

EFICIENCIA EN EL CONSUMO DE AGUA DE USO RESIDENCIAL

Deibys Gildardo Manco Silva* ; Jhoniers Guerrero Erazo** ; Ana María Ocampo Cruz***

Recibido: 13/03/2012

Aceptado: 05/10/2012

RESUMEN

Este artículo de revisión aborda los principales referentes acerca de la gestión de la demanda de agua desde una visión tecnológica y cultural como estrategia para el uso eficiente en sistemas de acueductos urbanos. Se hace necesario conocer las dinámicas y los factores que afectan el consumo de agua en las viviendas con el fin de generar procesos de gestión desde este nivel y trascender a niveles superiores. En la primera parte se presenta la revisión sobre la gestión de la demanda y se exponen algunas experiencias investigativas; luego se describen los aspectos técnicos y tecnológicos de los equipos de medición y los dispositivos de bajo consumo de agua; finalmente se enumeran los mecanismos sociales para lograr un uso eficiente de agua.

Palabras clave: dispositivos de medición, conservación de agua, gestión del agua, participación social.

* Administrador Ambiental, estudiante de Maestría en Ecotecnología. Co-investigador Grupo de Investigación en Agua y Saneamiento. Universidad Tecnológica de Pereira, Facultad de Ciencias Ambientales, oficina F-201. Teléfono (096)3137227 - Ext 13. Fax: (096)3137246. Correo: davis@utp.edu.co

** Ingeniero Sanitario, Magister en Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Doctor en Ingeniería. Investigador Grupo de Investigación en Agua y Saneamiento. Decano Facultad de Ciencias Ambientales. Universidad Tecnológica de Pereira, Facultad de Ciencias Ambientales, oficina F-206. Telefax (096)3137343. Correo: jhguerre@utp.edu.co

*** Administradora Ambiental, estudiante de Maestría en Gestión del Agua. Universidad Tecnológica de Pereira, Facultad de Ciencias Ambientales, oficina F-201. Teléfono (096)3137227 - Ext 13. Fax: (096)3137246. Correo: anamocampoc@gmail.com

EFFICIENCY OF RESIDENCIAL WATER CONSUMPTION

Abstract

This revision article encompasses the main models about water demand management from a technological and cultural standpoint as a strategy for having an efficient use in urban water supply systems. It is necessary to know both dynamic and factors affecting household water consumption with the purpose of generating management processes from this level and going forward to higher levels. During the first part of the article a revision is made about demand management and some research experiences are described; then, technical and technological aspects of measurement equipment and low water consumption devices are described; finally, a list of social mechanisms for achieving an efficient consumption of water is provided.

Key words: measurement devices; water conservation; water management; social participation.

INTRODUCCIÓN

El desarrollo urbano, el cambio climático, el crecimiento demográfico, la contaminación del agua y los cambios en los patrones de consumo han contribuido al desbalance entre la disponibilidad de fuentes hídricas de calidad y la demanda de agua [1, 2]. Se reconoce que los cambios a impulsar en la gestión de la demanda de agua se deben enfocar tanto en la capacidad científica y tecnológica como en los sistemas sociales; para concretar estos cambios son claves: el conocimiento, la innovación, las redes sociales y las asociaciones [3].

El uso eficiente de agua trae consigo beneficios, tanto a las empresas prestadoras del servicio de agua potable y alcantarillado en ahorro, en desarrollo y construcción de nueva infraestructura, disminución en pérdidas comerciales, disminución de costos operativos, manejo de sequías y corte de suministro, como a los usuarios, quienes obtienen un ahorro de dinero en el pago por el consumo y por el servicio de alcantarillado [4]. Entre los beneficios ambientales, se encuentra la disminución de la presión en la demanda del recurso y la disminución en las descargas generadas a las fuentes hídricas receptoras.

Es necesario conocer las dinámicas del consumo en los hogares a fin de generar procesos de gestión desde este nivel y así trascender a niveles superiores.

1. GESTIÓN DE LA DEMANDA

El crecimiento constante de la población y la necesidad de atender la demanda de agua requerida para satisfacer sus necesidades básicas considera estrategias de gestión que promuevan un uso eficiente de agua, tales como: regulaciones legales, medidas tarifarias, campañas informativas y/o educativas, implementación de nuevas tecnologías y control de infraestructura [5, 6]. La gestión de la demanda implica cambiar la manera en que tradicionalmente se ha afrontado, basada únicamente en predecir y abastecer, por una gestión estratégica e integral que

involucra modificar las prácticas y los comportamientos de los usuarios del agua [7].

El consumo de agua está determinado por diferentes variables que se incluyen en los siguientes factores: *factor climático* (temperatura, precipitación pluvial, humedad relativa), *factor social* (habitantes por vivienda, composición familiar, nivel de educación, estrato social), *factor económico* (ingreso familiar, precio del agua, consumo histórico) [8, 9] y/o *factor cultural* (estilo de vida de las personas, valores, normas y modelos sociales, creencias asociadas a la conducta ambiental) [10], que de acuerdo con el contexto, tendrán diferentes relevancias.

Para el análisis de las variables que intervienen en la demanda de agua de uso residencial, los primeros trabajos realizados en el pronóstico se basaron en una sola variable: el crecimiento de la población, y se asumió una relación de tipo directo [9]; se han incluido técnicas de regresión lineal y no lineal múltiple, aplicada a series de tiempo que implican la existencia de una función de demanda que se ajusta a las preferencias de los usuarios del servicio frente a otros bienes, y a diferentes esquemas tarifarios [11]. El estudio realizado por F. Arbués et al. [11] ha sido la base para investigaciones realizadas en México, por Jaramillo [12], y en Alemania, por Schleinch y Hillenbrand [13].

A partir del estudio y conocimiento de las variables influyentes en el uso del agua, se pueden analizar los patrones de consumo en usuarios residenciales, lo que permite construir un modelo integrado que describa los consumos de agua, que se traduce en estrategias de reducción de la demanda y contribuye al perfeccionamiento de las políticas de gestión del recurso dirigidas a su conservación y al fomento de la eficiencia en su uso [14].

1.1 Algunas experiencias

Las experiencias citadas a continuación han sido desarrolladas a partir del análisis de las diferentes variables que afectan la demanda de agua de uso residencial:

F. Arbués et al. [11] y H. Campbell et al. [15] consideran dentro de sus hallazgos que el *precio del agua* puede ser el método de conservación más efectivo. Por su parte, O. Aguilar [9] desarrolló un estudio en la ciudad de Fresnillo, Zacatecas (México), en el cual concluye que los modelos multivariados para el consumo de agua potable presentan las mejores correlaciones con probabilidades significativas, y que son la *temperatura máxima* y el *número de días con precipitación mayor a 0.1 mm* las variables que mejor explican el consumo de agua.

Por su parte, F. Arbués et al. [16] realizaron un estudio de la relación entre el *tamaño de los hogares* y el *consumo doméstico* en la ciudad de Zaragoza (España) y obtuvieron que el *tamaño de los hogares* y el *consumo total* tienen relación directa, pues el consumo aumenta a medida que incrementa el número de habitantes por vivienda ($0.19\text{m}^3 \cdot \text{día}^{-1} \cdot \text{vivienda}^{-1}$ con un solo integrante hasta y $0.52\text{m}^3 \cdot \text{día}^{-1} \cdot \text{vivienda}^{-1}$ con cinco o más integrantes); entre el *tamaño de los hogares* y el *consumo per cápita* la relación es inversa, lo que sugiere la presencia de economías de escala en el consumo de agua, asociadas al beneficio simultáneo de una serie de usos comunes (independientemente de la cantidad de integrantes), tales como limpieza del hogar y el máximo aprovechamiento de los electrodomésticos.

F. Arbués et al. [11] y F. Arbués y R. Barberán [17] encontraron, con respecto al *tamaño de los hogares* y la *elasticidad del precio*, que para hogares de tamaño pequeño (1-2 miembros), el precio -en valor absoluto- es ligeramente superior a los demás tamaños (3-4, ≥ 5) por lo cual, ante un cambio en los precios, los hogares con menos integrantes ajustarán su consumo en mayor proporción que los hogares de tamaño medio alto. Finalmente, se evaluó la relación entre el *tamaño de los hogares* y los *costes de transacción*, y se concluyó que la capacidad de organizar y supervisar la introducción de nuevas prácticas orientadas a mejorar el uso de los equipamientos, dispositivos e instalaciones relacionados con el consumo de agua es más reducida, si más personas integran el hogar.

Otros estudios han arrojado resultados que demuestran, a través de cifras, los diferentes niveles de ahorro de agua en el sector residencial, según los programas de conservación empleados. A continuación se describen algunos de estos:

Entre los años 1997 y 1999 se llevó a cabo el proyecto “Zaragoza, ciudad ahorradora de agua. Pequeños pasos, grandes soluciones”, el cual, un año después de ser implementado, consiguió ahorrar 1.176 millones de litros de agua (equivalente al 5.6% del consumo residencial anual). Al finalizar el proyecto, se identificó que el número de familias que adoptaron hábitos de ahorro de agua pasó de 20% a 50% y el número de familias que introdujeron tecnologías eficientes pasó de 13% a 15% [18].

Maddaus [19] y Terrebonne [20] presentaron un estudio de resultados obtenidos en proyectos de investigación que han evaluado los efectos de dispositivos ahorradores de agua, presión de agua y medidores de agua de uso residencial (Tabla 1).

Tabla 1. Resultados obtenidos a partir de prácticas de conservación de agua.

Práctica de conservación de agua	Ahorro de agua observado
Instalación de medidores de agua	20%
Reducción de la presión de 30 a 40 psi	3 a 6%
Reparación de fugas del inodoro	$105.7\text{ L} \cdot \text{día}^{-1} \cdot \text{inodoro}^{-1}$
2.20 Litros por descarga del sanitario	$86.33\text{ L} \cdot \text{habitante}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$
Kits de modificación	17.62 a 30.83 $\text{L} \cdot \text{habitante}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$
Lavadoras eficientes	$7.48\text{ L} \cdot \text{habitante}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$
Lavaplatos eficientes	$4.40\text{ L} \cdot \text{habitante}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$

Fuente: adaptado de [19, 20]

Renwick y Green [21] llevaron a cabo un estudio en el que se evaluaron programas de ahorro de agua en California, USA y sus efectos en el consumo de agua residencial, del cual se obtuvieron diferentes porcentajes de reducción según el factor analizado (Tabla 2).

A su vez, R. Barberán y M. Salvador [14] realizaron un estudio del uso de agua en la ciudad de Zaragoza (España), el cual tenía como objetivo conocer los factores que afectan al consumo de agua en los hogares (Tabla 3).

La organización ECODES [22] señala en la Tabla 4 los resultados obtenidos a través de la implementación del Plan Integral de Ahorro de Agua (PIAA) de Vitoria-Gasteiz, ejecutado en el año 2004.

Tabla 2. Resultados obtenidos en la aplicación de programas de ahorro de agua.

<i>Programa</i>	<i>Descripción</i>	<i>Porcentaje reducción</i>
Restricciones	Prohibición en ciertos usos de agua, por ejemplo lavado de aceras, riego en jardines durante horas pico de evapotranspiración, entre otros.	29%
Racionamiento	Asignación de determinada cantidad de agua por hogar e imposición de sanciones al exceder lo adjudicado.	19%
Kits de modificación	Distribución gratuita de kits ahorradores de agua.	9%
Campaña de información pública	Alerta de escasez, motivación al uso eficiente del agua, proporcionar información masiva para reducir el uso.	8%
Descuento	Descuentos para la instalación de inodoros de bajo flujo.	0%
Declaración jurídica	Exigencia a los hogares presentar declaración jurídica que acredite que los dispositivos ahorradores se instalaron en el hogar.	0%

Fuente: adaptado de [21].

Tabla 3. Resultados obtenidos a partir de la aplicación de estrategias culturales y tecnológicas.

<i>Descripción</i>	<i>Ahorro de agua obtenido</i>
Diferencia del consumo antes y después de la intervención a partir de información y sensibilización.	13.24 Litros* día ⁻¹
Diferencia del consumo antes y después de la intervención a partir de instalación de dispositivos ahorradores de agua.	9.45 Litros* día ⁻¹

Fuente: adaptado de [14].

Tabla 4. Resultados obtenidos a partir de la implementación del PIAA de Vitoria-Gasteiz.

<i>Indicadores</i>	<i>Previsiones iniciales</i>	<i>Logros obtenidos</i>
Dotación	Menos de 267 L*hab ⁻¹ * día ⁻¹ * 2 99 L * hab ⁻¹ * día ⁻¹	260 L*hab ⁻¹ * día ⁻¹
Ahorro de agua (con respecto al año 2004)	1.000 millones de litros (reto colectivo ciudadano)	1893 millones de litros (términos brutos) 3357 millones de litros (términos relativos)
Porcentaje de reducción del consumo total de agua en la ciudad	6%	12.5% frente al consumo de 2001 9% frente al consumo de 2004
Porcentaje de reducción en el consumo doméstico por habitante-día.	10,8%	6.9% frente al consumo de 2001 14% frente al consumo de 2004

* Datos correspondientes al año 2003, anterior al inicio del plan.

Fuente: [22].

El PIAA de Cantabria [22], elaborado en el año 2006, fue evaluado dos años después, y se encontró un ahorro de 14 millones $\text{m}^3 \cdot \text{año}^{-1}$ para el sector residencial. La dotación de agua pasó de $416 \text{ L} \cdot \text{hab}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$ en 2006 a $347 \text{ L} \cdot \text{hab}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$ en 2008, cifra por debajo de la dotación fijada como objetivo final del Plan en 2009 ($360 \text{ L} \cdot \text{hab}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$).

Las experiencias citadas demuestran cómo los programas y/o proyectos instaurados para la conservación del agua han logrado un impacto significativo en el consumo del sector residencial, lo que refleja ahorro en comparación con datos históricos.

2 ASPECTOS TÉCNICOS Y TECNOLÓGICOS DE LOS EQUIPOS DE MEDICIÓN

2.1 Conceptos básicos de micromedición

La instalación de medidores de agua en hogares o el mejoramiento de su clase metrológica ha indicado una reducción en el consumo en un rango del 10% al 30% y algunas veces hasta el 50% [19, 20]; así la micromedición se convierte en una forma

eficaz para racionalizar el consumo de agua.

La micromedición estima el volumen consumido de agua de cada usuario con fines de facturación, y permite saber con exactitud la cantidad de agua que se produce y la suministrada a la red de distribución. Las empresas prestadoras del servicio de acueducto y alcantarillado instalan a sus usuarios residenciales medidores tipo volumétrico y de velocidad, en su mayoría de media pulgada de diámetro [23].

Las características técnicas y metrológicas para medidores de agua potable fría se especifican en la NTC 1063:2007 [24]. Dicha norma redefine los caudales así: *caudal permanente* Q_3 , *caudal mínimo* Q_1 , *caudal de transición* Q_2 y *caudal máximo* Q_4 . El rango de medición del instrumento está definido por el cociente entre Q_3/Q_1 en m^3/h (tabla 5). La relación de caudales identifica las clases metrológicas A, B, C y D que corresponden a valores numéricos: *clase A*: $Q_3/Q_1=25$; *clase B*: $Q_3/Q_1=50$; *clase C*: $Q_3/Q_1=100$ y *clase D*: $Q_3/Q_1=160$. La clase “A” corresponde al rango de medición más bajo y la clase “D” al rango más alto.

Tabla 5. Determinación clase metrológica de acuerdo con el cociente Q_3/Q_1 .

Q_3 / Q_1	Q_1 (L/h)	Q_2 (L/h)	Q_3 (L/h)	Q_4 (L/h)	Clase
20	80.00	128.00	1600	2000	< A
25	64.00	102.40	1600	2000	< A
31.5	50.79	81.27	1600	2000	> A
40	40.00	64.00	1600	2000	> A
50	32.00	51.20	1600	2000	< B
60	26.67	42.67	1600	2000	> B
80	20.00	32.00	1600	2000	> B
100	16.00	25.60	1600	2000	< C
125	12.80	20.48	1600	2000	> C
160	10.00	16.00	1600	2000	> D
200	8.00	12.80	1600	2000	> D

Fuente: [24], diámetro nominal de media pulgada.

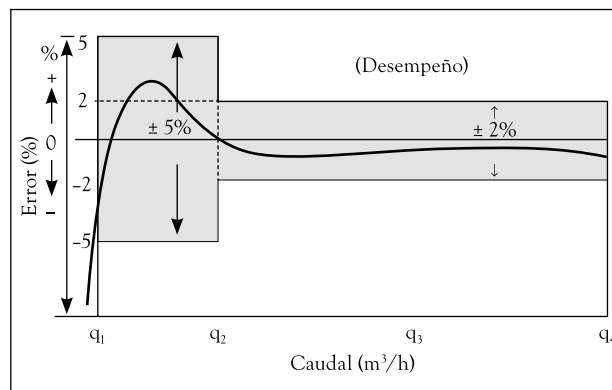
El volumen indicado por el medidor corresponde al volumen real, el cual está sujeto al error máximo permisible (EMP), es decir, los valores extremos del error de indicación del medidor de agua. Debido a las variables que intervienen en el funcionamiento del medidor, se establecen las condiciones de operación nominales (CON) como los usos que dan el rango de valores para los cuales se requiere que los errores de indicación del medidor estén dentro del EMP. Las condiciones límite (CL) son aquellas condiciones extremas, incluidos el caudal, la temperatura, la presión, la humedad y la interferencia electromagnética que debe soportar un medidor de agua sin sufrir daño y sin degradación de sus errores de indicación [24].

El Q_3 es el mayor caudal dentro de las CON a la cual se requiere que el medidor de agua opere de manera satisfactoria dentro del error máximo permisible; el Q_4 es el caudal al cual el medidor debe operar durante un período de tiempo corto dentro de su EMP; el Q_1 es el menor caudal al cual se requiere que el medidor de agua opere dentro del EMP; el Q_2 divide el rango de caudal en dos zonas, “zona superior” y “zona inferior”, cada una caracterizada por su propio EMP [24].

Curva característica

Los medidores de agua se diseñan de acuerdo con el Q_1 , Q_2 , Q_3 y Q_4 . Todo micromedidor tiene un error de medición. La figura 1 muestra una curva típica de precisión en la cual debe funcionar un medidor nuevo; este no registra consumos a caudales muy bajos; a determinado caudal el medidor inicia su movimiento con un error de medición alto; este caudal delimita el caudal de arranque. A medida que el caudal incrementa, el medidor registra una reducción del error de medición y llega a tomar errores positivos de registro hasta su equilibrio, marcando el error máximo permisible de Q_1 . Entre Q_1 y Q_2 se reduce el nivel de error y se ajusta al nivel del error de funcionamiento, registrado entre Q_2 y Q_4 [23, 24].

Figura 1. Curva característica medidor de agua potable.



Fuente: adaptado de [23]

Según la NTC 1063:2007 [24] un medidor nuevo puede funcionar con $\pm 5\%$ de error respecto a su caudal Q_1 , (Figura 1) mientras su funcionamiento esté por debajo de Q_2 ; una vez sobrepase Q_2 , el medidor debe responder a un 2% de error máximo con respecto al rango de caudal donde se encuentre funcionando.

2.2 Tipo de medidores de agua para uso residencial

2.2.1 Contadores de chorro único

Se enmarcan dentro de la categoría de *medidores de velocidad*. Su funcionamiento se basa en la incidencia tangencial de un chorro de agua sobre la turbina alojada en el interior de la carcasa. Su óptimo funcionamiento es en posición horizontal, así la turbina se apoya sobre el extremo del eje en un solo punto, lo que hace que el rozamiento sea menor y los errores de medida a caudales bajos no se vean alterados. Dado que el error de medición no es constante en todo el rango de caudales, no se puede hablar de un error genérico para un contador, ya que en última instancia este depende de los caudales circulantes por el mismo [25].

2.2.2 Contadores de chorro múltiple

Son *contadores de velocidad*; se utilizan en la medición del consumo residencial, comercial y en

redes de riego; en estos contadores el agua incide sobre la turbina en toda su periferia. Están diseñados para funcionar con el eje de la turbina vertical; en esta posición se consigue menor resistencia y se reduce el desgaste de las piezas móviles [25].

2.2.3 Contadores de pistón rotativo

Son *contadores volumétricos*, se usan habitualmente para la medición del consumo en usuarios residenciales. Estos registran el consumo mediante el cómputo del número de llenados y vaciados de una cámara de volumen conocido. El elemento móvil lo constituye un pistón que gira excéntricamente alrededor del eje de la cámara de medición. A la vez que se llena el compartimiento de la derecha, se vacía el situado a la izquierda. En cada rotación del pistón atraviesa la cámara de medición el mismo volumen de agua. Este principio de funcionamiento es el que permite mayor exactitud en la medición. De hecho, contadores clase D que existen actualmente en el mercado utilizan esta tecnología de medición. La exactitud depende de los ajustes entre la cámara y el pistón, ya que los errores de medición tienen origen en las fugas existentes entre ambos elementos [25].

La Tabla 6 enumera las ventajas y desventajas comparativas de cada uno de los medidores de agua para uso residencial presentados anteriormente.

3 TELELECTURA

Consiste en el almacenamiento a distancia de los datos registrados sobre el consumo de agua del usuario, es decir, sin necesidad de desplazarse físicamente hasta el contador. Este procedimiento permite mayor frecuencia y fiabilidad, mejorando la eficiencia en el proceso, el conocimiento que se tiene del sistema y la facturación de los consumos [25].

3.1 Etapas en la transmisión de los datos

Con algunas diferencias y dependiendo de las características específicas de cada tecnología, la

transmisión de datos sigue siempre una secuencia similar:

- a. El totalizador es un dispositivo instalado dentro del contador cuya función es la de integrar la señal de caudal proveniente del sensor y mostrar el valor del volumen total de agua que ha circulado por el instrumento.
- b. Con el fin de transformar la lectura del totalizador en una señal eléctrica compatible hacia el resto del sistema, es necesaria la inclusión de un transductor, *MIU (Meter Interface Unit)* que consta de dos componentes: un dispositivo capaz de leer el volumen registrado por el totalizador mecánico y convertirlo en una señal eléctrica preparada para ser transmitida por el sistema, que suele ser un *emisor de pulsos*; y otro dispositivo cuya función es transmitir la señal a través del sistema, el cual se hace innecesario cuando el sistema consiste en almacenar los pulsos en una memoria del equipo registrador (*data logger*).
- c. Los datos transmitidos por el *MIU (emisor de pulsos)* o por contador electrónico son recibidos por un elemento intermedio cuya función es almacenar temporalmente los datos de todo un conjunto de contadores hasta que estos sean posteriormente transmitidos al centro de gestión de datos. Existen dos alternativas para este dispositivo, ya que puede ser fijo o portátil: si es fijo, normalmente recibe el nombre de concentrador y si se trata de un dispositivo portátil, se denomina Terminal Portátil de Lectura (TPL).

4 DISPOSITIVOS DE BAJO CONSUMO DE AGUA

El Gobierno Nacional promueve acciones de manejo racional de agua a través de la Ley 373 de 1997 [26] y establece el programa para uso eficiente y ahorro de agua como un conjunto de proyectos y acciones dirigidas a los usuarios del recurso hídrico; la NTC 1500:2004 [27] determina que

Tabla 6. Características principales de los medidores de agua.

	Ventajas	Desventajas
Contadores de Chorro único	<ul style="list-style-type: none"> • Resistencia a sólidos en suspensión. • Adecuados para aguas duras. • Bajo costo y alta fiabilidad, tecnología usada para consumos domésticos. • Su costo de adquisición es reducido comparado entre las tecnologías disponibles. • No requiere grandes espacios para su instalación. 	<ul style="list-style-type: none"> • La turbina y el eje no están equilibrados hidráulicamente por lo que están sometidos a esfuerzos que aceleran el desgaste. • A caudales medios y altos la curva de error en contadores con by pass, se desplaza hacia la zona de errores positivos. • La posición de instalación afecta el error de medición. • Los caudales de arranque no detectan un alto porcentaje de fugas.
Contadores de Chorro múltiple	<ul style="list-style-type: none"> • Comparado con los de chorro único, éste instrumento tiene: mayor vida útil, funcionamiento equilibrado de la turbina, mejor comportamiento a bajos caudales, caudal de arranque menor. • No son sensibles al perfil de velocidades entrante, por lo que no requiere tramos rectos de tubería aguas arribas. • Resistencia a sólidos en suspensión. • Adecuados para aguas duras. • Precio competitivo en el mercado con respecto a otras tecnologías. 	<ul style="list-style-type: none"> • Son más voluminosos que los contadores de chorro único, sobre todo a diámetros pequeños. • La posición de instalación tiene efecto sobre la curva de error a caudales bajos. • Perjuicios económicos dado a un alto número de fugas no registradas en las instalaciones internas. • A caudales medios y altos la curva de error suele desplazarse hacia la zona de errores positivos. • Rara vez se encuentra un contador de chorro múltiple Clase C de más de 30 mm.
Contadores de pistón Rotativo	<ul style="list-style-type: none"> • Tecnología de medición fiable y utilizada durante décadas. • No es sensible al perfil de velocidades, lo que reduce los requerimientos de espacio en su instalación. • Variedad de modelos de diferentes metrologías y precios. • Sensible a caudales bajos. • Disponible en Clase D. • Insensible a la posición de instalación. 	<ul style="list-style-type: none"> • La curva de error siempre tiende hacia el subcontaje. • Sensible a sólidos en suspensión. • Ruidosos a caudales altos. • Más voluminosos y pesados que los contadores de otras tecnologías para un mismo caudal nominal (Q3). • Más costos que contadores de otras tecnologías.

Fuente: adaptado de [25].

todos los equipos, sistemas y accesorios deben cumplir con los requisitos de bajo consumo de agua conforme a lo establecido en el Decreto 3102 de 1997 [28]. La instalación de sistemas de ahorro de agua en las viviendas garantiza un uso eficiente del recurso de forma continua, una sencilla forma de reducir la factura de agua, tanto ambiental como económica. Algunos de los sistemas de ahorro que se pueden incorporar dentro de las viviendas a las conexiones hidráulicas son:

4.1 Reductores de caudal

Son dispositivos que disminuyen o regulan el caudal de agua que pasa por una tubería de diámetro “D” al incorporar dentro de la misma un orificio circular de diámetro menor “d” [29], como se muestra en la Figura 2.

La explicación física a dicho fenómeno se obtiene al aplicar la *ecuación de Bernoulli* (1) entre los puntos 1 y 2, (Figura 2), asumiendo la posición

horizontal del tubo. La pérdida de carga “ hf ” es pequeña y puede despreciarse para fines prácticos. En la *ecuación de Bernoulli* se denomina potencial hidráulico (E) a la energía que posee un fluido en una ubicación dada. Esta energía equivale al producto de la fuerza por la distancia con respecto al eje de referencia, donde: “ Z_1 ” es la energía por posición; “ $\frac{P_1}{\gamma}$ ” es la energía piezométrica; y “ $\frac{V_1^2}{2g}$ ” es la energía cinética o carga de velocidad. Debido a la ley de conservación de la energía, en todo circuito hidráulico se tiene que la energía en un punto es igual a la energía en cualquier otro punto, menos la pérdida de carga ocasionada por el flujo de agua (hf) [30]. La aplicación de este principio se muestra en la Figura 2.

$$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + hf_{1-2} \quad (1)$$

Sea “ A_1 ” el área de la sección de la tubería y “ A_2 ” el área del orificio; “ Q ” el caudal y “ β ” el factor que representa la contracción vertical en un punto dado “ $\beta = \frac{A_2}{A_1}$ ” [29], se retoma la ecuación 1 y despreciando “ hf ” se obtiene la ecuación 2.

Al aplicar (2), se debe tener en cuenta el coeficiente de contracción “ C_c ”, debido a que la vena líquida no tendrá exactamente la misma dimensión

del orificio, el coeficiente de velocidad “ C_v ” que toma en cuenta las pérdidas causadas por la resistencia que el orificio opone al agua y el producto entre ambos “ $C_d = C_c * C_v$ ”, denominado coeficiente de descarga, obteniéndose la (3). El “ C_d ” toma el valor de 0.61 para orificios de “arista viva” [31].

$$Q = C_d A_2 \sqrt{\frac{1}{1-\beta^4} * \sqrt{2(P_1 - P_2) / \gamma}} \quad (3)$$

Así, con la instalación de un reductor de caudal con un orificio de 9 milímetros a un $P_1 = 47 \text{ psi}$, se disminuye la presión a $P_2 = 4 \text{ psi}$ y se logra una reducción del 52% en el caudal. Estos dispositivos se incorporan en las tuberías de las llaves terminales para disminuir el consumo de agua. En las regaderas se conocen como *cabezales con dispositivos ahorradores* y sustituye el cabezal tradicional.

4.2 Mezcladores-aireadores

Estos dispositivos permiten mezclar el flujo de agua que sale de las conexiones hidráulicas con una masa de aire al efectuar la succión del fluido, dando como resultado una mezcla entre agua y aire, lo que disminuye el caudal de agua que pasa por el dispositivo (Figura 3). La explicación física a este fenómeno se obtiene al aplicar el *Efecto Venturi* [30]: “*movimiento de un fluido (agua) dentro de un conducto cerrado que disminuye su presión al aumentar la velocidad después de pasar por un área con una contracción,*

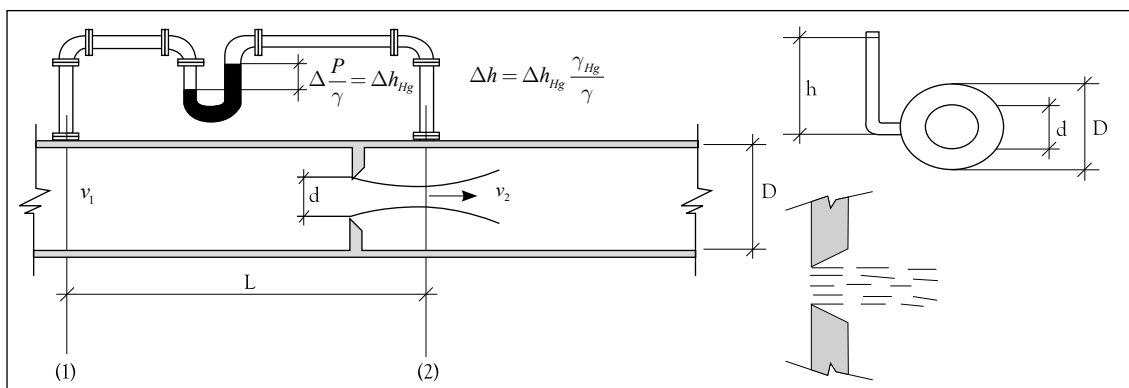


Figura 2. Reducción de orificio circular en tuberías

Fuente: adaptado de [29]

lo anterior produce una succión del fluido (aire) contenido en este segundo conducto” Figura 4.



Figura 3. Dispositivo mezclador - aireador.

Fuente: [30]

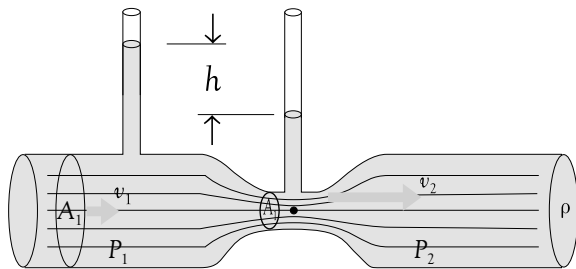


Figura 4. Esquema Efecto Venturi.

<http://bathroom-kitchen-faucets.com/es/category/faucet-aerators/>
Fuente: adaptado de [29].

El Efecto Venturi se explica por medio del principio de Bernoulli, principio de continuidad de la energía [30]. Si el caudal de un fluido es constante pero la sección disminuye, obligatoriamente la velocidad aumenta tras atravesar esta sección. Por el teorema de conservación de la energía mecánica, si la energía cinética aumenta, la energía determinada por el valor de la presión disminuye (4) [29, 30].

$$Q = A_2 * \sqrt{\frac{2(P_1 - P_2) / \gamma}{1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2}} \quad (4)$$

Con la instalación de un mezclador-aireador en lavamanos y/o lavaplatos que permita el paso del agua a un $Q = 5.7\text{L}/\text{min}$ y un $P_1 = 20\text{ psi}$, logra una reducción del 86% en el consumo de agua; la reducción en el caudal depende de la presión inicial (P_1); a mayor P_1 el porcentaje de reducción

aumentará. Estos dispositivos se incorporan al tubo terminal de la unidad hidráulica.

4.3 Desplazadores-reguladores de volumen

Es la reducción del volumen de descarga debido a la introducción de un recipiente con agua (cerrado) o a la instalación de un dispositivo de descarga controlada. Los inodoros con cisterna baja pueden ahorrar agua mediante la incorporación de un sistema de descarga que permite al usuario escoger entre dos volúmenes distintos (6 a 9 litros o 3 a 4 litros), ajustado el volumen requerido. Los pulsadores permiten diferenciar las dos opciones, cada una descarga un volumen determinado de agua, siendo las combinaciones más comunes de 6 y 4 litros para sólidos y líquidos respectivamente. Este sistema se adapta a la mayoría de cisternas (figura 5).

Con la instalación del sistema de doble descarga y regulador de volumen, se obtiene un ahorro del 45% en el consumo de agua, asumiendo un uso aproximado $16\text{ l}^*\text{hab}^{-1}\text{día}^{-1}$ para inodoros de 9 litros, dada una descarga de 4 litros para líquidos y 6 litros para sólidos.

5 MECANISMOS SOCIALES

Una forma importante de lograr un uso eficiente y racional del agua es a partir de los cambios en los patrones o hábitos de consumo en los usuarios [32]. La acción colectiva en la que se genera una reflexión entre individuos y grupos que trabajan para mejorar la gestión de las interrelaciones humanas y ambientales, se conoce como aprendizaje social [33], en el cual, la Educación Ambiental (EA) juega un rol protagónico por ser el proceso que permite al individuo comprender las interrelaciones existentes con su entorno, a partir del conocimiento reflexivo y crítico de su realidad biofísica, social, política, económica y cultural, generando en él y en su comunidad actitudes de valor y respeto por el medioambiente [34].

La necesidad de la EA ha sido promovida desde los años setenta; se han dado distintas reformas



Figura 5. Sistema de doble descarga y regulador de volumen para inodoros.

Fuente: [32]

educativas que incorporan dentro de sus objetivos la protección del medioambiente y la construcción de un modelo de sociedad acorde con la sostenibilidad, especialmente en la educación formal [35], lo cual fue concretado en Colombia a través de la Ley General de Educación [36]; sin embargo, a través del Decreto 1743 de 1994 [37], se institucionalizó el Proyecto de Educación Ambiental (PRAE) para todos los niveles de educación formal y se fijaron criterios para la promoción de la Educación Ambiental no formal e informal.

La participación de la sociedad civil en Colombia frente a la gestión ambiental, se fortalece en el momento que surge la Política Nacional de Educación Ambiental (2002) [34], definiéndose allí estrategias de participación, tales como: *Proyectos Ciudadanos de Educación Ambiental (PROCEDA)*, diseñados e implementados por la sociedad civil interesada en la solución de la problemática ambiental local, y *Proyectos de Educación Ambiental Escolar (PRAE)*, los cuales son articulados a través de los *Comités Técnicos de Educación Ambiental (CIDEA)*, que tienen como fin descentralizar los procesos de EA, partiendo de los diversos contextos naturales, sociales y culturales particulares con el fin coordinar y hacer seguimiento a las acciones derivadas de

las políticas generales. De igual forma, se establecen a escala municipal los *Comités Municipales de Educación Ambiental (COMEDA)*, como instancia asesora para las políticas y programas municipales de educación ambiental [38].

El desarrollo de proyectos de educación ambiental centrados en el trabajo con personas permite, por un lado, ampliar su conocimiento y comprensión con respecto a la complejidad y globalidad de los problemas y, por otro lado, enseñar actitudes, valores, y comportamientos. Su importancia radica en que los individuos solo realizan conductas ambientales responsables cuando están informados sobre la problemática ambiental, se encuentran motivados hacia ella y, además, se ven capaces de generar cambios cualitativos, están convencidos de la efectividad de su acción y que estas no les generarán dificultades significativas [35].

Son diversas las alternativas de conservación de agua que los ciudadanos pueden realizar en el interior y el exterior de sus viviendas. En la Tabla 7 se indican algunas de las alternativas que pueden ser promovidas e instauradas desde las diferentes estrategias de participación ciudadana.

Tabla 7. Alternativas de uso eficiente y ahorro de agua en el sector residencia

	Punto	Actividad	Alternativa	Ahorro aprox.
Uso interno	Inodoro	Descargar el inodoro de acuerdo al uso requerido (cuatro veces por persona al día)	<ul style="list-style-type: none"> - La reducción del volumen de descarga se logra al introducir un recipiente de plástico lleno de agua (cerrado) al interior de la cisterna. - Instalación de un sistema de doble descarga y dispositivo ahorrador (regulador de volumen) que usa entre 4 y 6 L por descarga para líquidos y sólidos, respectivamente. - No depositar basuras ni desperdicios dentro del inodoro, (esto evitará descargas innecesarias). 	<ul style="list-style-type: none"> - Ahorro dado al volumen de recipiente introducido. - Ahorro del 45% en el consumo de agua. - $16 \text{ L} \cdot \text{hab}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$ para inodoros de 9 L.
	Lavamanos	Se usa generalmente para el cepillado de dientes, lavado de manos y para afeitarse.	<ul style="list-style-type: none"> - Utilizar un vaso para cepillarse los dientes o afeitarse y no dejar correr el agua mientras se realizan estas actividades. - Cerrar bien la llave cuando se enjabona las manos y después de utilizarla. - Instalación de aireadores, lo que permite reducir el flujo de agua. 	<ul style="list-style-type: none"> - 12 Litros en cada uso - Se logra reducir hasta el 70%
	Duchas	Uso diario con el objetivo de asearse o bañarse todo el cuerpo.	<ul style="list-style-type: none"> - Cerrar la llave mientras se enjabona. - Tomar baños cortos (5 minutos). - Cuando se hace uso de agua caliente, se recomienda usar un balde para recoger el agua mientras se nivela la temperatura, luego reutilizarla en otras actividades. - Los interruptores de caudal para duchas permiten interrumpir el caudal mientras se enjabona, sin que al reanudarlos se deba regular la temperatura nuevamente. - Instalar una regadera con reductor de caudal, cabezal ahorrador. 	<ul style="list-style-type: none"> - $150 \text{ L} \cdot \text{hab}^{-1} \cdot \text{día}^{-1}$. - Ahorro del 67%.
Uso interno	Lavaplatos	Se utiliza en la preparación de alimentos y para el lavado de los utensilios (platos, vasos, pocillos, cubiertos, ollas, entre otras).	<ul style="list-style-type: none"> - Para lavar los alimentos se recomienda llenar un recipiente de agua en el cual se laven las frutas y verduras, siendo esta agua usada posteriormente para regar las plantas. - Se recomienda por un lado agrupar la loza para lavar y por otro, llenar el lavaplatos para enjabonar y volver a lavar solo con agua. - Cerrar bien la llave mientras se enjabonan los platos y después de utilizarla. - Descongelar los alimentos ya sea en la nevera o sacándolos desde la noche anterior y no bajo el grifo. - Usar lavavajillas con su máxima capacidad. - Instalación de aireadores al tubo terminal, reduciendo el flujo. 	<ul style="list-style-type: none"> - 115 Litros cada vez que se haga - 10 Litros por alimento - 22 Litros por alimento - 80 Litros por uso - Reduce hasta el 86%

	Punto	Actividad	Alternativa	Ahorro aprox.
Uso interno	Lavadoras	Electrodoméstico usado para el lavado de ropa.	<ul style="list-style-type: none"> - Su ahorro se consigue poniendo cargas completas de ropa y usando los niveles de agua necesarios para una correcta operación. - El agua de descarga de la lavadora puede ser reusada actividades, como limpieza de pisos, patios, inodoros y riego de jardines. 	- 80 Litros por cada uso.
	Lavadero	Se llevan a cabo diversas actividades, como: lavado de ropa, trapeadora, vajijas grandes, entre otras.	<ul style="list-style-type: none"> - Usar un solo balde de agua al trapear. - Usar un solo balde de agua para remojar toda la ropa que se tiene para lavar y otro para enjuagar, sin hacerlo aparte para cada una de las prendas. 	- 20 Litros.
Uso externo	Detección de fugas intra domiciliarias	Pérdida de agua, debido a las fugas en tuberías y accesorios hidráulicos y sanitarios.	<ul style="list-style-type: none"> - Reparar con prontitud las fugas detectadas. - Hacer mantenimiento de las conexiones hidráulicas y/o cambio de sus accesorios (tuercas, empaques, herrajes) cuando se observa algún desgaste. - Estar atento a cualquier salida anormal de agua que se presente en alguna las instalaciones sanitarias. 	- 30 - 700 L* día ⁻¹ por goteo.
	Riego de Jardines	En algunos casos, las propiedades de los usuarios tienen un área suficiente para la construcción de antejardines.	<ul style="list-style-type: none"> - Regar los jardines en determinados horarios: de 8 a 12 pm, en donde la evaporación es baja o nula; de 4 a 8 am, en donde la presión de la red es alta, la dispersión provocada por el viento es baja y las pérdidas por evaporación son despreciables. - De acuerdo con el clima, definir la cantidad y frecuencia de riego. - Eliminar malezas, las cuales compiten con las plantas por el agua, los nutrientes y la luz solar. - Sembrar plantas que consumen menos agua, (plantas nativas). - La combinación de estas plantas con rocas y grava pueden dar una apariencia atractiva y consumir menos agua. 	
	Lavado de vehículos	Es la limpieza manual que hacen las personas a su vehículo.	<ul style="list-style-type: none"> - Se recomienda hacerlo con un balde y un trapo. - Se recomienda NO hacer este lavado con manguera directamente. - Lavar el auto en lavaderos automáticos, preferiblemente en los que reciclan el agua. 	- 375 Litros con relación al lavado con manguera.
	Lavado de acera	Limpiar la acera de la casa.	<ul style="list-style-type: none"> - Usar escoba y un balde con agua, en lugar de una manguera para limpiar la acera. - Aprovechar el agua lluvia para hacer esta actividad. 	- 300 Litros cada vez que se haga.
	Cerrar la llave de paso	Es frecuente encontrar que algún integrante de la vivienda no tenga el hábito de cerrar bien las llaves.	<ul style="list-style-type: none"> - Cuando la casa va a permanecer sola por un periodo de tiempo se recomienda cerrar la llave de paso de agua antes de salir, lo cual evitará pérdidas de agua por goteo y como medida de precaución en caso de romperse alguna tubería. - En el día a día es conveniente dejar la llave semi abierta, lo cual hace que la presión en los grifos sea menor. 	

Fuente: adaptado de [39-41]

REFERENCIAS

- [1] B. Jorgensen, M. Graymore, K. O'Toole, "Household water use behavior: an integrated model", *Journal of Environmental Management*, vol. 91, pp. 227-236, 2009.
- [2] EC. "European Commission. EU Water Initiative - Research Component," [En línea], acceso 08 de junio, 2010; Disponible: http://ec.europa.eu/research/water-initiative/pdf/iwrm_policybrief_en.pdf, 2010.
- [3] Global Water Partnership GWP. "La audacia de los pequeños pasos: diez años de global water partnership," [En línea], acceso 08 de junio, 2010; Disponible: http://www.gwp.org/Global/The%20Challenge/Resource%20material/10th_anniv-sp.pdf?epslanguage=en, 2006.
- [4] M. A. Dickinson. "The multiple benefits of water efficiency: Environmental improvements to the watershed". Presentado en II International Conference Efficient Use and Management of Urban Water Supply. International Water Association. Tenerife. Canary Island, Spain, 2003.
- [5] J. Winpenny, "Managing Water as an Economic Resource. Routledge". Londres, 1994.
- [6] F. Arbués García y L. Villanúa Martín, "La demanda de agua en Zaragoza. Estimación de un modelo dinámico con datos de panel," presentado en VII Congreso de Economía Pública, 2000.
- [7] L. D. Sánchez y A. Sánchez, "Uso eficiente del Agua" International Water and Sanitation Centre (IRC) e Instituto de Investigación y Desarrollo en Agua Potable, Saneamiento Básico y Conservación del Recurso Hídrico (CINARA), 2004.
- [8] E. Obregón, "Modelos de estimación de demanda de agua," *Centro de Análisis y Evaluación de la Política Pública*, [En línea], Disponible: http://www.mty.itesm.mx/egap/centros/caep/2_4.htm, 2000.
- [9] O. F. Aguilar, "Modelo de pronóstico del consumo de agua potable," *Centro de Estudios Multidisciplinarios, Universidad Autónoma de Zacatecas (UAZ)*, 2003.
- [10] J. A. Corraliza y R. Martín, "Estilos de vida, actitudes y comportamientos ambientales," *Medio Ambiente y Comportamiento Humano*, vol. 1, no. 1, pp. 31-56, 2000.
- [11] F. Arbués, M. A. García, R. Martínez, "Estimation of residential water demand: a state-of-the-art review," *The Journal of Socio-Economics*, vol. 32, pp. 81-102, 2003.
- [12] L. Jaramillo. "Modelando la Demanda de Uso Residencial en México: Una Evaluación Econométrica de la Demanda de Agua". *Documentos de Trabajo, Instituto Nacional de Ecología*. México D.F. 2003.
- [13] J. Schleinch y T. Hillenbrand, "Determinants of residential water demand in Germany," *Ecological Economics*, vol. 68, pp. 1756-1769, 2009.
- [14] R. Barberán Ortí y M.J. Salvador Figueras, *El uso del agua en los hogares de la ciudad de Zaragoza. Investigación sobre las actitudes, la información, los equipamientos y el comportamiento de los hogares en relación con el uso del agua*. Zaragoza: Ayuntamiento de Zaragoza, Centro de Documentación del Agua y el Medio Ambiente, 208 p. 2010.
- [15] H. E. Campbell *et al.*, "Some best bets in residential water conservation. Results of multivariate regression analysis, City of Phoenix, 1990-1996," [En línea], Disponible: http://morrisoninstitute.asu.edu/publications-reports/BestBetsInH2OConserv-ResultsMultivarRegr-Phx90-96_1999.
- [16] F. Arbués García, R. Barberán Ortí, I. Villanúa Martín. "Tamaño de los hogares y demanda de agua residencial: una aproximación empírica," *III Congreso de Aerna. Palma de Mallorca*, [En línea], Disponible: http://www.uibcongres.org/imgdb/archivo_dpo4939.pdf, 2008.
- [17] F. Arbués García y R. Barberán Ortí, "Análisis y diseño de la tasa que grava el consumo doméstico de agua. El caso de la ciudad de Zaragoza," *XII Encuentro de Economía Pública. Palma de Mallorca*, [En línea], Disponible: <http://www.uib.es/congres/ecopub/papers/varios1/Barberan-Arbues.pdf>, 2005.
- [18] M. Fernández Soler y V. Viñuales Edo, "Zaragoza, ciudad ahorradora de agua. 50 buenas prácticas," *Fundación Ecología y Desarrollo*, [En línea], Disponible: http://grupo.us.es/ciberico/archivos_acrobat/sevilla-4fernandez.pdf, 1999.
- [19] W. O. Maddaus. "Residential Water Conservation Projects: Summary Report. U. S. Department of Housing and Urban Development". *Office of Policy Research*. 1984.
- [20] R. P. Terrebonne, "Residential water demand management programs: A selected review of the literature". *Water Policy Working Paper N° 002, Georgia*, 2005.
- [21] M. E. Renwick y R. D. Green, "Do residential water demand side management policies measure up? An analysis of eight California Water agencies". *Journal of Environmental Economics and Management*, vol. 40, pp. 37-55, 2000.

- [22] ECODES, “Ecología y Desarrollo. Planes Integrales de Ahorro de Agua: la herramienta de planificación”. [En línea], Disponible: Consulta: <http://www.ecodes.org/agua-y-ecodes/planes-integrales-de-ahorro-de-agua-la-herramienta-de-planificacion>.
- [23] D. C. Bastidas Delgado, *Caracterización y estimación de consumos de agua de usuarios residenciales. Caso de estudio: Bogotá*. Proyecto de Grado para optar el Título de Ingeniería Civil y Ambiental. Universidad de los Andes. 2009.
- [24] ICONTEC, Norma Técnica Colombiana NTC, Medición de agua en conductos cerrados. Medidores para agua potable fría. 1063, 2007.
- [25] F. Arregui de la Cruz *et al.*, *Gestión Integral de Contadores de Agua*. España: Instituto Tecnológico del Agua, 2007, 340 p.
- [26] Congreso de Colombia. *Programa para el uso eficiente y ahorro del agua*. Ley 373, 1997.
- [27] ICONTEC, Norma Técnica Colombiana NTC, *Código Colombiano de Fontanería*. 1500, 2004.
- [28] Ministerio de Desarrollo Económico, República de Colombia. Reglamenta el artículo 15 de la Ley 373 de 1997 en relación con la instalación de equipos, sistemas e implementos de bajo consumo de agua. Decreto 3102, 1997.
- [29] R. Sáenz Forero, *Hidráulica básica para Ingenieros Sanitarios*. Perú: CEPIS, 1984, 154 p.
- [30] F. M. White, *Mecánica de Fluidos*. 6a. ed., España: Mcgraw-Hill Interamericana de España, 2008, 864 p.
- [31] R. García Díaz, *Manual de Fórmulas de Ingeniería*. 2a ed., México: Limusa, 2010, 336 p.
- [32] V. J. Bourguett Ortiz *et al.*, *Manual para el uso eficiente y racional del agua ¡Utiliza sólo la necesaria!* México: IMTA, 2003, 101 p.
- [33] M. Keen *et al.*, *Social learning in environmental management. Towards a sustainable future*. London: Earthscan, 2005, 281 p.
- [34] Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, República de Colombia. *Política Nacional de Educación Ambiental*, 2002.
- [35] P. Álvarez y P. Vega, “Actitudes ambientales y conductas sostenibles. Implicaciones para la educación ambiental,” *Revista de Psicodidáctica*, vol. 14, no. 2, pp. 245-260, 2009.
- [36] República de Colombia. *Ley General de Educación*. Ley 115, 1994.
- [37] Ministerio de Educación, República de Colombia. Ministerio de Educación Nacional y Ministerio del Medio Ambiente. Decreto 1743, 1994.
- [38] Concejo Municipal de Pereira, reglamenta el Comité Municipal de Educación Ambiental de Pereira. Acuerdo 33, 2010.
- [39] Ecologistas en Acción, “Guía para el ahorro del agua en los hogares,” [En línea], Disponible: http://www.ecologistasenaccion.org/IMG/pdf/Campana_ahorro_de_agua.pdf. 2010.
- [40] ECODES, “Ecología y Desarrollo. Consejos prácticos para ahorrar agua,” [En línea], Disponible: http://www.consumoresponsable.org/actua/agua/agua_consejos_hogar. 2010.
- [41] Ecologic Barna, “Guía práctica para el ahorro de agua y energía,” [En línea], Disponible: <http://www.ecologicbarna.com/guiayahorroaguayenergia.htm#ComoAhorrarAgua2>. 2010.