a consumo adicional del bien agua: Si $\alpha=0$, la demanda de agua es S_a ; si $\alpha=1$ los bogares gastasen todo su remanente en agua y si $\alpha=0.085$ gastarían el 8.5% de este remanente en el recurso. Por tal razón capta la intensidad de las preferencias y se aproxima a la intensidad potencial en el uso del bien.

saturación alcanzados en las ciudades más desarrolladas.

(iii) Los niveles autónomos de consumo de agua decrecen, como se esperaba, con la escala de ingreso de los municipios de acuerdo con los efectos diferenciales captados a través de las variables dicotómicas de categoría funcional.

(iv) Finalmente, las elasticidades medias obtenidas a partir del modelo agregado se resumen en la tabla 4.

TABLA 4
ELASTICIDADES CONSUMO FÍSICO – RENTA

	Valores estimados		
	Mínimo	Máxima	Media
Capital nacional, Capitales Departamentales y epicentros regionales	0,35	1,04	0,5645
Centros sub-regionales mayores	0,50	1,33	0,8238
Centros sub-regionales intermedios	0,36	2,07	0,9583
Ciudades pequeñas	0,40	1,88	0,9137

Los asentamientos urbanos de mayor tamaño tienen elasticidades medias renta-consumo físico de 0.5645 que indican un aumento de 0.56% en el consumo de agua (en miles de m³) cuando el ingreso agregado municipal aumenta en un 1%; esto es, un incremento del 1% en el ingreso agregado municipal implica que, por ejemplo, el consumo agregado de este municipio aumente de 6601.6 miles de m³ de agua a 6971.28 miles de m³ (un aumento de 369.68 miles de m³).

Finalmente, el modelo de consumo medio muestra la incidencia de variables sociodemográficas como el tamaño promedio de los hogares. La temperatura media del municipio no resultó estadísticamente significativa, mientras que los niveles de precipitación son fuertemente significativos en la explicación de los consumos medios de agua.

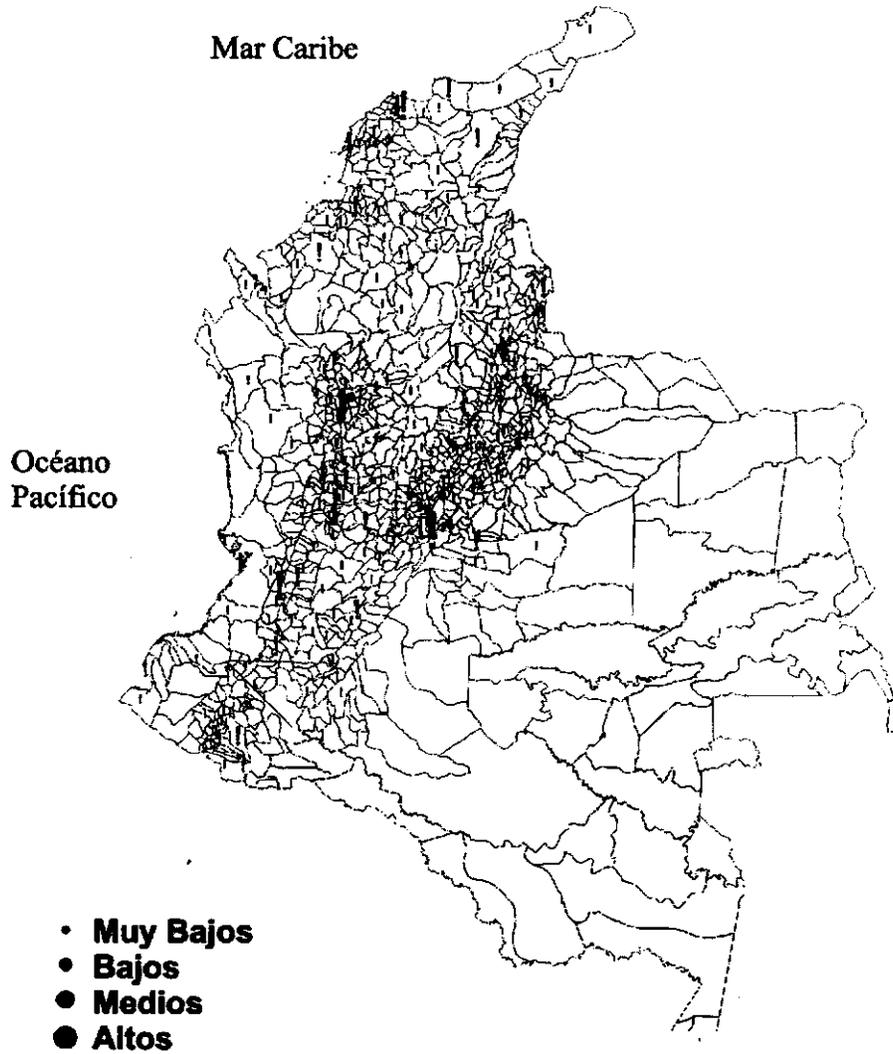
TABLA 5
DEMANDA DE AGUA (M³) POR HOGAR
Y AGRUPACIONES DE MUNICIPIOS*

Demanda de agua por hogar (en logaritmos)	Coef	Std. Err	Signif
Ingreso per capita urbano (en logaritmos)	0.6355	0.298	0.0
Tamaño medios de los hogares	0.5024	0.150	0.0
Precipitación promedio en m3	-0.0002	0.000	0.0
Tasa de urbanización (%)	0.0304	0.003	0.0
Temperatura media del municipio*	191.768	6.791	0.0
Constante	-6,1877	0.014	0.0
		1.918	
	Observaciones	188	
	R2 General	46.3	
	Wald Chi2(6)	156	
	Prob>Chi2	(000)	

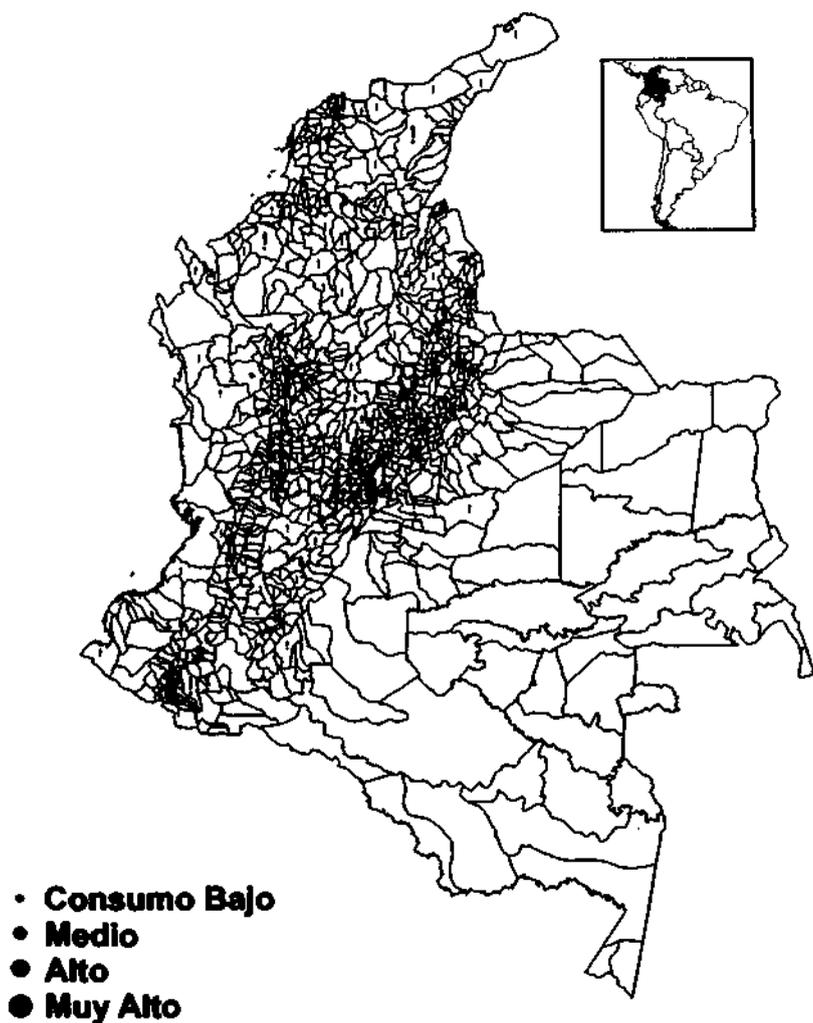
(*) Modelo con efectos Between y Within según jerarquías funcionales

(**) No significativa

MAPA 1
COLOMBIA: NIVELES DE INGRESOS URBANOS
PARA LOS MUNICIPIOS DE LA MUESTRA



MAPA 2 CONSUMO RESIDENCIAL AGREGADO DE AGUA EN MILES DE M³



Elaboración propia Arc Map con base en datos
CIDSE-IDEAM.

Conclusiones

A pesar de la disponibilidad actual del recurso, los efectos diferenciados de presión de carga sobre el sistema físico-natural generados por las aglomeraciones urbanas, representa un importante riesgo para la disponibilidad relativa del recurso a mediano y largo plazo. La distribución espacial de la población y la densidad creciente de los asentamientos urbanos puede afectar en muy pocos años la disponibilidad potencial del recurso en la cuenca de los Ríos Magdalena y Cauca, precisamente el corredor territorial del país de mayor vulnerabilidad con un aporte de solo el 10,6% de la oferta hídrica nacional.

La reducción en la posibilidad de uso del recurso se encuentra afectada, además de la concentración y crecimiento de la demanda en zonas con restricción de oferta hídrica, por la irregularidad hídrica que generan los cambios climáticos y las condiciones geo-morfológicas específicas. Esto sin considerar el deterioro de la calidad del recurso por los efectos de contaminación doméstica, industrial comercial y rural.

El conjunto de resultados de la estimación muestra diferencias significativas en la intensidad de las preferencias por el bien entre las agrupaciones municipales. Esto sugiere importantes impactos sobre el balance hídrico del país si se tiene en cuenta las altas tasas de crecimiento poblacional de los municipios de la cuenca.

Las estimaciones del modelo propuesto muestran una fuerte relación entre el consumo municipal de agua y la escala de ingresos urbanos. Las tasas de preferencias por el recurso resultaron altamente significativas y muestran un patrón claramente diferenciado de acuerdo con las categorías funcionales de la red de ciudades de Colombia.

Bibliografía

- ARBUÉS, F., BARBERÁN, R y INMACULADA VILLANÚA (1998), "Water price impact on Residential Water Demand in the city of Zaragoza. a Dynamic panel data approach", *Paper Reference 167*, University of Zaragoza, Spain.
- BISWAS, A., K. (1997), "Water Development and Environment", In *Asit K. Biswas*, Ed., *Water Resources: environmental Planning, Management and Development*, New York, McGraw-Hill, pp. 1-37.
- CENTRO DE INVESTIGACIONES SOCIOECONÓMICAS (CIDSE-UNIVERSIDAD DEL VALLE) Y EL INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES (IDEAM-MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE), "Elaboración de una Regionalización de los municipios que conforman la Cuenca de los Ríos Cauca y Magdalena y elementos para el ordenamiento del territorio", Cali, Colombia, 2001.
- DIXON, P., BOWLES AND KENDRICK (1983). "Notes and Problems in

- Microeconomics Theory", *North-Holland Publishing Company*. [Versión en Castellano *Teoría microeconómica: notas y problemas* (1983). Editorial Hispano-Europea, S. A., Barcelona, España]
- ESPEY, M., ESPEY Y SHAW (1997), "Price Elasticity of Residential Demand for Water: A Meta Analysis", *Water Resource Research*, 33: 1369-1374.
- GREE, JOHN (1971). "Consumer Theory". *Penguin Books*, Ltda. Harmondsworth, Middlesex, Inglaterra. [Edición en Castellano, *La Teoría del Consumidor* (1976). Alianza Universidad, Madrid, España]
- GARCÍA, VALIÑAS, M. A., (s.a), "La demanda de agua en las ciudades: estimación comparada para tres municipios españoles", *Paper*, Universidad de Oviedo, España.
- HOWE, C. AND LINAWEAVER (1967), "The impact of Price on Residential Water Demand and its Relation to System Design and Price Structure", *Water Resource Research*, 3(1), pp. 13-31.
- LYMAN, R. A., (1992), "Peak and off-Peak Residential Water Demand". *Water Resource Research*, 28(9), pp. 2159-67.
- IDEAM (1998). "Estudio Nacional del Agua. Balance Hídrico y Relaciones Oferta Demanda en Colombia". *Indicadores de sostenibilidad proyectados al año 2016*, Santafé de Bogotá, Ministerio del Medio Ambiente (Primera versión).
- IDEAM (2002). "Estudio Nacional del Agua. Balance Hídrico y Relaciones Oferta Demanda en Colombia". *Indicadores de sostenibilidad proyectados al año 2016*, Santafé de Bogotá, Ministerio del Medio Ambiente.
- MARTÍNEZ-ESPINEIRA, R., (2000), "Residential Water Demand in the Northwest of Spain", *Paper* Environment Department. University of York, Heslington, York.
- MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE (2000). "Informe Nacional sobre la Gestión del Agua en Colombia: Recursos hídricos, agua potable y saneamiento", Santafé de Bogotá, República de Colombia.
- NORDIN, J. (1976), "A proposed modification of Taylor's demand analysis: Comment", *Bell Journal of Economics* 7(2): 719-721.
- PINT, E., (1999), "Household of groundwaterquality using a contingent valuation-damage function approach", *Water Resources Research*, 34(12), pp. 3627-3633.
- RAUDENBUSH, S. Y ANTHONY BRYK (2002), "Hierarchical Linear Models: Applications and Data Analysis Methods". *Advanced Quantitative Techniques in the Social Sciences Series (1)*, Sage Publications, USA.
- RENZETTI, STEVEN (2002), "The Economics of Water Demands". *Kluwer Academic Publishers, Natural Resource Management and Policy*, Ariel Dinar and David Ziberman (Eds.)
- SALETH, R. M., AND DINAR, A. (1997), "Satisfying Urban Thirst: Water Supply Augmentation and Pricing Policy in Hiderabad City, India". *World Bank Technical Paper*, 395, Washington, D. C.
- SHEFTER, J.E., AND E.L. DAVID (1985), "Estimating Residential Water Demand under Multi-part Tariffs Using Aggregate Data", *Land Economics*, 61(3), pp. 272-280.
- TAYLOR, L. (1975), "The demand fir electricity: a survey", *Bell Journal of Economics*, 6(1): 74-110.