



Título

EVALUACIÓN DE LA DEMANDA DE AGUA POTABLE EN LOS HOGARES DE COLOMBIA: ANÁLISIS DE POLÍTICA PÚBLICA ¹

Autores²

Carolina Marín López
Andrea Laguna Bohórquez

Resumen

Este artículo evalúa la demanda de agua potable en los hogares de Colombia y cómo esta se ve impactada por choques en el precio, promovidos por los formuladores de la política pública del país. Esta situación se estudió tomando en cuenta un escenario de riesgo o emergencia de abastecimiento, como consecuencia de los fenómenos de variabilidad climática. Con base en un panel de datos con 33 millones de observaciones (periodo 2010-2015), se aplicaron los métodos de efectos fijos, para controlar la heterogeneidad no observable en datos de corte transversal, y efectos temporales, para capturar los efectos comunes a todos los individuos durante el periodo de análisis. Lo anterior permitió establecer que las medidas tomadas por los formuladores de la política han presentado efectos positivos, pero modestos, en la reducción del consumo de agua por parte de los hogares. Mientras que otras variables meteorológicas afectan de manera importante el consumo, pues se incrementa a mayores temperaturas y se reduce con mayor ocurrencia de la precipitación.

Palabras Clave: Cobro por consumo excesivo de agua, demanda de agua, regulación de servicios públicos.

¹ Trabajo presentado para optar al título de Magister en Economía, de la Pontificia Universidad Javeriana.

² Agradecemos la dirección del profesor Daniel Alfredo Revollo Fernández, Postdoctoral en Economía Ambiental y profesor de la facultad de Economía de la Universidad Autónoma Metropolitana – CONACyT, de la Ciudad de México. Asimismo, agradecemos a la Superintendencia de Servicios Públicos y al Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, por el suministro de todos los datos empleados para el desarrollo del presente estudio. Cualquier error de interpretación de los mismos es responsabilidad de las autoras.

TABLA DE CONTENIDO

1. Justificación	3
2. Revisión de literatura / marco teórico	4
2.1 Teoría económica del consumidor	4
2.2 Determinantes de la demanda de agua potable	8
2.3 Política de cobro por consumo excesivo de agua en Colombia	14
3. Pregunta de investigación – hipótesis	19
4. Datos	19
4.1 Descripción de datos	19
4.2 Estadísticas descriptivas	21
5. Análisis empírico	24
5.1 Metodología	24
5.2 Regresiones	25
5.3 Resultados empíricos	27
6. Conclusiones	30
Bibliografía	332
Apéndice A	35
Apéndice B	36

1. Justificación

En Colombia, la oferta de agua para las distintas actividades socioeconómicas se ve afectada, positiva o negativamente, por las condiciones meteorológicas. Tanto el cambio climático como la variabilidad climática asociada a los fenómenos de *El Niño*³ y *La Niña* (temporadas de calor y frío, respectivamente) tienen impacto en la oferta hídrica del país.

El fenómeno de *El Niño* tiene ocasión en los meses de diciembre, enero y febrero, periodo durante el cual los caudales de los ríos colombianos presentan disminución de hasta un 40% con respecto a los periodos de normalidad climática (IDEAM⁴, 2010). Esto ocasiona problemas para el suministro de agua potable. Así, se evidenció en enero de 2016, cuando 124 municipios en el país presentaron desabastecimiento y, además, hubo gastos de 1,4 billones de pesos para lograr abastecer a otros 200 (Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres - UNGRD, 2016). Esto generó una reasignación de presupuesto no contemplada que afectó otras inversiones estatales.

Adicional a los fenómenos de variabilidad climática local, el planeta se enfrenta a una crisis, consecuencia del incremento en la temperatura global. De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) (2015), el cambio climático será responsable aproximadamente del 20% del incremento en la escasez de agua, lo cual ya parece evidenciarse en Colombia, toda vez que, en promedio, entre 2011 y 2013 han disminuido las precipitaciones en 10%⁵, con mayor reducción en ciudades como Cartagena (-56%) y Riohacha (-51%).

Pese a lo descrito anteriormente, el consumo de agua potable por parte de los hogares colombianos es elevado. De acuerdo con la Organización Panamericana para la Salud (OPS), para satisfacer sus necesidades básicas, una persona requiere entre 80 y 100 litros de agua al día (l/p-día). No obstante, en 2010, el consumo promedio en Colombia se ubicó en 110 l/p-día (IDEAM, 2010).

El Gobierno Nacional colombiano, con el fin de mitigar el riesgo de desabastecimiento en los periodos de variabilidad climática, implementó medidas

³ El fenómeno de *El Niño* se caracteriza por el calentamiento de las aguas del Océano Pacífico, lo que ocasiona disminución de las precipitaciones, aumento en la temperatura del aire —especialmente de las regiones Caribe y Andina— y perturbación de los caudales de los ríos y la humedad del suelo (IDEAM, 2010).

⁴ El Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) es una institución adscrita al Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS), cuyo objetivo es generar conocimiento y producir información sobre el estado y las dinámicas de los recursos naturales y el medio ambiente.

⁵ Cálculos propios con datos de IDEAM (2016)

de incremento en los precios del agua suministrada, como desincentivo para promover el uso eficiente y el ahorro de agua potable. Para este efecto, desde 2010, la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico (CRA)⁶ ha venido estableciendo un límite de consumo mensual de agua por hogar; cuando este se supera, se considera que dicho hogar incurre en “*consumo excesivo*”. El límite establecido por la CRA depende del piso térmico y el nivel de riesgo por desabastecimiento, el cual es definido por el IDEAM. El límite ha adoptado valores entre los 22 y 35 metros cúbicos (m³).

Las empresas prestadoras del servicio público de acueducto son las encargadas de aplicar el sobrecargo a los hogares. Aunque esta medida se ha implementado desde 2010, no se cuenta con una evaluación del efecto que esta política de precios diferenciados ha tenido sobre el consumo de agua potable en los hogares.

Este proyecto de grado tiene como objetivo evaluar el comportamiento de la demanda de agua potable en el sector residencial de Colombia y cómo esta se ve impactada por choques en el precio, promovidos por los constructores de la política pública del país; todo esto enmarcado en un escenario de riesgo o emergencia de abastecimiento, como consecuencia de fenómenos de variabilidad climática. Para tal efecto, se ha llevado a cabo la construcción de una base de datos que incluye información por hogar de doce departamentos de Colombia, información meteorológica proveniente del IDEAM e información socioeconómica aportada por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE)⁷.

A partir de lo anterior, se espera contribuir a la discusión sobre la eficiencia de las medidas tomadas para la disminución del consumo de agua y si las mismas son suficientes para modificar el comportamiento de los consumidores.

2. Revisión de literatura / marco teórico

2.1 Teoría económica del consumidor

La teoría del consumidor busca explicar cómo los individuos toman las decisiones de consumo. Esta supone que la curva de demanda de las personas depende de los precios, los ingresos y las preferencias. Básicamente, la teoría asume que el

⁶ La Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico (CRA) es una entidad adscrita al Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio (MVCT), cuyo objetivo es regular los servicios públicos de agua potable, alcantarillado y aseo, con el ánimo de evitar los efectos indeseables de un monopolio.

⁷ El DANE es una entidad de carácter nacional que tiene por objetivo producir y difundir información estadística.

problema del consumidor es la elección de un conjunto de bienes (x) con base en los precios (p) y su ingreso (i), con el fin de maximizar su utilidad:

$$\begin{aligned} & \max u(x) \\ & \text{sujeto a } p \cdot x \leq i \quad (1) \end{aligned}$$

Los supuestos teóricos de este modelo son:

- i) La información perfecta
- ii) Los individuos son tomadores de precios
- iii) Los precios son lineales
- iv) Los bienes son divisibles

En este sentido, la teoría que nos ocupa busca analizar los efectos del ingreso y de los precios en las decisiones de consumo de los individuos.

Por lo general, estas variables se analizan de manera independiente para saber cómo inciden en la demanda de un determinado tipo de bien (*ceteris paribus*). En relación con el efecto del ingreso (i) en el consumo, diremos que un bien x es normal si su demanda aumenta cuando aumenta i ; por el contrario, diremos que es inferior si su demanda disminuye al aumentar i . Respecto del precio (p), afirmaremos que un bien x es regular cuando su demanda aumenta en el momento en que decrece p ; pero cuando su demanda aumenta al incrementarse p , lo denominaremos Giffen. Asimismo, debe tenerse en cuenta que los precios de los demás bienes afectan la demanda del bien analizado. Así, podemos afirmar que un bien x es sustituto de un bien y si la demanda de x aumenta cuando aumenta el precio de y .

Adicional a esto, es importante destacar que, en relación con la formación del precio del bien, el costo marginal de producción en un mercado competitivo es igual al precio marginal.

Sin embargo, para el caso que nos ocupa, se debe notar que la prestación del servicio público de acueducto presenta características de monopolio natural porque su costo medio es decreciente y presenta altas economías de escala (CRA, 2015). En otras palabras, se logran menores costos si el suministro de agua se lleva a cabo por una única firma sin competencia. Por esto, el servicio público de acueducto en Colombia es regulado por la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico (CRA). Esta Comisión establece metodologías tarifarias que deben aplicar los prestadores del servicio público de acueducto, las cuales apuntan a que el precio del agua potable sea el mismo que se encuentra

en un mercado competitivo, es decir, que la factura que pagan los consumidores evidencie el costo marginal o, en su defecto, el costo medio del suministro.

Dicha regulación del precio pretende evitar la gratuidad en el suministro de agua; pues, como lo establece Stiglitz (2000), cuando un bien privado es suministrado por el Estado de manera gratuita, el consumidor demandará hasta el punto en el que el beneficio marginal sea igual a cero, pese a que el costo de proveer este servicio tenga un costo marginal. En consecuencia, la gratuidad en el suministro conllevaría a que haya un consumo excesivo de agua.

En el presente trabajo, se aplicará la teoría del consumidor para determinar los efectos de una medida de carácter regulatorio sobre el precio del suministro de agua potable como un mecanismo para motivar a un consumidor a racionalizar su consumo. Dicha medida parte de la simulación de un mercado en perfecto equilibrio donde, al producir un choque que lleve los precios al alza, la demanda y la oferta se pondrán en equilibrio por una contracción de la primera (el efecto de racionamiento).

La función de utilidad para el caso del agua potable y de las tarifas, que se incrementan según el tipo de consumo, podría explicarse a partir del estudio de Nauges y Blundell (2001). Los autores definen como caso simple una estructura tarifaria no lineal de dos bloques de precios, así:

El consumidor con ingresos (I) maximiza una función de utilidad estrictamente cuasi-cóncava $U(q; z)$, donde q representa el consumo de agua y z un bien compuesto. El precio de z se normaliza en 1 y el agua se vende con una tarifa de dos bloques; p_j son los precios del agua en bloques, donde $j = 1, 2$, y l_1 es el límite del primer bloque. La restricción presupuestaria está definida por dos segmentos lineales y el conjunto presupuestario es:

$$I = \begin{cases} p_1 q + z & q \leq l_1 \\ p_1 l_1 + p_2 (q - l_1) + z & q > l_1 \end{cases}$$

Con esto:

$$\begin{aligned} I &= p_1 q + z & q \leq l_1 \\ I + (p_2 - p_1)l_1 &= p_2 q + z & q > l_1 \end{aligned} \quad (3)$$

Los autores definen que el ingreso equivale a $y = I + (p_2 - p_1) l_1$. Por ende, la diferencia se define como $D = (p_2 - p_1) l_1$, es decir, la diferencia entre la factura y el pago real, si todas las unidades son cobradas a la tasa marginal. En caso de que se dé sobreprecio del agua, D será positiva. Los autores utilizan un impuesto al

ingreso como ejemplo para esta diferencia, lo cual se puede observar de manera gráfica así:

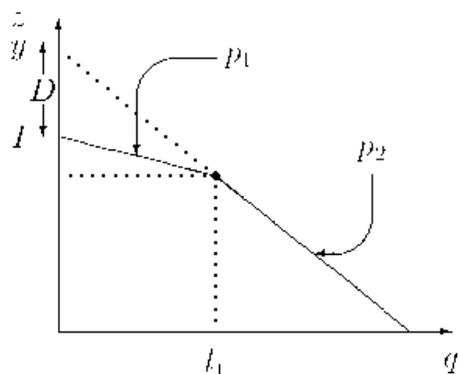


Figura 1. Restricción presupuestaria del consumidor. Fuente: Nauges y Blundell (2001)

Ahora bien, en la teoría económica, el agua potable se puede clasificar como un bien de primera necesidad y, dada la inexistencia de un bien que lo sustituya perfectamente, se espera que un movimiento en los precios no afecte significativamente la cantidad consumida. Este concepto —conocido como *elasticidad precio de la demanda*— permite determinar cuánto responde un consumidor ante aumentos en los precios. La definición de elasticidad es estructurada a partir de las demandas marshallianas, cuya formulación es:

$$\epsilon_p = \frac{\Delta Q_d / Q_d}{\Delta P / P} \quad (2)$$

Así, la elasticidad precio de la demanda del agua potable debería encontrarse entre 0 y -1, lo que la hace inelástica, ya que, ante cambios en los precios, su demanda no debería cambiar en la misma proporción.

Existe una gran cantidad de bibliografía sobre la estimación de la elasticidad del consumo de agua. Arbués et al. (2003), por ejemplo, realizaron una revisión del estado del arte en la estimación de la demanda residencial de agua, donde señalan que, desde la década del 60, se han desarrollado estudios que tratan este tema ampliamente. Al respecto, apuntan que los valores de dichas estimaciones presentan una gran variación. Estos autores enseñan la revisión de más de 70 documentos que han estimado la elasticidad precio del consumo de agua mediante la especificación de Nordin, el precio marginal y el precio medio y, gracias a ello, concluyen que el agua para consumo humano es un bien inelástico.

Recientemente, Klaiber et al. (2012) estimaron para Phoenix (Estados Unidos) la elasticidad precio de la demanda de agua para los hogares residenciales ante cambios estacionales. Para esto, utilizaron información estadística de la distribución del uso de agua para observar el comportamiento del consumo ante cambios de precios exógenos y estudiaron la variación en los precios marginales a lo largo del tiempo, para determinar en qué punto la estructura de precios no cambiaba. Este estudio permite mostrar que el cambio de precio puede ser entendido como un factor para evaluar el cambio en el uso del agua. Sin embargo, Howe y Linaweaver (1967) ya habían advertido que en las actividades que no son de primera necesidad puede haber derroche por parte de algunos consumidores.

2.2 Determinantes de la demanda de agua potable

La demanda residencial de agua potable puede determinarse a partir de múltiples variables: el ingreso, el precio, el tamaño del hogar, la edad de los miembros del hogar, la temperatura, el ingreso de los hogares, entre otros. Existen diversos estudios que incluyen estas variables y, mediante distintos modelos econométricos, estiman su comportamiento.

En el plano internacional, los autores utilizan diversas técnicas econométricas para la estimación de funciones de demanda, verificar la elasticidad del precio e ingreso o definir qué tanto impactan en la demanda de un bien dichas variables. Dentro de estos trabajos, cabe destacar el de Howe y Linaweaver (1967), quienes realizaron dos regresiones con datos medidos en 39 áreas de estudio, durante dos o tres años. El primer modelo se elaboró para determinar la demanda de agua para uso doméstico, el cual incluyó las variables valor de la vivienda, número de personas por hogar, antigüedad de la vivienda, presión del agua, tarifa total de consumo y frecuencia de facturación. El segundo modelo pretendía determinar la demanda de agua para riego⁸, cuyas variables fueron: área susceptible de riego, potencial de evapotranspiración en el verano, precipitación en el verano y cargo marginal aplicable al promedio de las tasas de uso. Ambos modelos incluyeron el nivel de precios de la región.

Este estudio, en comparación con los demás, contiene dos aspectos importantes: los autores tuvieron la ventaja de poder diferenciar el consumo de agua para el uso doméstico y el consumo de agua para riego, y pudieron

⁸ En el artículo se denomina "*sprinkling demand*" u "*outdoor demand*" y hace referencia a la jardinería o riego de cultivos.

diferenciar las áreas en las que se cobraba una tarifa fija y una tarifa variable. Con base en lo anterior, llegaron a las siguientes conclusiones: para la demanda de uso doméstico se observó que esta no es sensible a cambios en el precio ni tampoco es sensible ante variaciones del ingreso. Por su parte, la cantidad de personas en la vivienda tuvo un impacto significativo en la demanda en las áreas donde se cobraban tarifas fijas: mientras que la frecuencia de la facturación y el nivel de precios de la región no tuvieron importancia para la demanda. Por otra parte, la demanda de agua para riego en las áreas de baja precipitación fue elástica en el precio. Asimismo, el ingreso tuvo una influencia significativa en las áreas donde había tarifa fija, pero la frecuencia de facturación y el nivel de precios de la zona no tuvo influencia.

Otro estudio relevante es el que se llevó a cabo para Sao Paulo, el cual contempló información del periodo 1997-2002. Para ello, Ruijs et al. (2008) estimaron las funciones de demanda de agua utilizando como determinantes el precio, los precios de los bienes sustitutos, los ingresos y las preferencias (medidas a través de las precipitaciones y la temperatura). Con la aplicación de los modelos de precio medio y precio marginal, llegaron a elasticidades precio relativamente inelásticas para el servicio de agua potable (entre -0,45 y -0,50). Adicionalmente, en relación con los resultados de distribución, los autores concluyeron que, ante la inelasticidad, los objetivos de ahorro de agua se alcanzaron solo de forma parcial y que, por ello, estos se deben combinar con políticas alternativas para aumentar la conciencia en relación con el uso del agua y la promoción de dispositivos de ahorro del suministro.

Complementando el estudio anterior, Arbués et al. (2010) precisan que la demanda de agua está afectada por la composición del hogar, entendida para este caso como la cantidad de personas que habitan en la vivienda y las edades de las mismas. Con información de la municipalidad de Zaragoza (España), los autores elaboraron un modelo para realizar una regresión, a partir del método de mínimos cuadrados generalizados, con las siguientes variables: la tarifa de agua (*i. e.*, el costo total de la factura dividida entre la cantidad de días del mes); la temperatura (*i. e.*, determinada como la proporción de días en el mes en los que la temperatura superó los 18 °C); el índice de riqueza (para el que se utiliza el costo de la vivienda según el registro catastral); la existencia, o no, de un servicio de agua caliente colectivo (utilizado como una variable *dummy*); la cantidad de miembros jóvenes de la familia (menores de 20 años); cantidad de miembros adultos de la familia (mayores de 60 años); y el tamaño de la familia (medido en 5 variables *dummy*). Los resultados más interesantes del estudio indican que los hogares son sensibles a la fluctuación del precio. A pesar de ello, los hogares pequeños (hasta

dos miembros) son más sensibles que los hogares medianos (3 miembros), y estos, a su vez, más sensibles que los hogares grandes (más de cuatro miembros). Adicionalmente, se encontró que si bien los hogares más grandes consumen mayor cantidad de agua, su consumo es menor a nivel per cápita.

Adicionalmente, Romano et al. (2014) usaron un modelo lineal de efectos mixtos con el método de máxima verosimilitud restringida, para establecer los determinantes de la demanda de agua residencial. Para ello, utilizaron información de todas las provincias de Italia para el periodo 2007-2009. Los resultados indican que los precios del agua afectan negativamente la demanda; por el contrario el ingreso tiene un efecto positivo, mientras que la precipitación y la altura influyen considerablemente de manera negativa; mientras que la temperatura no tiene influencia en la demanda de agua. Este estudio presenta información interesante pues encontró que las provincias con cantidades de población pequeñas presentan bajos consumos de agua. Otra de las conclusiones fue que la propiedad de las empresas proveedoras del servicio (es decir, si son públicas o privadas) no tiene influencia en el consumo. Cabe anotar que, en las provincias en las cuales el servicio es ofrecido por prestadores públicos, se presentan tarifas bajas y, en consecuencia, un alto consumo de agua.

Por su parte, Arbués et al. (2003), en su revisión del estado del arte sobre la estimación residencial de la demanda de agua, encuentran numerosos estudios basados en el modelo de variables instrumentales. Al respecto, hallan que las estimaciones de la demanda que utilizan variables instrumentales de los precios son casi idénticas a las obtenidas por enfoques de mínimos cuadrados ordinarios (OLS, por sus siglas en inglés) más simples. En relación con ello, debe considerarse que una condición necesaria del modelo OLS es que no exista correlación entre el término de error y las variables explicativas y, en una definición de precios por bloques, esta condición no se cumple debido a la endogeneidad de los precios por la cantidad demandada.

De otro lado, Martínez-Espiñeira y Nauges (2004) presentan un modelo de demanda de agua potable basado en una función de utilidad Stone-Geary, que considera un límite de consumo que es inelástico a cambios en el precio. En otras palabras, los autores indican que es necesario definir un límite de consumo mínimo que supla las necesidades básicas de los usuarios, pues solo a partir del mismo los choques en el precio tendrán efecto. El resultado de la elasticidad precio de la demanda de este estudio es $-0,1$.

Barkatulla (1996) realizó un estudio en el que buscaba medir los cambios en la demanda frente a cambios en la estructura multitarifaria. Para ello implementó el modelo OLS y el de variables instrumentales, lo que le permitió

encontrar que, bajo un modelo OLS, las estimaciones pueden ser inconsistentes con la teoría de demanda. Por ello, implementó el modelo de variables estructurales, el cual permite solucionar efectos mixtos simultáneos. Con este último modelo, los estimadores presentaron los signos esperados y son significativos al 1%, con lo que pudo demostrar que los consumidores de agua sí responden a cambios en el precio y, por ende, este mecanismo puede ser efectivo en la implementación de estrategias de gestión de la demanda de agua.

Otro estudio pertinente que buscó medir las políticas de gestión de agua es el de Renwick y Green (2000), quienes buscaron evaluar distintas políticas para la gestión de la demanda de agua en California. El modelo incluyó instrumentos de política (como la asignación de agua, las restricciones del uso y campañas educativas), así como las variables de precio e ingreso, para evaluar esquemas tarifarios por bloques. Los resultados muestran que el precio, el ingreso los instrumentos de política tienen impacto en la reducción del consumo de agua. debe resaltarse que el estudio encontró que la elasticidad ingreso equivalió a 0,25, mientras que la elasticidad del precio a -0,16. Adicionalmente, concluyó que el área de la vivienda tiene un efecto positivo en el consumo, la demanda de agua es menor cuando se habita un área que tiene limitaciones para el suministro⁹.

En el contexto colombiano, López et al. (1992), con el propósito de explicar la tendencia al descenso en el consumo mensual de agua por usuario en la ciudad de Medellín, para efectos del cobro del servicio, estimó una función de demanda de acueducto en el periodo 1985-1991) —esto se hizo tanto a nivel general como para cada uno de los seis estratos socioeconómicos en que se clasifican los usuarios de Empresas Públicas de Medellín—. En este trabajo se utilizó un modelo dinámico de ajuste parcial, en el que se obtuvieron elasticidades precio de corto plazo entre -0,16 y -0,30. De otro lado, al evaluar los valores absolutos de las elasticidades precio de los diferentes estratos socioeconómicos, se encontró que los valores son decrecientes a medida que aumenta el estrato: mientras que el estrato uno mostró elasticidades precio de corto plazo que van del 27% al 43%, el estrato cuatro evidenció elasticidades que van del 15% al 28%.

Sumado a todo esto, uno de los aportes más relevantes sobre el tema fue el desarrollado por Medina y Morales (2007), quienes a partir de la información de la Encuesta de Calidad de Vida 2003, y con el uso de un método de elección discreta continúa (DDC, por sus iniciales en inglés), estimaron funciones de demanda por

⁹ Las limitaciones se dan por la escasez de agua como consecuencia de elevadas temperaturas.

los servicios públicos domiciliarios de agua y electricidad para una muestra de las ciudades más importantes en el país (10.567 hogares para el caso de acueducto y 12.714 para energía).

Los resultados obtenidos mostraron que la elasticidad precio de la demanda de agua se encontraba alrededor de -0,30, y la de energía cerca de -0,45. En cuanto a la elasticidad ingreso, los resultados obtenidos fueron 0,15, para agua, y 0,31, para electricidad. Esto demuestra que el agua, por su carácter de bien necesario, es menos sensible a cambios en el precio y en el ingreso que la electricidad. Con estos resultados, los autores plantearon que los servicios públicos domiciliarios son bienes de carácter más bien inelástico —sobre todo, en el caso de agua—, por lo que políticas que afecten sus precios pueden impactar sensiblemente el bienestar de la población, debido a que un hogar promedio debe reservar una parte del ingreso mensual para garantizar el consumo de estos bienes necesarios para la subsistencia, así eso signifique sacrificar otros no tan necesarios. Finalmente, los autores estimaron el efecto que tiene un incremento en el precio del consumo básico sobre el bienestar de las familias beneficiarias, a través de la variación compensada y la pérdida irre recuperable, la cual se cuantifica en aproximadamente US \$35 millones por año, por concepto de los subsidios brutos en acueducto, alcantarillado y energía.

De otra parte, Granada (2011) buscó determinar la cantidad promedio de agua que necesita una familia colombiana para suplir sus necesidades básicas. El estudio se realizó para 21 ciudades, a partir de información suministrada por la Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios¹⁰ (SSPD) entre enero de 2003 y diciembre de 2008. Las variables consideradas en el análisis fueron la temperatura promedio que registra cada ciudad, el número de personas por hogar, el porcentaje de apartamentos en cada ciudad, el consumo de agua rezagada y el precio real diferenciado por metro cúbico de agua. La autora encontró que, en promedio, el consumo básico de agua en el país debe ser de 19 m³ mensuales por suscriptor, lo que se acerca considerablemente a los resultados del Modelo Ingenuo, que concluye que el consumo básico en Colombia es de 18 m³ mensuales por persona.

Trout et al. (2013) aplicaron los métodos de variables rezagadas sobre sí mismas, el VAR (Vector Auto-Regresivo) y un test de impulso-respuesta para

¹⁰ La Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios (SSPD) es una entidad adscrita al Departamento Nacional de Planeación (DNP), cuyo objetivo es realizar la inspección, vigilancia y control de las entidades y empresas prestadoras de servicios públicos domiciliarios.

identificar choques entre variables, a medida que se fueron extendiendo los horizontes de pronóstico (de enero de 2004 a diciembre de 2011). La información utilizada se refirió al caso de la ciudad de Bogotá en sus dimensiones de consumo, precios, producto interno bruto (PIB), licencia de construcción de vivienda, consideración de vivienda de interés social (VIS) y precipitaciones medidas en milímetros en el Aeropuerto El Dorado de Bogotá (información suministrada por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia – IDEAM, con plena conciencia de que dentro de la misma ciudad hay microclimas que hacen variar las precipitaciones). Adicionalmente, incluyeron las siguientes variables *dummy*: el efecto de una política sobre servicios públicos domiciliarios, como es la diferencia tarifaria por niveles de consumo; la reducción de la estacionalidad de las lluvias; y el consumo de agua residencial en periodos de vacaciones, en donde hay menos población. De acuerdo con el autor, el consumo de agua potable es inelástico; adicionalmente, encuentra que los últimos 4 consumos (mes) influyen altamente en el consumo actual.

Finalmente, se debe nombrar el trabajo de Jiménez et al. (2017), quienes estimaron la demanda residencial de Manizales a partir de un modelo de elección discreta, de bloque de consumo, y continua, sobre la cantidad de consumo. A partir de allí, encontraron que el consumo entre 1997 y 2013 es inelástico en -0,10 y soporta la hipótesis de que no existen bienes sustitutos para esta clase de bienes. De otra parte, mediante un modelo OLS, estimaron una elasticidad ingreso de 0,05, que es consistente con resultados que ya habían encontrado para EEUU y México, pero diferente a los resultados del estudio de Medina y Morales (2007). Con respecto al análisis de las variables independientes, se resalta que el consumo en las casas es mayor al de los apartamentos —probablemente por el uso discrecional— y que el clima efectivamente está relacionado negativamente con el consumo (el incremento de 1° C en la temperatura y de y 1 mm en la precipitación significa una disminución de aproximadamente 2% el consumo). Especialmente para el caso de Manizales, los autores exponen que los hogares recolectan agua lluvia, lo que presiona la demanda hacia abajo en periodos de precipitaciones.

Con lo anterior, se evidencia que, en los estudios, tanto a nivel nacional como internacional, existe una amplia discusión sobre los determinantes de la demanda de agua potable en los hogares. No obstante, no se cuenta con un estudio que analice los efectos que la política colombiana de “*cobro por consumo excesivo de agua*” ha tenido en el consumo de los hogares, ni de la manera a través de la cual los determinantes de la demanda por consumo de agua potable en el sector residencial permiten que la medida alcance su objetivo. En este

sentido, este trabajo busca aportar un referente académico en la discusión del efecto que ha tenido dicha política pública.

2.3 Política de cobro por consumo excesivo de agua en Colombia

Las políticas tendientes a desincentivar el consumo excesivo de agua en Colombia han surgido ante escenarios de riesgo o emergencia de abastecimiento de agua, como consecuencia de fenómenos de variabilidad climática. La Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico señala dentro de su objetivo de “*Caracterizar, cuantificar y optimizar la demanda de agua en el país*” que:

“Los grandes asentamientos humanos y los polos de desarrollo industrial, agrícola, pecuario e hidroenergético en el país, se han dado en regiones donde la oferta hídrica es menos favorable, lo que ha generado presiones sobre el recurso y señales preocupantes por los problemas de disponibilidad de agua en algunos municipios y áreas urbanas, en especial, durante periodos con condiciones climáticas extremas, como las épocas secas y aquellas con presencia del fenómeno cálido del Pacífico” (El Niño). (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010, p. 81)

Asimismo, en el citado documento, se contempla como estrategia para el uso eficiente y sostenible del agua “*desarrollar e implementar mecanismos que promuevan cambios en hábitos de consumo no sostenibles en los usuarios del agua*” (p. 99).

Este tipo de políticas es especialmente relevante si se consideran las proyecciones de escasez del agua realizadas por el IDEAM (2014). Según el informe, cabeceras como Bogotá, Cali, Tunja, Duitama, Facatativá, Pasto, Barrancabermeja y San Andrés presentan una alta vulnerabilidad por disponibilidad de agua, en años medios y secos, es decir, presentan un índice de escasez mayor a 50, medido como la relación demanda/oferta neta. Del mismo modo, la entidad afirma que:

“318 cabeceras municipales pueden presentar problemas de desabastecimiento en épocas secas lo cual podría afectar una población de aproximadamente 11.530.580 habitantes entre las cuales se destacan Chiquinquirá, Paipa, Floresta, Soracá, Manzanares, Yopal, Neiva, Maicao, Santa Martha, Buga, Palmira entre otras”. (IDEAM, 2014)

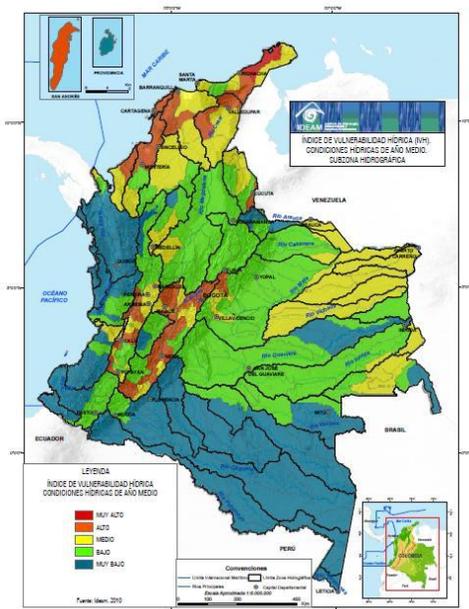


Figura 2. Índice de Vulnerabilidad Hídrica (IVH).
Condiciones Hídricas de Año Medio. Fuente: IDEAM, 2010.

En Colombia, el suministro de agua potable es concebido como un servicio público que presenta las características de un monopolio natural, por lo que los precios que pagan los consumidores por este son regulados por el Gobierno Nacional (CRA, 2015). Actualmente, el precio de este bien se determina mediante metodologías tarifarias¹¹, las cuales son adoptadas por la CRA y están orientadas por los principios de eficiencia económica, neutralidad, solidaridad, redistribución, suficiencia financiera, simplicidad y transparencia¹² (Ley 142 de 1994).

Los precios determinados en estas metodologías tarifarias deberían cubrir, además, los costos de oportunidad de las externalidades económicas y ambientales (Rogers, et al., 1998). Cuando se establece un precio para el agua potable que no cubre dichos costos, la tendencia de los hogares es consumirla de manera ineficiente; por el contrario, si se establecen precios inasequibles para hogares con bajos ingresos, estos acceden de manera insuficiente a este recurso

¹¹ Establecidas en la *Resolución CRA 688 de 2014*, para empresas de este servicio público que atienden más de 5.000 suscriptores (hogares) y la *Resolución CRA 287 de 20055*, para las demás empresas.

¹² Estos principios se refieren a que los precios sean como los que se hubieran dado en un mercado competitivo y no discriminatorio: que se facilite el acceso a poblaciones de bajos ingresos mediante subsidios y contribuciones; que las empresas alcancen a cubrir sus costos y que el régimen tarifario sea de fácil entendimiento.

y la satisfacción de sus necesidades básicas puede verse vulnerada. Por esta razón, es importante establecer precios que permitan controlar la demanda de agua, promover su uso eficiente, financiar inversión en infraestructura para su suministro y garantizar el acceso a toda la población (OCDE, 2013).

En tal sentido, en 2010, la CRA, ante el fenómeno de sequía producida por *El Niño*, por primera vez introdujo medidas tarifarias para desincentivar el consumo de los hogares en aquellos municipios con vulnerabilidad en el abastecimiento de agua. Dicha medida estuvo amparada por lo dispuesto en la Ley 373 de 1997¹³.

Los recursos recolectados por efecto del desincentivo debieron ser administrados conforme a lo establecido en el Decreto 587 de 2010, emitido por presidencia, el cual creó una subcuenta de inversiones ambientales para la protección del recurso hídrico en el Fondo Nacional Ambiental (FONAM),

“integrada por los recursos provenientes de los desincentivos económicos establecidos por la CRA - en desarrollo artículo 7° de la Ley 373 de 1997 en los casos en que se presente disminución en los niveles de precipitación ocasionados por fenómenos de variabilidad climática, con base en la información que para el efecto divulgue el IDEAM. Dichos recursos, se destinarán a la protección, reforestación y conservación de las cuencas hidrográficas abastecedoras de acueductos municipales y a campañas que incentiven el uso eficiente y ahorro de agua”.

Si bien, el desincentivo fue creado por primera vez en febrero de 2010, el mismo ha sufrido posteriores modificaciones en los niveles considerados de consumo excesivo en un hogar (Apéndice A). A partir de estos, al precio calculado mediante la metodología se le adiciona un valor establecido por la CRA *“para promover el uso eficiente y ahorro del agua potable y así desincentivar su consumo excesivo”*.

Los niveles a partir de los cuales se considera que se da un consumo excesivo de agua fueron fijados con base en que las necesidades de agua varían según la altitud en la que están los hogares. Para ello, la CRA parte de clasificar los municipios de una muestra representativa según el piso térmico donde se encuentran ubicados. Al respecto esta afirma que:

¹³ “[...] es deber de la Comisión Reguladora de Agua Potable y Saneamiento Básico, de las Corporaciones Autónomas Regionales y demás autoridades ambientales, de acuerdo con sus competencias, establecer consumos básicos en función de los usos del agua, desincentivar los consumos máximos de cada usuario y establecer los procedimientos, las tarifas y las medidas a tomar para aquellos consumidores que sobrepasen el consumo máximo fijado”.

“Tal clasificación se realizó debido a la correlación existente entre la temperatura y la altitud geográfica. En adición, la OPS considera una relación directa y positiva entre la temperatura ambiente y el consumo de agua, así como para su demanda relacionada con la higiene personal. De acuerdo con Swaw Pin Miaou (1990), quien estudió la incidencia del cambio climático sobre la demanda de agua en Austin (Texas), la temperatura es una variable significativa e influyente en la demanda de agua potable; resultados similares arrojan los trabajos de Aguilar (2000) para el Estado de Zacatecas en México”. (CRA, 2010, p. 18)

Estas medidas regulatorias han buscado dar una señal (vía precios) que incentive el uso eficiente del agua potable y, de paso, induzca a los usuarios del servicio a cambiar sus patrones de conducta sobre la forma de utilización de este recurso vital. En este sentido, se piensa que un tratamiento diferencial, a nivel de precios, para los metros cúbicos consumidos por encima del nivel considerado excesivo constituiría un desincentivo efectivo para promover el uso eficiente y ahorro de agua potable (principalmente durante las temporadas de estrés hídrico notificadas por el IDEAM). La hipótesis de la CRA era que dichas medidas podrían ser efectivas, toda vez que varios estudios han demostrado que la elasticidad precio de la demanda de agua residencial es negativa.

No obstante, Howe y Linaweaver (1967) establecieron que, aunque el precio se ha considerado como el principal instrumento para modificar la conducta de los individuos, si el consumidor presenta una demanda inelástica, la manipulación del precio por parte de los hacedores de política se limita a cubrir los costos de la infraestructura y mejorar el acceso a la población de menores ingresos.

De la revisión de la literatura se observa que, en Colombia aún no se han evaluado los efectos que esta política de cobro por consumo excesivo de agua ha tenido en el consumo de los hogares en los departamentos objeto de la medida. Tampoco se cuenta con resultados de la forma en que los determinantes de la demanda por consumo de agua potable en el sector residencial han permitido el efecto deseado, o no, de la medida. Esto ha limitado el accionar de los diseñadores de política en la reestructuración de la medida de cobro por consumo excesivo para lograr resultados más contundentes en épocas de extrema sequía y estrés hídrico, como el que se vive actualmente.

Sin embargo, a nivel internacional se encuentran estudios sobre el efecto de políticas para desincentivar el consumo de agua. Baerenklau et al. (2014), través de un panel de datos del consumo de agua en California, evalúan el efecto

en la demanda de incluir una política de bloques tarifarios o una estructura de precios escalonada. Su hallazgo es que la aplicación de la medida redujo la demanda en un 17%. Los autores concluyen que el escalonamiento en los precios se constituye en una herramienta de conservación altamente efectiva. Otro descubrimiento importante es que los hogares que se enfrentan a precios más altos del agua aprenden a ser más eficientes en el uso de la misma: adoptan nuevos hábitos y, por lo tanto, son menos propensos a regresar a patrones de consumo "alto", en caso de que los precios disminuyeran en el futuro.

A pesar de ello, dadas las características del agua como bien de primera necesidad, se puede suponer que una política de precios afectará principalmente al consumo diferente al básico. Martínez-Espiñeira y Nauges (2004) propusieron un modelo de demanda que probara que los hogares no pueden reducir su consumo de agua a cero. Esta hipótesis la definieron para determinar que una cantidad "non-zero" correspondería al agua consumida para la satisfacción mínima de las necesidades básicas y para la utilización de electrodomésticos. A través de una función de utilidad Stone-Geary, explicaron la existencia de un "nivel de subsistencia" inelástico del agua. Los autores concluyen que, luego de definir el mínimo de consumo para Sevilla (6,4 m³/mes), los nuevos aumentos de precios o las prohibiciones temporales probablemente serían eficaces para inducir a los hogares a reducir su consumo. Ellos anotan que, una vez alcanzado el umbral, se deberían preferir políticas tales como campañas de información o promoción de equipos de consumo eficiente del agua.

De todo lo dicho hasta el momento, podemos afirmar que existe una literatura extensa que soporta la condición inelástica del consumo de agua. A nivel internacional, se ha demostrado que los consumidores reaccionan ante choques en la tarifa y que, a el mediano plazo, modifican sus patrones de consumo y de uso racional del recurso superior al básico. Además, existe soporte de que estas medidas pueden ser efectivas a partir de consumos que excedan los requerimientos mínimos de los hogares.

Pero, para el caso colombiano, no se encuentran estudios que analicen el impacto que ha tenido la aplicación de medidas de sobre costo por consumo excesivo de agua a nivel de hogares. Esto es importante considerarlo, ya que este tipo de investigaciones podrían contribuir al diseño de políticas públicas más efectivas para el cuidado de este recurso, cada vez más escaso y de alta importancia socioeconómica.

Lo anterior se soporta, en el hecho de que las Naciones Unidas reconoce el acceso al agua potable como un derecho básico de la humanidad, y como un paso esencial hacia la mejoría de los estándares de calidad de vida en todo el mundo,

toda vez que las comunidades con dificultades para acceder a agua potable, por lo general, son económicamente más pobres, y suelen estar atrapadas en un círculo vicioso de pobreza. Es así como, en tiempos de variabilidad climática, políticas efectivas en el control del consumo de agua potable tienen un efecto no solo en la distribución del recurso, sino en las condiciones socioeconómicas de una sociedad.

3. Pregunta de investigación – hipótesis

La pregunta principal que este estudio busca resolver es: *¿la medida de precios en bloques implementada por el Gobierno Nacional desincentiva el consumo excesivo de agua potable por parte de los hogares?* Adicional a esto, se evalúan los principales determinantes del consumo de agua potable por parte de los hogares en los departamentos con situaciones ambientales de riesgo de desabastecimiento, señalados por el IDEAM.

De acuerdo con lo explicado en los anteriores capítulos, el IDEAM informó a la CRA los periodos y departamentos en que han debido implementarse medidas de desincentivo al consumo excesivo de agua potable, con el ánimo de mitigar el riesgo de escasez de agua, con ocasión del fenómeno El Niño. En este sentido, este estudio provee un análisis en el que se determina si la medida produjo los resultados esperados y, a partir del estudio de los determinantes de la función de demanda de agua, precisa sobre qué componentes deberían orientar las acciones de política pública ante una revisión de la política de cobro por consumo excesivo de agua.

La hipótesis de este estudio es que las políticas de precio implementadas por el Gobierno colombiano serán más eficaces para la reducción del consumo de agua potable si se consideran las variables climáticas y las variables socioeconómicas de una región. Tal como lo plantean Ruijsa et al. (2008),

“Las preferencias de agua y los efectos estacionales se miden mejor mediante la inclusión de los datos mensuales de precipitación y temperatura. Por ejemplo, la demanda de agua aumentará cuando las temperaturas son altas, debido a la alta evaporación y la alta demanda de agua para piscinas, lavandería y lavado”.

4. Datos

4.1 Descripción de datos

Para el desarrollo de este estudio, se estructuró una base de datos que cuenta con información de 60 meses (enero de 2010 a diciembre de 2015), perteneciente a hogares ubicados en los departamentos objeto de la medida de cobro por

consumo excesivo de agua en todas sus activaciones por parte de la CRA. Estos son: La Guajira, Cesar, Magdalena, Bolívar, Norte de Santander, Santander, Boyacá, Risaralda, Quindío, Caldas y Tolima.

Todas las empresas públicas del país prestadoras del servicio de acueducto están en la obligación de reportar mensualmente ante SSPD —a través del Sistema Único de Información (SUI)— los datos referentes a los consumos de agua potable registrados para cada uno de sus usuarios (hogares, establecimiento comerciales, industriales y oficiales), el valor total a pagar en cada factura y otros aspectos de caracterización de los consumidores (p. ej. estrato y municipio) y si es objeto de subsidio o pago de contribución¹⁴.

Para efectos del presente estudio, se tomó toda la información asociada a los usuarios residenciales (en adelante hogares) que se encuentra disponible en el SUI. Dicha información se sometió a procesos de depuración detalladas con el fin de tener datos reales y de calidad, relacionados con el consumo mes a mes de todos los hogares reportados durante el periodo de interés.

En total, la base consta de 33'807.417 observaciones e incluye las variables descritas en la Tabla 1, dentro de las cuales se ha incluido el PIB departamental anual como indicador de los cambios en el nivel de la economía de los departamentos, con el fin de aislar efectos en la población que no son atribuibles a la política —tal como lo recomienda Aedo (2005)¹⁵—. Adicionalmente, y con el fin de incluir en análisis las variables climatológicas de los municipios, se complementó la base de datos del SUI con información disponible en el IDEAM para los años objeto de estudio.

Tabla 1
Fuentes de información y datos de la base

Fuente	Variable	Descripción
Superintendencia de	Consumo	Valor en metros cúbicos del consumo total

¹⁴ En Colombia, la Ley 142 de 1994, estableció que el monto a pagar por el usuario final (tarifa) de servicios públicos domiciliarios (incluido el acueducto), refleja un sistema de subsidios cruzados. En el cual, se incorpora un descuento por subsidio otorgado a los usuarios residenciales de menores ingresos (estratos 1, 2 y 3), o un factor de contribución por aporte solidario de los usuarios residenciales de mayores ingresos (estrato 5 y 6) y de los usuarios industriales y comerciales. El monto a subsidiar o contribuir es definido por cada administración municipal en función de su disponibilidad de recursos y el balance entre los montos recaudados por concepto de contribución y los que se requieren por concepto de subsidios.

¹⁵ “Una evaluación de impacto debe identificar si existen o no relaciones de causa efecto entre el programa y los resultados obtenidos y esperados, ya que pueden existir otros factores que ocurren durante el periodo de intervención del programa, que están correlacionados con los resultados y que no han sido causados por el programa. Por ejemplo, cambios a nivel agregado en la economía o en la sociedad, o cambios que afectan a la población objetivo del programa independiente de si son o no beneficiarios”. (Aedo, 2005).

Fuente	Variable	Descripción
Servicios Públicos Domiciliarios (Sistema Único de Información de Servicios Públicos-SUI). Información de la facturación reportada por los prestadores de servicios públicos, para el caso los prestadores de acueducto.		de agua de cada hogar
	Consumo excesivo	Variable <i>dummy</i> que toma el valor de 1 cuando el hogar presentó consumo excesivo y, por lo tanto, debe pagar el sobrecosto, y 0 en el caso contrario
	Cargo efectivo	Valor percibido por el usuario de cada metro cúbico de agua consumida, calculado como el valor total de la factura de acueducto, sobre el consumo (<i>precios corrientes</i>)
	Estrato	Categorización socioeconómica de cada hogar que toma valores entre 1 y 6, donde 1 es la categoría para personas con más bajos recursos y 6 para hogares con más altos recursos
	Subsidio y contribución	Variable <i>dummy</i> que toma el valor de 1 cuando el hogar debe pagar contribución y 0 cuando no
Departamento Nacional de Planeación	Tipología del municipio	Categorización del entorno de desarrollo de un municipio, que toma valores entre A y G, donde A corresponde a los municipios con entorno de desarrollo robusto y G a aquellos con entorno de desarrollo incipiente
Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales	Precipitación	Cantidad de hidrometeoros promedio en un municipio por mes (medida en litros). Puede entenderse como la cantidad promedio de lluvia que cae en un municipio
	Altura	Metros sobre el nivel del mar
	Temperatura	Valor en centígrados del promedio de la magnitud de calor de un municipio
Departamento Administrativo Nacional de Estadística	PIB Departamental	Valor del producto interno bruto de un departamento (<i>precios corrientes</i>)
	Densidad poblacional	Cantidad de habitantes por hogar en cada municipio, según censo de 2005

Fuente: elaboración propia

Es de anotar que la base de datos fue construida específicamente para el desarrollo de este estudio; cada una de las variables incluidas en la misma han sido recolectadas o construidas por entidades del Gobierno Nacional con objetivos diferentes a la evaluación del impacto de la política de sobrecosto por consumo excesivo de agua. Esta situación implicó un esfuerzo adicional en su estructuración y en la consideración de variables asociadas a la caracterización socioeconómica específica de cada uno de los hogares observados.

4.2 Estadísticas descriptivas

En esta sección, se llevará a cabo un análisis de las estadísticas descriptivas de la demanda de agua potable en los hogares. Se diferencian entre los periodos en los que no estuvo vigente la medida y en los que sí.

Los datos recolectados corresponden a un total de 1.199.955 hogares. De este total, 978.244 (81%) son hogares que durante la aplicación de la norma no fueron objeto de sobrecosto por consumo excesivo y los 221.711 restantes (19%) son hogares que, por el contrario, en algún momento de activación de la norma, fueron objeto de sobrecosto por consumo excesivo (grupo de control y tratamiento, que se abordará con detalle posteriormente). En todos los periodos, la media de consumo de los hogares fue de 13,89 m³. En los periodos en que no se encontraba vigente la medida, los hogares consumieron en promedio 14,07 m³, mientras que en los periodos en los que la medida fue activada, el promedio se ubicó en 13,48 m³.

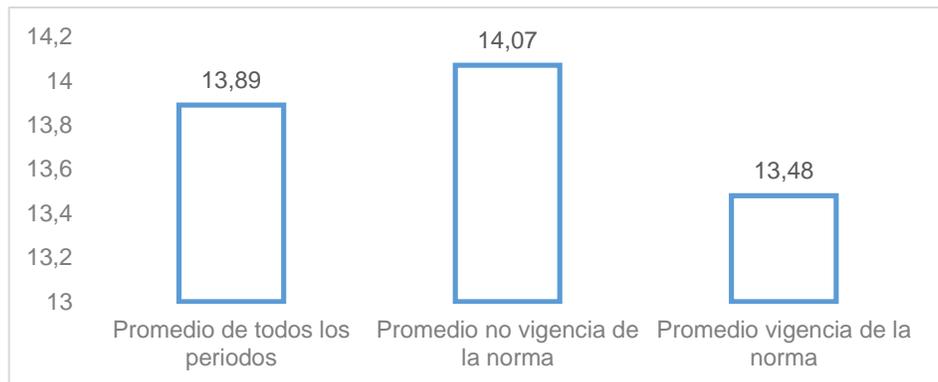


Figura 3. Promedio de consumo según vigencia de la norma. Fuente: elaboración propia

Se evidencia, por otra parte, que los hogares del grupo de tratamiento consumen en promedio más que los hogares del grupo de control. El promedio de consumo del grupo de tratamiento en todos los periodos es de 25,15 m³, mientras que el del grupo de control es de 12,18 m³. Durante la vigencia de la norma, el grupo de control disminuyó el promedio de su consumo a 11,34 m³, mientras que el grupo de tratamiento lo incrementó a 27,02 m³. Al contrario, durante los periodos en los que la norma no se encontraba en vigencia, el promedio de consumo del grupo de tratamiento disminuyó a 24,2 m³, mientras que en el grupo de control se incrementó a 12,54 m³. Según lo anterior, la norma cumple con el objetivo de reducir el consumo, toda vez que el mismo en promedio se reduce. No obstante, puede que los hogares del grupo de tratamiento, por sus características, se encuentren en el límite de su consumo y, dadas las condiciones en las que se

aplicó la norma, especialmente en el caso de incremento de la temperatura, es posible que hayan modificado su consumo de manera ascendente. Por el contrario, el grupo de control pareciera tener más posibilidades de flexibilizar su demanda de agua potable.

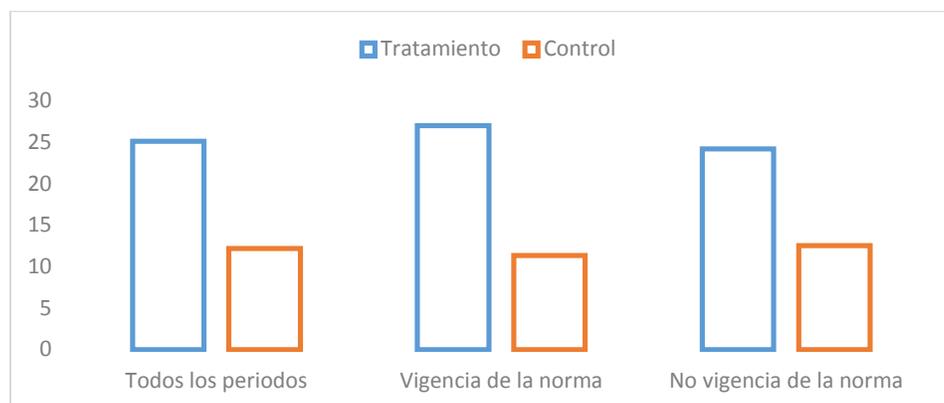


Figura 4. Consumo promedio según el grupo y vigencia de la norma. Fuente: elaboración propia.

El promedio, teniendo en cuenta la altura sobre el nivel del mar, arroja también información relevante: la tendencia es que, a mayor medida, menor es el consumo de agua potable, tanto para los grupos de tratamiento como de control. Esto puede verse en el hecho de que el promedio del consumo de los municipios con altura menor a los 500 msnm fue de 15,40 m³, mientras que en los municipios con altura mayor a 2.500 msnm fue de 11,50 m³.

Lo anterior es evidencia de que la altura en la que se encuentre el hogar afecta el consumo de agua potable del mismo. Esto debería tenerse en cuenta en la planificación para el suministro de agua potable y en el desarrollo diferenciado de políticas públicas, según las características geográficas.

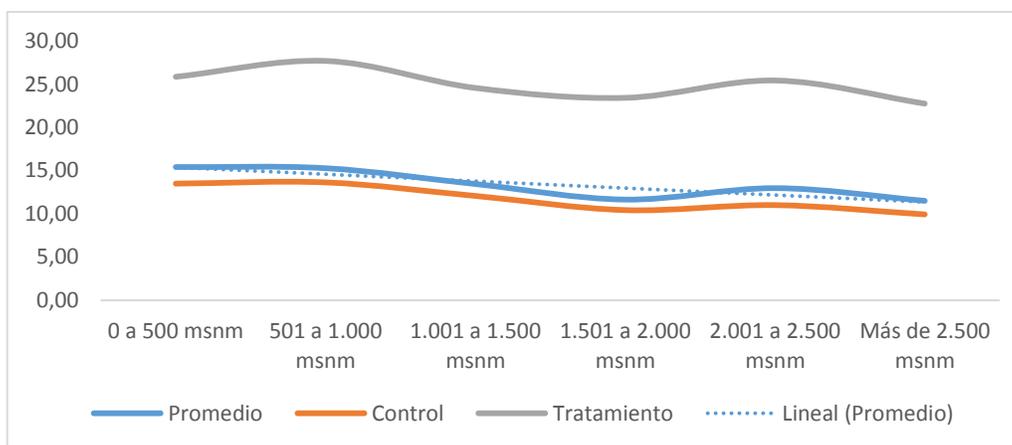


Figura 5. Promedio en el consumo de agua potable según la altura del municipio.
Fuente: elaboración propia

5. Análisis empírico

5.1 Metodología

La metodología utilizada en el presente estudio se enmarca en una evaluación de impacto, la cual tiene como propósito determinar si un programa produjo los efectos deseados en las personas, hogares e instituciones a los cuales este se aplica. Esto se hace para obtener una estimación cuantitativa de estos beneficios y evaluar si ellos son o no atribuibles a la intervención del programa (Aedo, 2005). Para ello, la evaluación de impacto busca establecer la diferencia entre la situación de la variable (hogar participante en el programa) cuando se desarrolla tanto dentro y como fuera del programa (Bernal et al., 2015).

En este mismo sentido, se busca identificar el efecto causal del tratamiento (política de cobro por consumo excesivo) sobre el hogar i , en términos de la variable de resultados Y (consumo de agua potable). Esto se haría de la siguiente forma:

$$\tau_i = (Y_i|D = 1) - (Y_i|D = 0) \quad (4)$$

Para el caso de este estudio, el grupo de seguimiento corresponde a los usuarios de los municipios objeto de la medida de cobro por consumo excesivo de agua

(2010, 2014 y 2015)¹⁶. Dichos municipios están ubicados en los departamentos de: La Guajira, Cesar, Magdalena, Bolívar, Norte de Santander, Santander, Boyacá, Risaralda, Quindío, Caldas y Tolima.

Así las cosas, el grupo de tratamiento ($D_i = 1$) corresponde a los usuarios que presentaron consumo excesivo de agua potable¹⁷ durante el periodo de vigencia de la medida y, por ende, fueron objeto del sobrecosto definido por la regulación. De otro lado, el grupo de control ($D_i = 0$) son los usuarios que no presentaron consumo excesivo de agua potable durante el periodo de vigencia de la medida.

Para este estudio se empleó la técnica de datos panel, que permite considerar los efectos fijos de los hogares que pueden ocasionar comportamientos no aleatorios en el consumo de agua potable y los efectos temporales que pueden afectar la totalidad de los usuarios, así como las variables explicativas, cuyo comportamiento varía en el tiempo (t). El estimador del modelo fue seleccionado con base en el Test de Hausman, el cual compara los β del estimador de efectos fijos y efectos aleatorios para identificar si existen diferencias significativas entre ellos. Es así como la hipótesis nula del test comprueba la existencia de una no correlación entre los α_i y las variables explicativas (regresores).

$$\text{corr}(\alpha_i, X) \neq 0 \quad (5)$$

5.2 Regresiones

Para estimar el efecto de la política se emplearon dos ecuaciones lineales que consideran las variables explicativas encontradas en la revisión de la literatura. No obstante, y tal como se explicó anteriormente, dado que la base de datos fue construida específicamente para la elaboración de este estudio, y cada una de las variables incluidas en la misma ha sido recolectada o construida por entidades del Gobierno Nacional con objetivos diferentes a los propuestos en esta investigación, no se cuenta con una caracterización socioeconómica específica de cada uno de los hogares observados. Por ello, se debieron realizar aproximaciones en las siguientes variables: primero, en el nivel de ingresos del hogar, a través de la estratificación socioeconómica del predio; y segundo, en la cantidad de habitantes por hogar, a partir de la densidad poblacional municipal (para ello se tomó la

¹⁶ En el caso de la política de cobro por consumo excesivo de agua, el IDEAM era la entidad responsable de evaluar cuáles departamentos se encontraban ante riesgo de desabastecimiento. En tal sentido, la medida fue aplicada en aquellos departamentos afectados por un evento fortuito ("estrés hídrico").

¹⁷ Tuvieron consumos superiores al nivel de consumo excesivo (consultar Apéndice A)

información recopilada en el último censo general nacional, realizado por el DANE en 2005).

La primera de las funciones utiliza efectos fijos para controlar las características no observables de los individuos, que pueden estar correlacionadas con las variables independientes. La segunda función, además de efectos fijos, incluye efectos de tiempo para controlar los efectos comunes a todos los individuos¹⁸.

Primera función:

$$Y_{it} = \alpha + \beta_1 D_{it(v)} + \beta_2 D + \beta_3 x_{1,t} + \beta_4 x_{2,it} + \beta_5 x_{2,it-1} + \beta_6 x_{3,kt} + \beta_7 x_{4,kt} + \beta_8 x_{5,kt} + \beta_9 x_{6,k} + \beta_{10} x_{7,i} + \beta_{11} x_{8,k} + u_{it} \quad (6)$$

Donde,

- Y_{it} : Consumo de agua potable del hogar i en el periodo t, medido en m³
- α : Constante
- $D_{it(v)}$: Indicador de tratamiento en los periodos en que estuvo vigente la norma
- D : Indicador de tratamiento en todos los periodos
- $x_{1,t}$: Indicador de vigencia de la norma (1 cuando aplica, 0 en caso contrario)
- $x_{2,it}$: Valor en pesos por metro cúbico facturado al hogar i en el periodo t
- $x_{2,it-1}$: Valor en pesos por metro cúbico facturado al hogar i en el periodo anterior
- $x_{3,kt}$: Indicador de precipitación del municipio k en el periodo t
- $x_{4,kt}$: Indicador de la temperatura del municipio k en el periodo t
- $x_{5,kt}$: Valor del PIB del departamento al que pertenece el municipio k en el periodo t
- $x_{6,k}$: Grado de desarrollo del municipio k
- $x_{7,i}$: Variable categórica del estrato del hogar, que toma valores entre 1 y 0, de acuerdo con la clasificación colombiana
- $x_{8,k}$: Variable categórica de la altura del municipio, que toma valores entre 1 y 6 de la siguiente forma:
 - 1 cuando la altura es menor a 500 metros
 - 2 cuando la altura es mayor a 500 metros, pero menor a 1.000 metros
 - 3 cuando la altura es mayor a 1.000 metros, pero menor a 1.500 metros
 - 4 cuando la altura es mayor a 1.500 metros, pero menor a 2.000 metros
 - 5 cuando la altura es mayor a 2.000 metros, pero menor a 2.500 metros

¹⁸ Cabe señalar que estas ecuaciones fueron analizadas previamente sin incluir el control por efectos fijos. No obstante, después de realizar el Test de Hausman, se identificó que, a través del método de efectos fijos, se lograba un estimador insesgado. Los resultados de estas modelaciones se presentan en los anexos.

6 cuando la altura es mayor a 2.500 metros
 u_{it} : Término de perturbación con media cero

Segunda función:

$$Y_{it} = \alpha_i + \beta_1 D_{it(v)} + \beta_2 x_{1,it} + \beta_3 x_{2,it} + \beta_4 x_{3,it} + \beta_5 x_{4,kt} + \beta_6 x_{5,kt} + \beta_7 x_{6,k} + \beta_8 x_{7,i} + \beta_9 x_{8,k} + \beta_{10} x_{9,i} + \beta_{10} t + u_{it} \quad (7)$$

Donde,

- Y_{it} : Consumo de agua potable del hogar i en el periodo t, medido en m³
- α_i : Efectos fijos del hogar i
- $D_{it(v)}$: Indicador de tratamiento en los periodos en que estuvo vigente la norma
- $x_{1,t}$: Indicador de vigencia de la norma (1 cuando aplica, 0 en caso contrario)
- $x_{2,it}$: Valor en pesos por metro cúbico facturado al hogar i en el periodo t
- $x_{3,kt}$: Indicador de precipitación del municipio k en el periodo t
- $x_{4,kt}$: Indicador de la temperatura del municipio k en el periodo t
- $x_{5,kt}$: Valor del PIB del departamento al que pertenece el municipio k en el periodo t
- $x_{6,k}$: Grado de desarrollo del municipio k
- $x_{7,i}$: Dummy subsidio y contribución
- $x_{8,k}$: Habitantes por hogar del municipio k
- $x_{9,i}$: Variable categórica del estrato del hogar
- t: Tendencia del tiempo
- u_{it} : Término de perturbación con media cero

5.3 Resultados empíricos

Los resultados para ambas ecuaciones, que se presentan en la Tabla 2 y la Tabla 3, respectivamente, indican un buen desempeño del modelo. En ambas ecuaciones, las variables son significativas (con excepción del PIB en la primera ecuación y el estrato 4 en la segunda) y muestran los coeficientes con los signos esperados.

Se encuentra que hay un efecto negativo en el indicador de vigencia de la norma, ya que, durante los periodos de aplicación medida, los hogares consumen 0,94 m³ y 0,7 m³ menos. Sin embargo, se observa que los hogares que fueron objeto de cobro (grupo de tratamiento) tienen un consumo de 11 m³ y 13 m³ más que aquellos que no lo fueron (grupo de control).

Con respecto al precio, se observa que este tiene un impacto negativo en el consumo. Sin embargo, de acuerdo con los resultados de la primera función, es

necesario incrementar en \$10.000 cada metro cúbico para que haya una disminución de 0,16 m³ a 0,17 m³. Es decir que, en concordancia con lo observado en la literatura, el consumo de agua potable para Colombia es inelástico en el precio. El precio de la factura anterior tampoco tiene un efecto significativo en la factura.

En relación con los aspectos meteorológicos, los resultados señalan que los hogares en los municipios con temperaturas más altas tienen un mayor consumo de agua potable: por cada 10°C que aumenta la temperatura, los hogares consumen entre 0,86 m³ y 0,017 m³ más de agua. En cuanto a la precipitación, los hogares en los municipios en que más se presenta este fenómeno tienen menor consumo: por cada 1.000 litros de precipitación que tiene un municipio, el consumo del hogar disminuye de 0,8 m³ a 0,13 m³. Lo anterior puede ser consecuencia de las prácticas culturales de uso de aguas lluvias para diferentes necesidades de los hogares (p. ej. Cesar y Risaralda).

Tabla 2
Resultados de la función 1

Método	Efectos fijos	Desviación estándar
Vigencia de la norma	-0,9416	0,0031427
Tratamiento en los periodos de vigencia	11,9247	0,0108023
Tratamiento en general	<i>Omited</i>	
Cargo efectivo	-1,63E-05	0,00000576
Cargo efectivo rezagado	-4,15E-06	5,18E-07
Precipitación	-0,0008	0,0000111
Temperatura	0,0867	0,0011259
PIB del Departamento	7,50E-07	2,45E-07
Grado de desarrollo del municipio	-0,2226	0,0075428
Estrato 2	0,0198	0,0158399
Estrato 3	-0,2541	0,018984
Estrato 4	-0,4922	0,0307318
Estrato 5	-0,5304	0,0665334
Estrato 6	-0,7697	0,0825922
Altura 2 (501-1000 msnm)	<i>Omited</i>	
Altura 3 (1001-1500 msnm)	<i>Omited</i>	
Altura 4 (1501-2000 msnm)	<i>Omited</i>	
Altura 5 (2001-2500 msnm)	<i>Omited</i>	
Altura 6 (25001-3000 msnm)	<i>Omited</i>	
Constante	13,1856	0,0323519
Observaciones		27.871.166
R^2		0,1192

Los errores estándar robustos de heterocedasticidad se muestran bajo cada uno de los coeficientes. Los coeficientes son significativos a un nivel de confianza de 5%

Los resultados del test de Hausman, muestran un chi2 de 35715,65 y una Prob>chi2 igual a 0.0000 (Menor de 0.05), lo cual nos lleva a rechazar la hipótesis nula, es decir, debemos seleccionar el estimador para efectos fijos.

Fuente: elaboración propia

A partir de los resultados obtenidos en ambas funciones, es posible concluir que entre menos desarrollado es el municipio, se presenta un menor consumo de agua por parte de los hogares (-0,2 m³ y -0,4 m³). Además, el PIB en la función 2 muestra que esta variable tiene un efecto negativo en el consumo de agua potable.

Ahora bien, al analizar los resultados en relación con el estrato, se evidencian diferencias entre ambas funciones. En la primera, los estratos 2 a 6 tienen un consumo menor que el estrato 1, lo cual puede deberse las características que presenta cada estrato (p. ej. el tamaño del hogar). Sin embargo, en la función 2, una vez se introduce la variable *dummy* para denotar el subsidio y la contribución, se observa el efecto contrario: los estratos 2 a 6 consumen más que el estrato 1. En adición, la variable *dummy* demuestra que los hogares con subsidio tienden a consumir mayor cantidad de agua que los hogares sin subsidio y con contribución.

Tabla 3
Resultados de la función 2

Método	Efectos fijos y temporales	Desviación Estándar
Vigencia de la norma	-0,7088	0,0145
Tratamiento en los periodos de vigencia	13,0086	0,0097
Tratamiento en general	<i>Omitted</i>	0,0000
Cargo efectivo	-0,0000179	-0,0000
Precipitación	-1,37E-03	0,0000
Temperatura	1,74E-02	0,0009
PIB del Departamento	-1,33E-07	0,0000
Grado de desarrollo del municipio	-0,4081	0,1264
Dummy subsidio y contribución	1,43E-01	0,0079
Habitantes por hogar	<i>Omitted</i>	0,0000
Estrato 2	0,3121	0,0139
Estrato 3	0,4577	0,0157
Estrato 4	<i>Omitted</i>	0,0000
Estrato 5	0,4931	0,0506
Estrato 6	0,4234	0,0674
Constante	14,8312	0,3910
Observaciones		33.807.417
R ²		0,1075

Los errores estándar robustos de heterocedasticidad se muestran bajo cada uno de los coeficientes. Los coeficientes son significativos a un nivel de confianza de

Los resultados del test de Hausman, muestran un chi2 de 90714,23 y una Prob>chi2 igual a 0.0000 (Menor de 0.05), lo cual nos lleva a rechazar la hipótesis nula, es decir, debemos seleccionar el estimador para efectos fijos.

Fuente: elaboración propia

6. Conclusiones

Si bien existe una literatura extensa que soporta la condición inelástica del consumo de agua, para el caso colombiano no se encuentran estudios que analicen el impacto que han tenido las medidas de sobrecosto por consumo excesivo de agua a nivel de hogares, considerando sus efectos individuales. Por ello, y con el fin de aportar al análisis e iniciar el proceso de llenar el vacío encontrado, con el presente estudio —a través de la aplicación de modelos de datos de panel— se buscó superar problemas de multicolinealidad y controlar la heterogeneidad no observable en datos panel.

Así, se encontró que, si bien la medida de desincentivo al consumo excesivo de agua potable —que tiene como propósito mitigar el riesgo de escasez de agua con ocasión al fenómeno El Niño— ha sido efectiva, los efectos de la misma han demostrado ser bastante modestos en la reducción del consumo de los hogares de los departamentos objeto de la misma.

Lo anterior, puede estar relacionado con el hecho de que, pese a que el Gobierno colombiano tuvo en cuenta los niveles de consumo promedios según altitud sobre el nivel del mar, existen variables no observadas que conducen a que los hogares que cuentan con niveles superiores de consumo de agua no puedan reducirlo al esperado por la política. Las variables no observables podrían incluir, entre otras, el número específico de habitantes por hogar, los hábitos de cocción de alimentos, el nivel de cultura en relación con el uso racional del agua o la existencia de zonas verdes objeto de riego periódico. Estas variables, a pesar de tener un efecto directo en la demanda agua, no se encuentran disponibles en las bases de datos nacionales que categorizan los hogares (suscriptores del servicio público de aseo), lo cual es una limitante a la hora de hacer análisis detallados que incluyan todos los determinantes del consumo de agua, identificados en la revisión de la literatura.

Así, los hogares que presentan consumo excesivo tienen una demanda de agua potable similar durante todos los periodos y, pese a que disminuyen su consumo, son multados, sin reconocer los esfuerzos realizados para la reducción. Elementos como estos deben ser considerados en la evaluación de la política pública.

En otras palabras, los hogares en el grupo de tratamiento presentan una demanda menos sensible ante cambios en el precio y, por el contrario, dados los cambios climatológicos que se presentan durante el periodo de aplicación de la norma, elevan su consumo de agua potable. Por el contrario, los hogares en el grupo de control, al tener una demanda de agua potable más sensible a cambios en el precio, restringen su consumo cuando se aumenta este factor, pese a que la

diferencia climatológica induzca a un mayor consumo. En consecuencia, la política pública podría tener una mayor efectividad, en términos de la magnitud total de agua potable dejada de consumir, si se concentrara en los hogares que tienen mayor sensibilidad en el precio.

Adicionalmente, se encontró que las políticas de precio implementadas por el Gobierno colombiano podrían ser más eficaces en la reducción del consumo de agua potable si se consideran las variables climáticas y las variables socioeconómicas de una región. Siguiendo la línea de Ruijsa et al. (2008), podemos decir que, con este estudio se evidenció que las preferencias de agua potable están relacionadas directamente con los aumentos en la temperatura e, inversamente, con la altitud sobre el nivel del mar de la población. De esta manera, para que la medida de cobro por consumo excesivo de agua tenga efectos más relevantes en la contracción de la demanda, deberá incorporar estos dos elementos, pues ello permitirá definir medidas más precisas en poblaciones al nivel del mar, toda vez que en dichas localidades se tiene mayor escasez del recurso y, al estar sometidos a mayores temperaturas, los hogares tienden a consumirlo más.

En este sentido, se sugiere que se diseñen medidas de políticas complementarias para obtener, al menos, desincentivos tarifarios proporcionales al desempeño (a la reducción) que tiene cada hogar en su nivel de consumo histórico. De igual manera, se recomienda incluir elementos diferenciadores según el nivel de desarrollo de los municipios, y consigo, de la capacidad de pago de los hogares, ya que las medidas de cobro excesivo de agua pueden afectar directamente la balanza de pagos de las familias y, en consecuencia, afectar también el cubrimiento de necesidades básicas, las cuales quedarían insatisfechas.

Finalmente, esta política de desincentivo de consumo de agua debería ir acompañada de otras políticas, como divulgación de los objetivos de la norma, con el fin de dar a conocer que, al incrementarse el precio efectivo por el consumo de agua, la política no busca aumentar los ingresos de las empresas prestadoras del servicio público de acueducto; sino que pretende consolidar una cultura de uso racional de un recurso cada vez más escaso pero vital para el desarrollo socioeconómicos de las comunidades. Así, la política pública podría ser más efectiva si se complementa con otros incentivos o apoyos, no solo monetarios, que conduzcan a contraer el consumo de agua en los hogares.

Bibliografía

- Aedo C. (2005). “*Evaluación de Impacto*”, CEPAL, Dirección de Desarrollo Económico, Santiago de Chile.
- Arbués F., M.A.García Valiñas., R. Martínez-Espiñeira (2003). “*Estimation of residential water demand: a state-of-the-art review*”, Journal of Socio-Economics, 32, 81-102.
- Arbués F., Villanúa I., Barberán R. (2010). “*Household size and residential water demand: an empirical approach*”, The Australian journal of agricultural and resource economics, 54, pp. 61–80.
- A. Ruijsa, A. Zimmermann, M. Van den Berg (2008). “*Demand and distributional effects of water pricing policies*”, Ecological Economics, 66, 506–516.
- Baerenklau, K. Schwabe, K. Dinar, A. (2014). “The Residential Water Demand Effect of Increasing Block Rate Water Budgets”, Land Economics, 90.
- Barkatullah, N. (1996). “OLS and instrumental variable price elasticity estimates for water in mixed-effects model under multiple tariff structure”, Working Papers in Economics, Department of Economics, University of Sydney.
- Bernal, R. Peña X. (2015). “*Guía Práctica para la Evaluación de Impacto*”. Universidad de los Andes, Facultad de Economía, Cuarta reimpresión actualizada.
- Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento - CRA (2010). “*Documento de Trabajo Resolución 493 de 2010, por la cual se adoptan medidas para promover el uso eficiente y ahorro del agua potable y desincentivar su consumo excesivo*”.
- Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento - CRA (2015). “*Marco tarifario de acueducto y alcantarillado para empresas con más de 5.000 suscriptores*”. Revista 18. ISSN 0123-370X.
- Departamento Nacional de Planeación – DNP (2015). “*Tipologías Departamentales y Municipales: Una propuesta para comprender las entidades territoriales colombianas*”. Dirección de Desarrollo Territorial Sostenible Grupo de Estudios Territoriales.
- Gobierno de Colombia. “*Decreto 587 de 2010, Por el cual se adiciona el Decreto 4317 de 2004*”. Diario Oficial 47.633 de febrero 24 de 2010.
- Gobierno de Colombia. “*Ley 373 de 1997, Por la cual se establece el programa para el uso eficiente y ahorro del agua*”. Diario Oficial No. 43.058 de 11 de junio de 1997.
- Granada L. (2011). “*Estimación del Consumo Básico de Agua Potable en Colombia*”, Trabajo de Grado para optar al Título de Economista,

- Universidad del Valle, Facultad de Ciencias Sociales y Económicas, Departamento de Economía, Santiago de Cali – Colombia.
- Howe y Linaweaver (1967). “The impact of price on residential water demand and its relation to system design and price structure”.
- IDEAM (2010). “Estudio Nacional de Agua”.
- IDEAM (2014). “Estudio Nacional de Agua”. Disponible en http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023080/ENA_2014.pdf
- IDEAM [en línea]. Bogotá D.C. [fecha de consulta 22 de marzo de 2016]. Precipitación ciudades. Disponible en <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/graficos-seguimiento-diario-precipitacion-principales-ciudades>
- Jiménez, D. Orrego, S. Vásquez, F. Ponce, R. (2017). “Estimación de la Demanda de Agua para Uso Residencial Urbano Usando un Modelo Discreto-Continuo y Datos Desagregados a Nivel de Hogar: el Caso de la Ciudad de Manizales, Colombia”, *Lecturas de Economía*, 86.
- Klaiber, H. Smith, K. Kaminsky, M. Strong, A. (2014). “Measuring Price Elasticities for Residential Water Demand with Limited Information”, *Land Economics*, pag 90.
- López G., Castaño E., Vélez C.E., (1992). “La Demanda Residencial de Servicio de Acueducto en Medellín, 1985-1991”, *Lecturas de Economía*, 37, 104-70.
- Martinez – Espiñeira, R. Nauges, C. (2004). “Is all domestic water consumption sensitive to price control?” *Applied Economics*, vol. 36.
- Medina C., Morales L. (2007). “Demanda por Servicios Públicos Domiciliarios en Colombia y Subsidios: Implicaciones sobre el Bienestar”, *Borradores de Economía*, 467, Banco de la República de Colombia.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (2010). “Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico”.
- Nauges, C. Blundell, R. (2001). “Estimating Residential Water Demand Under Block Rate Pricing: A Nonparametric Approach”, *Land Economics*, 76(1).
- OCDE (2013). “Water pricing for public supply”.
- Renwick, M.E., Green, R., (2000). “Do residential water demand side management policies measure up? An analysis of eight California water agencies”, *Journal of Environmental Economics and Management* 40 (1).
- Rogers P., Bhutia R., Huber A., (1998). “Water as a Social and Economic Good: How to Put the Principle into Practice”, *Global Water Partnership Technical Advisory Committee (TAC)*.
- Romano G., Salvati N., and Guerrini A., (2014). “Estimating the Determinants of Residential Water Demand in Italy”, *Water*, 6, 2929-2945.

- Ruijsa, A. Zimmermann, M. Van den Berg (2008). "Demand and distributional effects of water pricing policies", *Ecological Economics*, 66, 506–516.
- Stiglitz J. E., (2000). "*La economía del sector público*", Traducción de María Esther Tabasco y Luis Tohaira, Antoni Bosch Editor, ISBN: 8495348055.
- Trout C., Restrepo D., (2013). "Estimación de la Elasticidad Precio de la Demanda: Un Ejercicio Para el Consumo de Agua Residencial en Bogotá", Trabajo de Grado para optar el grado de Master en Economista, Pontificia Universidad Javeriana, Facultad De Ciencias Económicas y Administrativas, Maestría en Economía.
- UNESCO (2015). "Water for a sustainable World", The United Nations Educational, Scientific and Cultural.
- UNFCCC (2015). "Informe de la Conferencia de las Partes sobre su 21er período de sesiones, celebrado en París del 30 de noviembre al 13 de diciembre de 2015".
- Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres - UNGRD (2016). "¿Qué es el Fenómeno de El Niño y cómo podemos mitigar sus efectos?".

Apéndice A
Resoluciones para desincentivar consumo excesivo de agua, expedidas por la CRA

Resolución CRA	Ámbito de Aplicación	Vigencia	Nivel de consumo excesivo (m3/suscriptores) según piso Térmico		
			> 2.000 msnm	1.000 – 2.000 msnm	< 1.000 msnm
493 de 2010	La Guajira, Cesar, Magdalena, Atlántico, Bolívar, Sucre, Córdoba, Norte de Santander, Santander, Antioquia, Cundinamarca, Boyacá, Risaralda, Quindío, Caldas, Tolima, Huila, Valle, Cauca, Nariño, Arauca, Casanare, Vichada, Meta, Caquetá, Guaviare, Vaupés, Guainía, Putumayo y Amazonas, así como también en los siguientes municipios del norte del Chocó: Riosucio, Juradó, Carmen del Darién, Bojada, Bahía Solano, Medio Atrato, Quibdó, Nuquí, Alto Baudó y Río Quito	De marzo a mayo de 2010	28	34	35
695 de 2014	La Guajira, Cesar, Magdalena, Bolívar, Santander, Norte de Santander, Boyacá, Tolima, Caldas, Risaralda y Quindío	De septiembre a octubre de 2014	26	28	32
699 de 2014	La Guajira, Cesar, Magdalena, Santander, Norte de Santander, Boyacá, Tolima, Caldas, Risaralda y Quindío.	De noviembre 2014 a mayo 2015	26	28	32
714 de 2015	La Guajira, Cesar, Magdalena, Santander, Norte de Santander, Boyacá, Tolima, Caldas, Risaralda y Quindío.	De junio a octubre de 2015	26	28	32
726 de 2015	Antioquia, Bogotá D. C., Boyacá, Caldas, Cauca, Cundinamarca, Huila, Nariño, Norte de Santander, Quindío, Risaralda, Santander, Tolima y Valle del Cauca. Archipiélago de San Andrés, Providencia y Santa Catalina, Atlántico, Bolívar, Cesar, Córdoba, La Guajira, Magdalena y Sucre. Arauca, Casanare, Guaviare, Meta y Vichada.	De octubre a diciembre de 2015	22	28	32

Fuente: Elaboración propia a partir de Resoluciones CRA 493 de 2010, 695 de 2014, 699 de 2014, 714 de 2015 y 726 de 2015.

Apéndice B
Resultados de las modelaciones sin control por efectos fijos

Primera función



Segunda función

