

Otros títulos de Ingeniería

Los procesos industriales y el medio ambiente

Un nuevo paradigma

Tomo II

Segunda edición

Fernando Méndez Delgado

Gerencia de la responsabilidad social en las organizaciones de hoy

Geisler Dayani Rojas Forero

Carlos Hernando Ramírez Méndez

John Danna Vélez

Seis sigma. Guía didáctica para Pymes

Martha Lucía Pérez Urrego

Investigación de operaciones

Volumen I

Tercera edición

Francisco Alfonso Chediak Pinzón

Modelación de crecientes y zonas inundables

Luis Eduardo Peña Rojas



En este texto se presenta el proceso de formulación del programa *Uso eficiente del agua para el campus de la Universidad de Ibagué*, como caso de estudio para la implementación de este tipo de proyectos en instituciones educativas. EL libro ofrece una guía sencilla para la realización del proceso de diagnósticos de pérdidas, modelación hidráulica de redes a presión y el procedimiento de selección para la instalación de equipos sanitarios de bajo consumo, como estrategias de reducción del agua requerida para el uso institucional y el cumplimiento de la legislación colombiana.



**Universidad
de Ibagué**

Comprometidos con el desarrollo regional

ISBN: 978-958-754-113-7



9 789587 541137

Uso e manutenzione del quadra per la navigazione

Il quadra per la navigazione è uno strumento essenziale per la navigazione e la gestione delle risorse. È progettato per essere utilizzato in una varietà di ambienti, sia in terra che in acqua. Il quadra è composto da una serie di componenti che lavorano insieme per fornire informazioni preziose sulla posizione, la velocità e la direzione del veicolo.

Il quadra è progettato per essere utilizzato in una varietà di ambienti, sia in terra che in acqua. Il quadra è composto da una serie di componenti che lavorano insieme per fornire informazioni preziose sulla posizione, la velocità e la direzione del veicolo. Il quadra è progettato per essere utilizzato in una varietà di ambienti, sia in terra che in acqua.

Il quadra è progettato per essere utilizzato in una varietà di ambienti, sia in terra che in acqua. Il quadra è composto da una serie di componenti che lavorano insieme per fornire informazioni preziose sulla posizione, la velocità e la direzione del veicolo. Il quadra è progettato per essere utilizzato in una varietà di ambienti, sia in terra che in acqua.

Il quadra è progettato per essere utilizzato in una varietà di ambienti, sia in terra che in acqua. Il quadra è composto da una serie di componenti che lavorano insieme per fornire informazioni preziose sulla posizione, la velocità e la direzione del veicolo. Il quadra è progettato per essere utilizzato in una varietà di ambienti, sia in terra che in acqua.

Il quadra è progettato per essere utilizzato in una varietà di ambienti, sia in terra che in acqua. Il quadra è composto da una serie di componenti che lavorano insieme per fornire informazioni preziose sulla posizione, la velocità e la direzione del veicolo. Il quadra è progettato per essere utilizzato in una varietà di ambienti, sia in terra che in acqua.

Il quadra è progettato per essere utilizzato in una varietà di ambienti, sia in terra che in acqua. Il quadra è composto da una serie di componenti che lavorano insieme per fornire informazioni preziose sulla posizione, la velocità e la direzione del veicolo. Il quadra è progettato per essere utilizzato in una varietà di ambienti, sia in terra che in acqua.

Il quadra è progettato per essere utilizzato in una varietà di ambienti, sia in terra che in acqua. Il quadra è composto da una serie di componenti che lavorano insieme per fornire informazioni preziose sulla posizione, la velocità e la direzione del veicolo. Il quadra è progettato per essere utilizzato in una varietà di ambienti, sia in terra che in acqua.



Uso eficiente del agua

**en el campus de la
Universidad de Ibagué**

Luis Eduardo Peña Rojas
Hernando Betancourt Londoño
Álvaro Hernán Montoya Ramírez



**Ediciones
Unibagué**

Luis Eduardo Peña Rojas es ingeniero civil de la Universidad del Quindío, magíster en Ingeniería de la Universidad del Valle, doctorando en Planificación y Manejo Ambiental de Cuencas Hidrográficas de la Universidad del Tolima. Es autor, entre otras publicaciones, del libro *Modelación de Crecientes y Zonas Inundables*, (2012) y de las Notas Universitarias *Elementos Básicos de Mecánica de Fluidos*, (2010), publicados por la Universidad de Ibagué. Es profesor de tiempo completo del programa de Ingeniería Civil de la Universidad de Ibagué.

Hernando Betancourt Londoño es ingeniero civil de la Universidad Javeriana y especialista en Evaluación del Impacto Ambiental de la Universidad del Tolima. En la actualidad es profesor de tiempo completo del programa de Ingeniería Civil de la Universidad de Ibagué.

Álvaro Montoya es ingeniero agrícola, por el convenio Universidad del Valle - Universidad Nacional de Colombia, con sendos másteres en Recursos Hídricos, por la Universidad de los Andes y el CEDEX, y Doctor en Ciencias Ambientales: Recursos Hídricos y Ecosistemas Acuáticos, por la Universidad de Alcalá. Su trayectoria profesional ha tenido lugar en el área de la gestión del agua y el medio ambiente, desde la docencia y la investigación universitarias, la cooperación internacional al desarrollo, la administración pública y la consultoría. Actualmente está radicado en España, donde colabora con diversos grupos y centros de investigación en materia de Cooperación Internacional en la temática de Agua y Medio Ambiente.

Universidad de Ibagué
Facultad de Ingeniería
Programa de Ingeniería civil

Uso eficiente del agua en el campus de la Universidad de Ibagué

Luis Eduardo Peña Rojas
Hernando Betancourt Londoño
Álvaro Hernán Montoya Ramírez

2014
Ibagué, Colombia

628.1

P397u Peña Rojas, Luis Eduardo

Uso eficiente del agua en el campus de la Universidad de Ibagué /
Luis Eduardo Peña Rojas, Hernando Betancourt Londoño, Alvaro Hernán
Montoya Ramírez. Ibagué: Universidad de Ibagué. Facultad de Ingeniería, 2014.
106 p.

ISBN Impreso 978-958-754-113-7

Digital 978-958-754-114-4

Descriptores: Uso eficiente del agua-Universidad de Ibagué.

Universidad de Ibagué
Facultad de Ingeniería
Programa de Ingeniería civil
Abril de 2014

© Universidad de Ibagué, 2014

© Luis Eduardo Peña Rojas, Hernando Betancourt Londoño, Álvaro Hernán Montoya Ramírez, 2014

Dirección editorial
Oficina de Publicaciones
publicaciones@unibague.edu.co
Universidad de Ibagué
Carrera 22, calle 67. Barrio Ambalá
Teléfono: +57 (8) 2709400
Ibagué, Tolima, Colombia.
www.unibague.edu.co

Fotografías de portada y contraportada: César Augusto Núñez Torres
Diseño, diagramación e impresión
León Gráficas Ltda. PBX 2630088. Ibagué.

Esta obra no puede reproducirse sin la autorización expresa y por escrito de la Universidad de Ibagué.

Agradecimientos

Los autores presentan un especial agradecimiento a los doctores: Alfonso Reyes Alvarado, rector de la Universidad de Ibagué; Gloria Piedad Barreto Bonilla, decana de la Facultad de Ingeniería; Helga Patricia Bermeo Alzate, directora de Investigaciones; Luz Ángela Castaño González; Carlos Armando González; Martha Lucy Villa Ospina; Carlos Andrés Lugo González, director del Programa de Ingeniería de Sistemas; Mauricio Hernández Sarabia, investigador Grupo GMAE; Paola Tibaquirá Perdomo, docente del Programa de Ingeniería Civil; a los ingenieros Juan David Pinilla Castañeda, William Felipe Gutiérrez Barragán, Kristian Camilo Conde López, Jesús David Ayram Zamora, Angie Estefany Otálora Segura, Ángela Patricia Rodríguez Zarate, Andrés Santiago Díaz Morales; al señor Yesid Augusto García Buriticá, fontanero de la Universidad de Ibagué; al Grupo de Investigación GMAE; a los estudiantes del programa de Ingeniería Civil: Mauricio López, María Alejandra Torres, Sandra Rodríguez, Juan Camilo Medina, Luis Garzón, Carla Tovar, Daniela Sánchez, William Gutiérrez, Fabián Fonseca, Juan David Cabrera, Camilo Sosa, María Ramírez, Juan Torres, Juan Pinilla, Daniela Galindo, Fabián Rodríguez, Mario Marles, Jean Carlos Lemos, María de los Ángeles, Edwin Sarta, Karen González, Jesús Quintero, Terly Gaviria, Anderson Bejarano, Leydi Camila Hernández, Jorge Franco, Daniela Rivera, Tzhio Rubiano, Juan Camilo Muñoz, Andrés Mendoza, Iveth Navarro, Jorge Luis Varón, Germán Rubiano, y a todas las personas que hicieron posible la realización de este proyecto.



Tabla de contenido

Agradecimientos.....	5
1. Presentación.....	13
2. El uso eficiente del agua como estrategia de reducción de pobreza.....	17
2.1 Bases teóricas	17
2.2 Avance de Colombia en el primer objetivo del Milenio.....	21
2.3 La Gestión Integral de los Recursos Hídricos, GIRH.....	22
2.4 El agua como un derecho humano básico.....	24
2.5 El uso productivo del agua en pequeña escala.....	24
2.6 Uso múltiple del agua en Colombia	26
2.7 Hipótesis de trabajo.....	28
3. Enfoque metodológico	31
3.1 Uso del agua en el canal.....	31
3.2 Modelación hidráulica de redes de agua potable	31
3.3 Escenarios de consumo y uso eficiente.....	31
3.4 Plan de inversiones.....	32
4. Uso del agua en el canal.....	33
4.1 Generalidades de la microcuenca de la quebrada Ambalá	34
4.2 Estado del canal	38
4.3 Estimación de la precipitación media.....	38
4.4 Balance hídrico superficial	43
4.5 Oferta hídrica quebrada Ambalá.....	47
4.6 Demanda hídrica	48
4.7 Estado de la infraestructura del canal.....	48
4.8 Uso eficiente del agua del canal y plan de inversiones.....	50
5. Modelación hidráulica de redes de agua potable.....	51
5.1 Levantamiento del catastro de redes de agua potable.....	51
5.2 Medición de presiones y caudales	52

5.3 Implementación y calibración del modelo.....	56
5.4 Escenarios de simulación	60
5.5 Plan de inversiones expansión redes.....	70
6. Escenarios de consumo y uso eficiente	71
6.1 Escenario 1. Situación actual del consumo de agua potable.....	71
6.2 Escenario 2. Sustitución de flotadores y eliminación de fugas.....	75
6.3 Escenario 3. Instalación de equipos de bajo consumo de agua	76
6.4 Escenario 4. Campañas de educación ambiental	81
6.5 Escenario 5. Combinación de escenarios.....	81
7. Plan de inversiones	83
Conclusiones y recomendaciones	85
Referencias	89
Bibliografía recomendada	97

Graficos y fotografías

<i>Fotografía 4.1. Canal Universidad de Ibagué.</i>	34
<i>Fotografía 4.2. Intervenciones en la microcuenca.</i>	37
<i>Fotografía 4.3. Estado del canal.</i>	38
<i>Fotografía 5.1. Campaña de localización de fugas con geófonos.</i>	61
<i>Gráfico 4.1. Ubicación del canal en el campus.</i>	33
<i>Gráfico 4.2. Microcuenca de la quebrada Ambalá.</i>	35
<i>Gráfico 4.3. Nivel educativo de la Comuna 6.</i>	36
<i>Gráfico 4.4. Isoyetas obtenidas en el Sistema de Información Geográfico, mes de noviembre</i>	40
<i>Gráfico 4.5. Precipitación mensual general de la estación Aeropuerto Perales.</i>	41
<i>Gráfico 4.6. Evapotranspiración mensual general.</i>	42
<i>Gráfico 4.7. Oferta hídrica de la quebrada Ambalá.</i>	47
<i>Gráfico 4.8. Caudal quebrada Ambalá.</i>	47
<i>Gráfico 4.9. Comportamiento de la oferta y demanda hídrica Unibagué- quebrada Ambalá.</i>	48
<i>Gráfico 4.10. Ubicación de las reparaciones para el canal.</i>	49
<i>Gráfico 5.1. Catastro de redes de agua potable.</i>	52
<i>Gráfico 5.2. Ubicación estaciones de medición de presión.</i>	53
<i>Gráfico 5.3. Consumo diario Bloque 7 y Centro de Educación Permanente.</i>	54
<i>Gráfico 5.4. Consumo diario Laboratorios Ingeniería y Biblioteca.</i>	54
<i>Gráfico 5.5. Consumo diario Ingeniería y Bloque 3.</i>	54
<i>Gráfico 5.6. Consumo diario Bloque 4 y edificio de Derecho.</i>	54
<i>Gráfico 5.7. Patrón de consumo edificaciones del campus.</i>	55
<i>Gráfico 5.8. Estaciones de medición de caudales y volúmenes.</i>	55
<i>Gráfico 5.9. Calibración de presiones modelo Unibagué.</i>	59
<i>Gráfico 5.10. Calibración de caudales modelo Unibagué.</i>	59
<i>Gráfico 5.11. Simulación configuración actual de la red.</i>	60
<i>Gráfico 5.12. Simulación configuración actual de la red sin fugas.</i>	62
<i>Gráfico 5.13. Simulación configuración actual con uso eficiente del agua.</i>	63

<i>Gráfico 5.14. Tendencia de crecimiento poblacional de la Universidad de Ibagué.</i>	66
<i>Gráfico 5.15. Simulación de la configuración actual de la red y proyección de la demanda a veinte años.</i>	67
<i>Gráfico 5.16. Simulación modificaciones en red y demanda futura (Veinte años).</i>	68
<i>Gráfico 5.17. Simulación modificaciones para atender demanda futura e implementación uso eficiente del agua.</i>	69
<i>Gráfico 6.1. Relación entre el consumo facturado y el medido en la Universidad de Ibagué.</i>	72
<i>Gráfico 6.2. Pruebas de medición a micromedidores.</i>	73
<i>Gráfico 6.3. Pruebas de medición a micromedidores.</i>	74
<i>Gráfico 6.4. Pérdidas por reboses en tanques de almacenamiento</i>	75
<i>Gráfico 6.5. Simulación del consumo después de reparar reboses y fugas en la red.</i>	75
<i>Gráfico 6.6. Ubicación y cantidad de equipos de bajo consumo para instalar en el campus.</i>	80
<i>Gráfico 6.7. Combinación de escenarios de bajo consumo de agua.</i>	81

Tablas

<i>Tabla 4.1.</i> Calidad del agua de la quebrada Ambalá.	37
<i>Tabla 4.2.</i> Estaciones meteorológicas utilizadas dentro del área de estudio.	39
<i>Tabla 4.3.</i> Comportamiento de la evapotranspiración en la quebrada Ambalá.	42
<i>Tabla 4.4.</i> Balance hídrico de precipitaciones medias de la quebrada Ambalá.	46
<i>Tabla 4.5.</i> Balance hídrico año Niño (1998) de la quebrada Ambalá.	46
<i>Tabla 4.6.</i> Estado de las estructuras del canal.	49
<i>Tabla 4.7.</i> Inversiones para uso eficiente del canal.	50
<i>Tabla 5.1.</i> Inversiones propuestas para la expansión de redes.	70
<i>Tabla 6.1.</i> Pruebas de precisión a micromedidores.	73
<i>Tabla 6.2.</i> Características de los sanitarios disponibles en el mercado.	76
<i>Tabla 6.3.</i> Selección de la referencia de sanitarios de bajo consumo de agua. ..	77
<i>Tabla 6.4.</i> Características de los orinales disponibles en el mercado.	78
<i>Tabla 6.5.</i> Selección referencia de orinales de bajo consumo de agua.	78
<i>Tabla 6.6.</i> Características de las griferías de bajo consumo disponibles en el mercado.	79
<i>Tabla 6.7.</i> Selección referencia grifería de bajo consumo.	80
<i>Tabla 7.1.</i> Plan de inversiones propuesto para la implementación del programa de uso eficiente del agua institucional.	83

Presentación

La Declaración de Dublín sobre el Agua y el Desarrollo Sostenible (1992) reconoce el carácter imprescindible que implica el agua para el ambiente, la sociedad y la economía, así como el valor económico de este recurso natural entre sus distintos usos competitivos. Asimismo, en la Ley 373 de 1997, por la cual se establece el programa para el uso eficiente y ahorro del agua, se hace eco de esta visión inspiradora de la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos, GIRH, al atribuirle al agua dulce un valor económico intrínseco (Artículo 14). Igualmente, esta Ley contempla en sus Artículos 12 y 13, un componente educativo orientado a la concienciación ambiental de la sociedad, a través de campañas educativas dirigidas a los usuarios, que son toda la ciudadanía, y programas docentes formales en distintos niveles.

En Colombia se dispone de una precipitación anual de 3000 mm (Marín R., 2003), que genera la esorrentía de ríos, quebradas y almacenamientos; de manera que la oferta hídrica en términos de rendimiento es de 58 LPS/Km², la cual es seis veces mayor que el promedio mundial, y supera por tres la cantidad de agua en Latinoamérica. Esta oferta hídrica permite disponer generosamente de este recurso. Sin embargo, el crecimiento poblacional ejercerá cada día mayor presión sobre los recursos naturales (Ministerio de Desarrollo, 2002) y supone el aumento de la demanda de agua para sus diferentes usos.

Hace 50 años en Colombia, el 75% de la población se ubicaba en las zonas rurales, mientras que el 25% restante correspondía a la población urbana. Hoy, el 80% de la población habita las ciudades y el 20% en la zona rural (Naciones Unidas, 1995, 2007; Banco Mundial, 2012; Marín R., 2003). Por lo tanto, el crecimiento poblacional no solo presionará el recurso hídrico en términos de cantidad, sino también en calidad, y en

consecuencia, pondrá ir en detrimento la disponibilidad de agua, lo cual acareará problemas sociales y económicos a la población.

De acuerdo con los reportes del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia, IDEAM, (2010), la relación entre demanda y oferta determina la escasez hídrica, en la que el escenario más crítico corresponde a las condiciones de año seco. En el caso del departamento del Tolima, dicho índice es mínimo y por ello se podría pensar que no se presentarán problemas de disponibilidad de agua. Sin embargo, al considerar el comportamiento del clima y su relación con el uso del suelo, se identifican procesos de deforestación y coberturas vegetales que contribuyen al aumento del albedo de reflexión, y a su vez representan el incremento de las pérdidas de agua en una cuenca, constituidas por la evapotranspiración que ocasiona una tendencia de grandes superficies hacia la aridez.

Por otra parte, la variabilidad climática produce el incremento de la intensidad y frecuencia de los desastres naturales, los cambios en el régimen de precipitación, las frecuentes crecientes e inundaciones y la reducción de los glaciares, entre otros. Para Colombia y el Departamento del Tolima, esta tendencia representa dificultades para el desarrollo, porque afecta especialmente los sectores más pobres de la sociedad y el logro de las Metas de Desarrollo del Milenio (Naciones Unidas, 2010), al aumentar las desigualdades en salud, acceso a la alimentación adecuada, al agua potable, que son recursos necesarios para asegurar la calidad de vida de las personas y el desarrollo sostenible (Naciones Unidas, 2000).

En este contexto, la problemática debe abordarse en el marco de la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos, GIRH, que obedece a un concepto incorporado desde la Conferencia de Dublín (Comité Administrativo de Coordinación de las Naciones Unidas y Grupo Interinstitucional para los Recursos Hídricos, 1992; Naciones Unidas, 1992) y la Cumbre para la Tierra de Río (Naciones Unidas, 1993). Las reuniones subsiguientes, incluida la Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sostenible de Johannesburgo en 2002, han establecido que la GIRH es determinante para lograr el desarrollo sostenible.

Según la Asociación Mundial para el Agua (Global Water Partnership, GWP, 2000), “la GIRH contribuye al alcance del desarrollo y bienestar económico y social, sin comprometer la sostenibilidad de los ecosistemas vitales” (Comité Técnico Asesor de la Asociación Mundial para el Agua,

2000, p.27) y dirige el trabajo hacia áreas específicas como la protección, manejo y ordenamiento de cuencas, control de pérdidas, administración y uso eficiente del agua. Para una gestión sostenible y eficaz de los recursos, es necesario integrar aspectos de carácter económico y social, relacionados con el uso del agua (C. Sadoff y M. Muller, 2009).

Actualmente, la Universidad de Ibagué debe suministrar agua potable a una población aproximada de quince mil personas, las cuales se cuentan entre estudiantes de niveles técnico, tecnológico, pregrado, postgrado, Programa Avancemos, Centro de Idiomas, docentes, administrativos y visitantes. Dado que las universidades están clasificadas por la Norma Sismo Resistente colombiana NSR10 (Decreto 926 del 19 de marzo de 2010, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, MAVDT, Ley 400 de 1997, modificada con la Ley 1229 de 2008), dentro del Grupo de Uso III, las instalaciones de estas instituciones no solo deben comportar características estructurales que garanticen la seguridad de sus usuarios, sino también proveer servicios y condiciones de apoyo ante la ocurrencia de un desastre. Para lograrlo, entre muchos otros factores, se requiere de un adecuado suministro de agua.

En este sentido, este proyecto presenta la formulación de un Programa de Uso Eficiente del Agua para la Universidad de Ibagué, en cumplimiento de la Ley 373/ 1993, para plantear actividades que conduzcan a la reducción de pérdidas de agua en las redes de la Universidad de Ibagué, incorporando intervenciones como la instalación de aparatos de bajo consumo, de acuerdo al Decreto 3102 de 1997, Artículo 2.

El anterior marco jurídico confiere pleno sentido al presente estudio, titulado *Formulación del programa de uso eficiente del agua en el campus de la Universidad de Ibagué*, en consideración a su poder didáctico, como quiera que tenga lugar en un centro de formación superior. Por ello está llamado a ejercer un impacto positivo en la comunidad educativa directamente implicada, y a convertirse en un referente para otras instituciones de índole similar. Todo esto dirigido a crear un compromiso ético en el manejo racional del recurso hídrico, en razón a la trascendencia socioeconómica que encierra, y que comprende la estrecha vinculación existente entre el acceso al agua y la pobreza.

En su inicio, el texto se ocupa, precisamente, de analizar dicha interrelación. Por esto es válido empezar con la importancia de la gestión de la demanda hídrica, más allá del tradicional –y ya agotado– enfoque de

gestión de la oferta hídrica, con el objeto de liberar recursos susceptibles de aprovechamiento en otros usos alternativos del agua. Y es aquí, como eje de usos alternativos, que cobra protagonismo el análisis del vínculo entre agua y pobreza, en su doble vertiente: la mayor exposición a la pobreza por parte de individuos y comunidades que no cuentan con acceso al agua segura, por un lado, y el potencial del acceso al agua segura como estrategia eficaz de reducción de la pobreza, por otro lado.

Posteriormente, se presenta el diagnóstico hidráulico del sistema de distribución de agua potable, al considerar que la Universidad es usuaria de la Empresa Ibaguereña de Acueducto y Alcantarillado IBAL S.A. E.S.P. OFICIAL y del barrio Ambalá, ACUAMBALÁ. Este documento reúne una propuesta de optimización hidráulica para el campus de la Universidad de Ibagué, bajo el escenario de la gestión de pérdidas. De manera que la experiencia se plantea como una alternativa para disminuir el consumo de agua, lograr mayor eficiencia de su uso y facilitar el acceso de otros usuarios para diferentes tipos de aprovechamiento.

Este marco conceptual contiene un compendio sobre aspectos relevantes de la interacción agua-pobreza, que empieza por la definición misma del fenómeno, y luego abarca temas conexos, como: Objetivos de Desarrollo del Milenio, actualidad socio-económica de Colombia y el derecho al agua.

Finalmente, se espera que mediante la formulación y posterior implementación del programa de uso eficiente del agua para la Universidad de Ibagué, la experiencia facilite la reproducción de la misma en entidades de naturaleza similar e incluso, en municipios menores del Departamento del Tolima.

El uso eficiente del agua como estrategia de reducción de pobreza

2.1 Bases teóricas

2.1.1 *La pobreza, un problema complejo y multidimensional*

El Programa 21 de la Organización de las Naciones Unidas, ONU, Capítulo 3 (Lucha contra la pobreza), se refiere a la pobreza como un problema complejo y multidimensional, con origen en los ámbitos nacional e internacional.

La Comisión Económica para América Latina y el Caribe, CEPAL, (2000) alude a los umbrales monetarios de pobreza e indigencia, y expone la incapacidad de los mismos para revelar el acceso a bienes y servicios, y la libertad de elección. Amartya Sen (2000) define la pobreza como privación de las libertades esenciales del individuo para llevar el tipo de vida que tiene razones para valorar. En línea con la noción de desarrollo humano, el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, PNUD, (2000) asume el concepto de pobreza como privación de una vida larga y saludable, de conocimiento, de un nivel de vida decente, y participación.

De acuerdo con un compendio sobre la definición de pobreza, Romero (2002) admite la complejidad del concepto, dados sus múltiples determinantes, tan variables en tiempo y espacio. Recalca que cualquier política de alivio de pobreza debe apuntar no solo al progreso material de las personas, sino al desarrollo de sus capacidades y fortalecimiento de sus derechos.

Así, la noción de pobreza, apoyada, primero, en una perspectiva monetaria, ha derivado en un enfoque más integral que abarca todas las esferas de la vida humana, aunque su medición continúa muy ligada a la variable renta.

2.1.2 Agua y pobreza en la agenda internacional

El Programa 21 de las Naciones Unidas (Capítulo 3: Lucha contra la pobreza), vincula el problema de la pobreza con el medio ambiente, tanto en sus causas y efectos como en sus posibles soluciones: toda política de desarrollo sostenible debe incorporar una estrategia de lucha contra la pobreza; de lo contrario, la población dependiente de un servicio ambiental puede empobrecerse más, en perjuicio del medio ambiente. El solo incremento de la productividad puede agotar la base natural y, por ende, generar pobreza. También sugiere programas de generación de empleo y renta para aliviar la pobreza en países subdesarrollados, los cuales son aspectos que aparecen reiteradamente en otras citas bibliográficas.

En su Declaración del Milenio (s. f.), la Organización de las Naciones Unidas, ONU, estableció los Objetivos de Desarrollo del Milenio, y fijó una agenda ambiciosa para alcanzarlos, de cara a mejorar la condición humana para el año 2015, a saber:

Objetivo 1: Erradicar la pobreza extrema y el hambre.

Objetivo 2: Lograr la enseñanza primaria universal.

Objetivo 3: Promover la igualdad entre los géneros y la autonomía de la mujer.

Objetivo 4: Reducir la mortalidad infantil.

Objetivo 5: Mejorar la salud materna.

Objetivo 6: Combatir el VIH/SIDA, el paludismo y otras enfermedades.

Objetivo 7: Garantizar la sostenibilidad del medio ambiente.

Objetivo 8: Fomentar una asociación mundial para el desarrollo.

En alusión al primer objetivo, el Plan de Aplicación de Johannesburgo, Capítulo II (Erradicación de la pobreza), las Naciones Unidas (s. f.) plantean la erradicación de la pobreza como el mayor desafío mundial y requisito indispensable del desarrollo sostenible.

La CEPAL (2005) argumenta sobre el papel central del primer objetivo en el alcance de los siete objetivos restantes, y recalca en el nexo *agua-pobreza*: desnutrición, mortalidad infantil y materna, e incidencia de VIH/SIDA y paludismo (objetivos 1, 4, 5 y 6); falta de educación y *acceso a agua potable y saneamiento*, viviendas deficientes y tugurios (objetivos 2 y 7); acceso a mercados y tecnología, financiamiento y cooperación (objetivo 8).

El Portal del Agua de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, UNESCO, (s.f.), realza la interacción

agua-pobreza: la garantía de acceso reduce la carga de transportar agua, lo cual genera tiempo para tareas productivas de adultos y escolares. La oferta fiable de agua para bebida e higiene mejora la salud y eleva el bienestar. En este punto se logra una interrelación más explícita entre el agua y la pobreza. En lo sucesivo, la discusión se orientará hacia el acceso al agua como factor clave en estrategias de alivio de la pobreza.

En su Informe sobre Desarrollo Humano, el PNUD (2006) adopta los Objetivos del Desarrollo del Milenio como marco de referencia e *indicador* de fraternidad global. Este informe articula un amplio examen de las relaciones de causa y efecto que ligan el agua y la pobreza y su expresión en el desarrollo humano, tanto en su aprovechamiento doméstico como productivo. Aquí se refuerza el carácter imprescindible del agua, al expandir su potencial como insumo productivo, más allá del simple consumo humano y doméstico.

2.1.3 La pobreza en Colombia

Núñez, Ramírez y Cuesta (2006) diagnostican los determinantes de la pobreza en Colombia, durante los períodos 1996-2000 (incremento) y 2000-2004 (disminución): en general, el aumento de la pobreza obedeció al declive del empleo y la renta; la caída de la pobreza reflejó mejoras en el nivel educativo y reducción en el tamaño medio de los hogares. El mercado de trabajo influyó más en la pobreza urbana que en la rural.

Los autores aclaran que, pese al enfoque monetario de los indicadores de pobreza basados en la renta, a diferencia de otros centrados en el capital humano, físico y social, los primeros describen mejor los ciclos económicos y los cambios en el mercado laboral, por lo cual son más útiles para estudiar las coyunturas económicas y la pobreza en su magnitud e incidencia.

La CEPAL (2002) resalta que, según el índice de Necesidades Básicas Insatisfechas, NBI,¹ como indicador oficial de la pobreza en Colombia, esta ha cedido gracias a los progresos en educación, salud, vivienda y agua potable; pero el análisis en el aspecto de la renta de los hogares denota el efecto contrario. Romero (2002) cuestiona el carácter discreto del NBI

¹ Índice compuesto por cinco indicadores simples: viviendas inadecuadas, con hacinamiento crítico, con servicios inadecuados, con alta dependencia económica y con niños en edad escolar que no asisten a la escuela. La deficiencia en un indicador denota pobreza, y en más de uno, indigencia.

que dificulta evaluar la dispersión de la pobreza. Lara (2006) objeta que el NBI en Colombia considere al hogar como el objeto de encuesta, lo cual impide diferenciar la situación de los integrantes de la familia. Se advierte así una limitación potencial sobre la representatividad de los datos oficiales de pobreza en Colombia, expresados como el NBI de hogares a nivel municipal, por parte del Departamento Administrativo Nacional de Estadística, DANE.

2.1.4 Conflicto armado y distribución del ingreso

Acerca del impacto socioeconómico del conflicto armado, el Banco Mundial (2006) calcula que si Colombia hubiera logrado la paz hace veinte años, la renta de un colombiano medio sería hoy un 50% más alta, y habría 2,5 millones menos de niños pobres. También señala que, aunque el desarrollo y la paz no son sinónimos, el deterioro de la economía puede agravar el conflicto

Lara (2006) explica el efecto nocivo del conflicto sobre la economía por la destrucción de infraestructura, el sacrificio de capital humano, el alejamiento de la inversión y desviación de recursos aprovechables en desarrollo humano. A razón de 1,5% del PIB anual (estimativo más bajo), Colombia perdió el 17% de renta per cápita en los últimos diez años, por causa del conflicto.

Es necesario recordar que el menoscabo de los derechos humanos atenta contra la dignidad de la persona, y comporta en sí mismo una manifestación de pobreza en doble dirección: un individuo o grupo privado del ejercicio de sus derechos humanos se encuentra más expuesto a la pobreza; asimismo, una persona o comunidad pobre choca con más y mayores obstáculos al momento de reivindicar sus derechos humanos (Amnistía Internacional, 2010).

El Banco Mundial (2006) subraya la problemática simultánea de inequidad, violencia y pobreza en Colombia; destaca la desigualdad como acicate del conflicto, incluso en épocas de bonanza que indujeron al descenso de la pobreza.

La CEPAL (2005) afirma que es moralmente inaceptable que en una sociedad coexistan individuos con recursos casi ilimitados, y colectivos con la carencia de lo elemental; más aún, en países que ya disponen del bienestar que satisfaría las demandas básicas de todos sus ciudadanos si el reparto de la renta fuese más igualitario. Junto al anterior argumento

ético encontramos el económico, según el cual la inequidad atenta contra el bienestar y desarrollo y frena el alivio de la pobreza, al negar recursos a quienes podrían obtener el mayor beneficio marginal. La repartición desigual del ingreso en Latinoamérica refleja la distribución heterogénea de educación, patrimonio y empleo. La redistribución potenciaría el impacto del crecimiento sobre la pobreza en la región: de cara al primero de los Objetivos del Desarrollo del Milenio, por cada punto de caída del coeficiente de Gini, la meta de crecimiento podría bajar 0,2.

El Banco Mundial (2006) subraya el papel de la equidad como potenciador o limitante del efecto de la expansión económica sobre la reducción de la pobreza en América Latina: primero, si el crecimiento acarrea redistribución, es más propicio para los pobres; y segundo, la misma meta de alivio de pobreza exige mayor expansión en una sociedad más heterogénea. Países relativamente más ricos y dispares –Argentina, Brasil, Colombia y México– requieren crecimiento y redistribución, como objetivo de atacar la pobreza.

Se plantea así la urgencia que para Colombia reviste la tarea de acortar la asimetría en la distribución de la renta, con miras a atenuar la pobreza; incluso al privilegiar este objetivo sobre el simple crecimiento económico.

2.2 Avance de Colombia en el primer objetivo del Milenio

La CEPAL (2005) ofrece varias evaluaciones sobre el avance de Colombia hacia el primer Objetivo del Milenio y, aunque podrían parecer contradictorias entre sí, es probable que se hayan ajustado de acuerdo con la evolución de los indicadores económicos del país. Para empezar, la CEPAL manifestó serias dudas acerca de la viabilidad del primer objetivo en Colombia, ya que se requerirían tasas de crecimiento muy superiores al promedio histórico, aún si se asume un punto de más sobre la media, lo cual exigiría mejor redistribución interna y mayor cooperación externa. Lara (2006) ratificó tal inquietud de acuerdo con el nulo retroceso de la indigencia entre 1991 y 1999 (26,1 frente al 26,8%). Incluso formuló como meta más plausible para América Latina, acorde al potencial regional, la reducción a la mitad de la pobreza general, lo cual supondría para Colombia pasar del 56,1% en 1991 al 28,0% en 2015 (en 1999 solo bajó al 54,9%). A esto se aunaba la asimetría campo-ciudad (61,8% frente al 50,6% de pobreza, y 34,6% frente al 21,9% de indigencia), y entre departa-

mentos, reflejada en la mejoría del desarrollo humano en Valle del Cauca, Antioquia y Santander y, por el contrario, deterioro en Quindío, Huila y Norte de Santander. Los valores extremos se mantenían en Bogotá y Atlántico (superior), y Chocó, Cauca y Nariño (inferior).

No obstante, la CEPAL (2007) mostró optimismo en relación con Colombia, por haber exhibido un mejor progreso del esperado y porque, si bien se requería una tasa mayor a la media en el período 1991-2006, el desempeño económico precedente lo tornaba viable, si se complementara con mejoras distributivas. Aquí nuevamente se incidía sobre la necesidad de atacar la inequidad como condición ineludible para reducir la pobreza en Colombia.

Recientemente, la CEPAL (2013) informa los avances observados en Colombia durante el año 2011 en relación con el 2010, en esta materia; así: la pobreza experimentó una caída del 3,1%, al pasar del 37,3 al 34,2%; mientras que la indigencia mostró un declive del 1,6%, al pasar del 12,3 al 10,7%. Con estos datos, se deduce que ya se habría alcanzado la meta de reducir a la mitad el porcentaje de población indigente con respecto a 1990 (26,1%). Aun así, en menos de dos años del vencimiento del plazo, todavía no se ha logrado reducir a la mitad el porcentaje de pobres respecto a 1990 (56,1%), cuya meta está más acorde al potencial de Latinoamérica, sugerida por Lara (2006).

2.3 La Gestión Integral de los Recursos Hídricos, GIRH

La Global Water Partnership, GWP, (2008) ofrece la siguiente definición de la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos, GIRH:

La Gestión Integrada de los Recursos Hídricos se puede definir como un proceso que promueve la gestión y el desarrollo coordinados del agua, la tierra y los recursos relacionados, con el fin de maximizar el bienestar social y económico resultante de manera equitativa, sin comprometer la sostenibilidad de los ecosistemas vitales. (p.4).

El concepto teórico de la GIRH condensado en la definición anterior, fue elaborado por consenso en la Conferencia Internacional sobre el Agua y el Medio Ambiente, celebrada en Dublín, Irlanda, en el año 1992. La declaración de dicha conferencia recoge los siguientes cuatro principios rectores (s. f.):

Principio 1. El agua dulce es un recurso finito y vulnerable, esencial para sostener la vida, el desarrollo y el medio ambiente.

Principio 2. El aprovechamiento y la gestión del agua debe inspirarse en un planteamiento basado en la participación de los usuarios, los planificadores y los responsables de las decisiones a todos los niveles.

Principio 3. La mujer desempeña un papel fundamental en el abastecimiento, la gestión y la protección del agua.

Principio 4. El agua tiene un valor económico en todos sus diversos usos en competencia a los que se destina y debería reconocérsele como un bien económico (s. p.).

A la luz de la noción expuesta de la GIRH, resulta claro que en el manejo de los recursos naturales es procedente adoptar el agua como eje articulador de los ecosistemas y el desarrollo socioeconómico de las comunidades. Como complemento de lo anterior, es necesario reconocer que la cuenca hidrográfica configura la unidad espacial lógica de planificación y manejo ambiental. Esto, debido a que tanto el ciclo natural como el aprovechamiento humano del agua, generan un alto grado de interrelación e interdependencia entre todos los componentes físico-bióticos y socioeconómicos con asiento en el territorio.

Por tales motivos, las diversas interacciones que establece el ser humano con su entorno natural son susceptibles de ser analizadas en el marco de la cuenca donde ellas tienen lugar. De esta manera, el entramado de impactos que la población ocasiona sobre los recursos naturales, tanto bióticos como abióticos, por cuenta de su actividad económica y social, necesariamente tiene a la hoya hidrográfica como escenario obligado.

En este caso, por ejemplo, se habla de un plan de optimización hidráulica en el campus de la Universidad de Ibagué, el cual contribuye al uso eficiente del agua en el contexto de las cuencas de los ríos Combeima y Ambalá. Fuentes hídricas que surten los sistemas de acueducto del IBAL y ACUAMBALÁ, respectivamente, y que a su vez prestan el servicio de agua potable al campus de la Universidad. De manera que al considerar los principios de Dublín, el uso eficiente del agua por parte de las comunidades se convierte en una importante herramienta para la reducción de la pobreza, al reconocer en el acceso al agua un limitador o potenciador del desarrollo socioeconómico.

2.4 El agua como un derecho humano básico

Las Naciones Unidas en la página web del Año Internacional del Agua Dulce (2003), reseña como hito histórico el Comentario General sobre el derecho al agua, adoptado en 2002 por el Pacto sobre Derechos Económicos, Sociales y Culturales, ratificado por 145 países (incluido Colombia), que se obligaron a proveer agua potable a todos sus ciudadanos, en reconocimiento a un derecho humano fundamental.

Para el PNUD (2006), el acceso al agua para la vida (20 L/hab*día, mínimo) es una necesidad básica y un derecho fundamental, y la afirmación de tal derecho avala la provisión de agua y saneamiento bajo los principios de igualdad, universalidad y no discriminación. A la demanda moral, se suma la justificación económica de la inversión estatal en agua potable y saneamiento: en función de la tecnología, *la reducción a la mitad del porcentaje de población sin acceso* cuesta diez mil millones de pesos al año, y la cobertura universal oscilaría entre veinte mil y treinta mil millones de pesos; sin embargo, el coste del déficit actual es nueve veces superior.

Hasta aquí se pensaría que el derecho al agua solo abarca las dimensiones personal y doméstica, pero no la productiva. No obstante, la Organización Mundial de la Salud (2003), recalca el cumplimiento del derecho al agua en relación con el disfrute de otros Derechos Económicos, Sociales y Culturales (alimentación, salud, trabajo, cultura), y admite su rol de insumo productivo. Woodhouse y Langford (2009) debaten tal interpretación del derecho al agua que lo amplía a la órbita productiva.

En complemento –y contraposición– a la visión del agua como bien económico consignada en los Principios de la Declaración de Dublín sobre el Agua y el Desarrollo Sostenible (s. f.), el derecho al agua, incluida su faceta productiva, constituye una fuerte base conceptual y moral para investigar la efectividad del uso múltiple como estrategia de alivio de la pobreza en Colombia.

2.5 El uso productivo del agua en pequeña escala

Existe un abundante desarrollo teórico y una evidencia empírica sobre la eficacia del uso del agua en baja escala –hogar o finca–, o uso múltiple, como vía de alivio de la pobreza, en el mismo tono con el enfoque de derechos. Para la CEPAL (2005), todo hogar pobre precisa de un trabajo decente para lograr autonomía financiera por su propio esfuerzo; mientras Lara (2006) concibe la creación del empleo productivo como un fin

y, paralelamente, como medio del crecimiento. Estas ideas genéricas se desarrollan a continuación en relación específica con el agua como insumo productivo.

El Banco Mundial (2006) cita canales de perpetuación de la pobreza y señala medidas para su ruptura. Asocia la pobreza con carencia de capital, no solo financiero sino también físico y de conocimientos. Además de obligados avances en salud y educación, urge la atenuación de la pobreza rural mediante la potenciación de la capacidad productiva familiar. Es evidente que el agua constituye un insumo fundamental dentro de este propósito.

El uso productivo del agua en baja escala se asimila a algunas directrices de la CEPAL (2005) sobre diseño de políticas de supresión de factores estructurales de propagación de la pobreza rural, en cumplimiento de los Derechos Económicos, Sociales y Culturales, que apuntan en dos direcciones complementarias: primero, formación de capital humano a través del aseguramiento en salud y educación, y desarrollo de capacidades y habilidades; segundo, conformación de capitales físicos y financieros que potencien ese capital humano (infraestructura, crédito y medios de producción).

El Capítulo II del Plan de Aplicación de Johannesburgo –Erradicación de la pobreza–, además de afianzar la capacidad productiva de los campesinos pobres, con el agua como insumo imprescindible, recomienda impulsar la formación de asociaciones productivas solidarias, como instrumento para combatir la pobreza en las comunidades rurales. Para ello se han de acometer desarrollos agropecuarios multipropósito.

Respecto a política alimentaria, la CEPAL (2005) expone el efecto sinérgico del acceso mejorado al agua en hogares pobres, rurales y urbanos, en afirmación de los Derechos Económicos, Sociales y Culturales: la mayor disponibilidad de agua segura refuerza el aprovechamiento alimenticio y brinda más alternativas de sustento, que elevan los ingresos, activan y expanden el mercado local de bienes, servicios y trabajo.

El PNUD (2006) ilustra el papel del agua en los medios de sustento de la gente pobre del campo en términos de productividad, diversificación, mitigación del riesgo, y generación de empleo y renta, lo cual explica el vínculo agua-pobreza.

El International Water Management Institute, IWMI, (s. f.) aborda la fase productiva del agua con un enfoque de género y énfasis en el riego,

reconoce su eficacia en la lucha contra la pobreza, y sugiere priorizar a los pobres como grupo vulnerable en la asignación del recurso, incluso ante una eventual escasez.

La Poverty Environment Partnership (2006) realza la gestión del recurso hídrico en el combate a la pobreza, mediante el uso productivo del agua doméstica en ámbitos rurales y periurbanos, gracias a la ampliación de opciones de sustento para los pobres. Entre los beneficios de elevar la provisión doméstica encontramos el aumento del rendimiento laboral y escolar (más el ahorro monetario) por mejora sanitaria; el autoabastecimiento y la activación del mercado local; el desarrollo de habilidades individuales y colectivas, y la reducción de vulnerabilidad.

El Banco Asiático de Desarrollo (s. f.) explica la interacción agua-pobreza en cuatro frentes: producción, salud, medio ambiente y vulnerabilidad. Asimismo, Soussan y Frans (2003) destacan el papel estratégico de las pequeñas actividades productivas que los pobres pueden acometer cuando tienen acceso al agua, y justifica su promoción con el bajo coste y alto beneficio que conlleva. Tales labores, aunque invisibles estadísticamente, son cruciales para los colectivos vulnerables como mujeres jefes de hogar y grupos marginales.

El Proyecto CPWF-MUSES una asociación de profesionales y comunidades de los sectores de agua productiva y doméstica en los campos de investigación y extensión, que asume la validez de los argumentos expuestos acerca del uso productivo en el nivel domiciliario como estrategia de reducción de pobreza y respalda su implantación, a la luz de la Declaración de Johannesburgo en 2003 (The Multiple-Use Water Services, MUS, s. f.).

De acuerdo con lo anterior, se observa la diversidad de publicaciones que apuntan en esta misma dirección, para reforzar la hipótesis –probada en distintos contextos– de que el uso múltiple contribuye efectivamente a la reducción de pobreza (Moriarty y Butterworth, 2003; Moriarty, *et al.*, 2004; Nguyen-Khoa, *et al.*, 2008; van Koppen, *et al.*, 2009).

2.6 Uso múltiple del agua en Colombia

Un examen del marco jurídico respecto al uso múltiple pasa por la revisión del Decreto 1541 de 1978, el cual define el procedimiento para otorgar los derechos al agua, y en especial sus Artículos 36 (categorías de uso), 43 (prioridades de uso y beneficiarios) y 49 (sujeción a la resolución).

Pese a que no es una norma explícita en tal sentido, en la práctica las autoridades ambientales² la interpretan como prohibición taxativa de cualquier uso distinto (o adicional) al que motiva la concesión. La Resolución 240 de 2004, sobre tasas por utilización de aguas, tampoco reconoce el uso múltiple como realidad evidente del aprovechamiento hídrico en Colombia; se limita en fijar aspectos jurídicos, administrativos y técnicos del cobro, con arreglo al mismo marco del Decreto 1541.

En respuesta a la consulta elevada ante el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, MAVDT, este justificó la creación del Viceministerio de Agua y Saneamiento (Decreto 3137 de 2006) como un paso hacia los Objetivos de Desarrollo del Milenio, a tono con el Departamento Nacional de Planeación, DNP, (2005), y de cara a que 1,5 millones de familias superen la pobreza a través de mejoras en salud y habitabilidad; todo ello bajo la óptica de la Ley 142 de 1994 (servicios públicos domiciliarios) y la Ley 373 de 1997 (uso eficiente y ahorro del agua). Se interpreta que este ajuste orgánico promueve el acceso al agua potable y saneamiento como estrategia contra la pobreza, pero con un enfoque de servicio público domiciliario de corte más urbano que rural. El Gobierno sigue en mora de admitir el potencial productivo del agua a nivel domiciliario como aporte a la reducción de pobreza, sobre todo en entornos rurales y periurbanos.

La guía de diseño de acueductos rurales del MAVDT (2007) –de obligatorio cumplimiento– muestra signos positivos en cuanto al reconocimiento de la demanda productiva de los campesinos, aparte del simple consumo residencial, aunque aún le confiere prioridad capital al uso humano y doméstico, al punto de establecer esa categoría como único criterio de cálculo de la dotación.

El relevo en el Gobierno, acaecido en 2010, trajo consigo una reconfiguración institucional en torno a la gestión medioambiental: en reemplazo del precedente Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, se creó el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. Al interior de este, se instituyó la Dirección de Gestión Integral del Recurso Hídrico como órgano llamado a interactuar muy de cerca, en materia de uso eficiente y ahorro de agua, con el Viceministerio de Agua y Saneamiento

2 Corporaciones autónomas regionales, corporaciones para el desarrollo sostenible, autoridades ambientales de los grandes centros urbanos y la Unidad Administrativa Especial del Sistema de Parques Nacionales Naturales.

Básico, del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio; cartera esta de reciente constitución dentro del Ejecutivo (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, s. f.).

Sería razonable pensar que la sola mención institucional de la GIRH, en la forma de una dirección adscrita a un Ministerio, encierre un reconocimiento político para el manejo holístico que ha de conferirse al agua, y que considere el recurso en toda su complejidad y potencialidad. Por el contrario, surgen dudas en relación con el grado de funcionalidad que se espera de esta aparente dispersión de funciones.

En suma, el conocimiento sobre la interacción agua-pobreza, aportado por esta consulta bibliográfica, sugiere que la optimización hidráulica formulada para el campus de la Universidad de Ibagué daría pie a una investigación susceptible de ser abordada a través de la caracterización y valoración de los costes y beneficios socioeconómicos y medioambientales ligados a diversos escenarios de gestión del agua: especial interés revisite, por ejemplo, el análisis de otros usos alternativos del volumen de agua ahorrado. Todo ello dentro de los contextos rurales, periurbanos y urbanos de las cuencas hidrográficas del río Combeima y la quebrada Ambalá.

2.7 Hipótesis de trabajo

Con el propósito de investigar la contribución de un plan de optimización hidráulica en el campus de la Universidad de Ibagué como estrategia de alivio de la pobreza en el Departamento del Tolima, a partir de la anterior revisión bibliográfica, se formula la siguiente hipótesis de trabajo: *El programa de uso eficiente del agua en el campus de la Universidad de Ibagué constituye una estrategia efectiva de reducción de la pobreza y desarrollo socioeconómico sostenible en el contexto de las cuencas hidrográficas del río Combeima y la quebrada Ambalá.*

Esta hipótesis orientaría una futura investigación hacia la evaluación del efecto del programa de uso eficiente del agua en la caída de la pobreza dentro de los espacios rurales, periurbanos y urbanos de las cuencas del río Combeima y la quebrada Ambalá, básicamente al considerar como indicador el mejoramiento del acceso al agua, es decir, el aumento de la cobertura del servicio de acueducto. Además, se examinaría el nexo entre acceso y el crecimiento económico de las cuencas en las que se ha de implementar –a esta escala– un programa de uso eficiente del agua y por parte de cada uno de los usuarios del servicio de acueducto. El influjo

del programa de uso eficiente en otros determinantes de la pobreza (salud y educación) y factores asociados (equidad distributiva y conflicto armado), se supondría inherente al aumento del bienestar producido, y no sería objeto de valoración específica.

A la luz de la epistemología, la hipótesis encaja en la ética antropocéntrica ampliada, por percibir al hombre como único sujeto de consideración moral. Prominencia ética desde que concede valor a los demás seres vivos, y a la naturaleza en su conjunto, sea instrumental o de otro tipo (Azqueta, 2007). En un claro enfoque utilitarista, se asigna a las personas la autoridad moral para servirse de los recursos provistos por la naturaleza (agua y suelo, animales y plantas), como instrumentos para mejorar sus condiciones de vida, en armonía con los flujos y capacidades de carga de dichos bienes ambientales.

Enfoque metodológico

Para la formulación del programa de uso eficiente del agua en el campus de la Universidad de Ibagué, este se dividió en cuatro partes fundamentales, que permitieron abordar el problema de forma detallada y proponer alternativas que condujeran a la disminución del consumo, aplicando la metodología planteada por Guererro J., Peña L. y Muñoz P. (2007) de la siguiente manera:

3.1 Uso del agua en el canal

En esta parte se realizó la estimación de los caudales disponibles en la microcuenca de la quebrada Ambalá, para determinar la relación de la oferta frente a la demanda para el uso paisajístico en el campus. Al final, se presenta un plan de inversiones para la reducción de pérdidas en el canal y contribuir al mejoramiento del acceso al agua por parte de otros usuarios ubicados aguas abajo.

3.2 Modelación hidráulica de redes de agua potable

Se traza el diagnóstico de las redes de distribución en el campus y su eficiencia. De manera que se plantea la modelación hidráulica, como una herramienta de diagnóstico, disminución de pérdidas de agua y proyección de la demanda futura de agua en el campus.

3.3 Escenarios de consumo y uso eficiente

Descrito el comportamiento espacial y temporal del consumo de agua dentro del campus, fue posible plantear escenarios de simulación, mediante la modelación hidráulica de las redes. Dichos escenarios describen acciones para reducir el consumo de agua, conocer su efecto en el balance mensual y facilitar la toma de decisiones de inversión.

3.4 Plan de inversiones

Conocidos los resultados de los escenarios de consumo y uso eficiente, se presentan alternativas de inversión que posteriormente, mediante un análisis costo-beneficio, conducen a la selección de intervenciones para alcanzar la disminución del consumo de agua, bajo escenarios de uso ambientalmente sostenibles.

Uso del agua en el canal

Esta actividad se realizó en cumplimiento de las disposiciones de Cortolima para el otorgamiento de la Concesión N°0800 de 2004, que corresponde al agua para uso paisajístico y educacional del canal de la Universidad (Gráfico 4.1). Para tal fin, fue necesario describir el comportamiento de la oferta y demanda hídrica de la microcuenca de la quebrada Ambalá, en el que se definió la bocatoma de la Universidad como sitio de interés para el análisis.

Gráfico 4.1. Ubicación del canal en el campus



Fuente: Unibagué (2011)

En esta parte se desarrolla la estimación de la oferta hídrica de la quebrada Ambalá, fuente de suministro del agua que se usa en el canal de la Universidad, en relación con los caudales utilizados en los aspectos paisajístico y educacional (Fotografía 4.1).

Fotografía 4.1. Canal Universidad de Ibagué



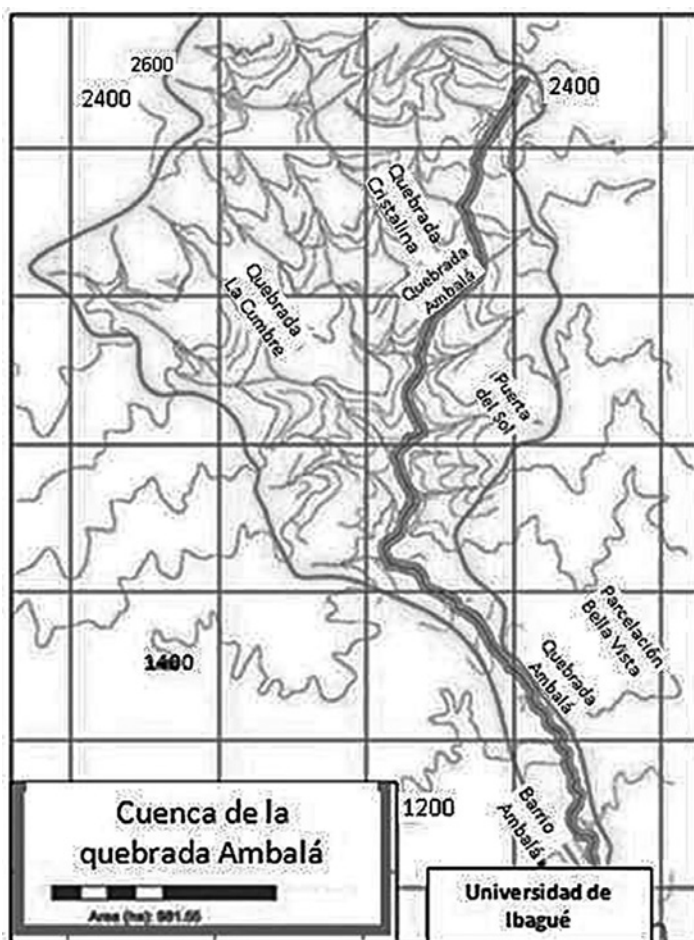
Fuente: Unibagué (2011)

4.1 Generalidades de la microcuenca de la quebrada Ambalá

La microcuenca de la quebrada Ambalá hace parte de la quebrada del río Chipalo, en jurisdicción del Municipio de Ibagué. Actualmente abastece para el consumo humano a la Comuna 6 de Ibagué y surte agua para el uso paisajístico de la Universidad de Ibagué con un caudal promedio anual de 70 Lt/s, de los cuales 15 Lt/s, son utilizados eventualmente para las prácticas de la asignatura Hidráulica del Programa de Ingeniería Civil, caudal que es retornado a la quebrada.

El área de la microcuenca con punto de cierre en la bocatoma de la Universidad de Ibagué es de 10.06 Km², presenta una elevación media de 1.911 msnm, y una pendiente media del 49.34% (Gráfico 4. 2). Su coeficiente de compacidad es de 1.72, la corriente principal es de orden 4, siendo su densidad de drenaje de 3.1 Km/Km². Además, presenta una sinuosidad de 1.10 Km/Km (Unibagué, 2010). De acuerdo con lo expuesto, se estimó que la cuenca se encuentra bien drenada y presenta una torrencialidad moderada.

Gráfico 4.2. Microcuenca de la quebrada Ambalá

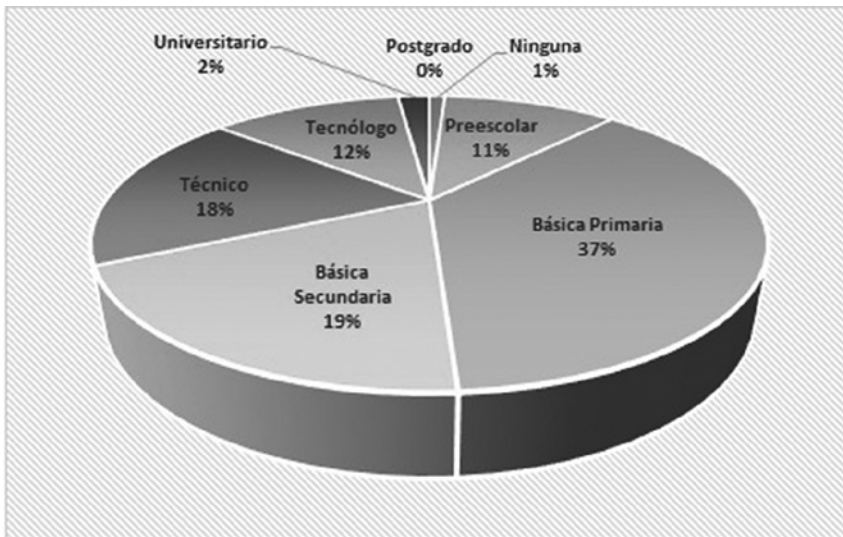


Fuente: Unibagué (2010)

4.1.1 Nivel educativo de la población

La microcuenca y el campus de la Universidad de Ibagué se encuentran ubicados dentro de la Comuna 6 de Ibagué y según la Alcaldía Municipal, se reporta que el 1 % de la población es analfabeta y la mayoría de los habitantes ha recibido alguna instrucción básica (Gráfico 4.3), lo cual se constituye en un hecho importante al momento de considerar campañas de educación ambiental con la participación de la población (Unibagué, 2011).

Gráfico 4.3. Nivel educativo de la Comuna 6



Fuente: Modificado de Moreno (2011)

4.1.2 Estado actual de la protección en la microcuenca

Las afectaciones importantes que se presentan en el cauce principal, se relacionan con la acumulación de residuos no biodegradables, vertimientos de aguas residuales domésticas, procesos de deforestación promovidos por la expansión urbana y, eventualmente, aprovechamiento artesanal de arena que aporta turbidez al agua (Fotografía 4.2).

Respecto de la calidad del agua, se realizó un análisis fisicoquímico en la bocatoma de Unibagué, en el que se encontró que el agua es adecuada para el uso humano, después de un tratamiento convencional de potabilización, según el Decreto 1594 Capítulo IV, Artículo 38 (Tabla 4.1). De manera que se constituyen en posibles aprovechamientos para: preservación de flora y fauna, agricultura, usos pecuario y recreativo.

Fotografía 4.2. Intervenciones en la microcuenca



Fuente: Unibagué (2010)

Tabla 4.1. Calidad del agua de la quebrada Ambalá

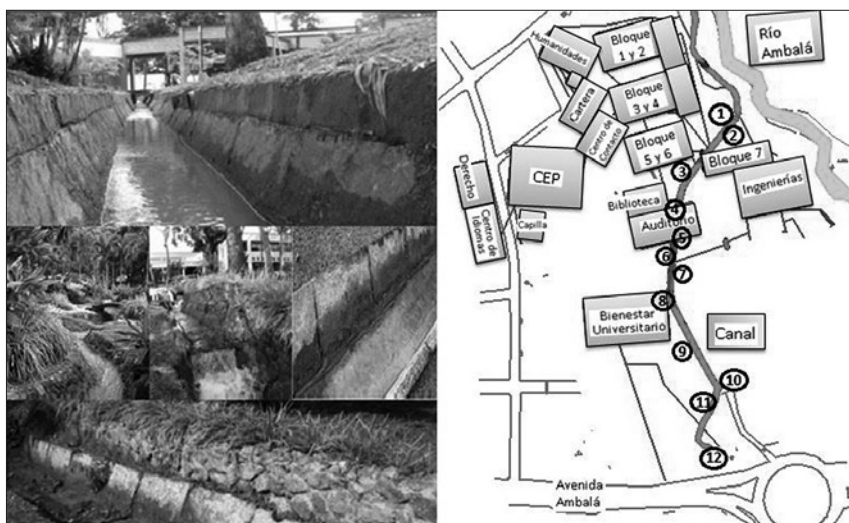
Parámetros	Método	Lc	Fecha de análisis	Resultado	Unidad
COLOR	SM 2120 C	5	111118	11,33	UPC
TURBIEDAD	SM 2130 B	0,01	111118	77	UNT
NITRITOS	SM 4500 NO2 B	0,0015	111118	0,004	mg/L - NO ₂ - N
NITRATOS	SM 4500 NO2 E	0,01	111118	0,472	mg/L - NO ₃ - N
pH	SM 4500 H-B	0,01	111118	7,29	Unidades
DQO	SM 5220 D	15	111123	89	mg/L - O ₂
DUREZA TOTAL	SM 2340 C	5	111121	1801	mg/L CaO ₃
COLOR APARENTE	SM 2120 C	5	111118	398	UPC

Fuente: Unibagué (2010)

4.2 Estado del canal

Para el uso paisajístico, el canal de Unibagué posee una sección trapezoidal y está construido en concreto, el cual tiene una edad superior a los veinte años. En términos generales, la estructura se encuentra en buen estado; no obstante, requiere reparaciones en las juntas para disminuir pérdidas por infiltración, las cuales tienen un valor del 17%. Se identificaron doce (12) lugares para la realización de reparaciones (Fotografía 4.3). Esta actividad se presupuestó y hace parte del plan de inversiones que se presenta en el apartado 7, *Plan de Inversiones*.

Fotografía 4.3. Estado del canal



Fuente: Unibagué (2011)

4.3 Estimación de la precipitación media

Para estimar la oferta hídrica de la quebrada Ambalá, fue necesario cuantificar las entradas de agua al sistema hidrológico y a partir de estas, realizar el balance hídrico. En este caso, las precipitaciones son la única entrada natural de agua a la cuenca; de allí la importancia de su cuantificación y la descripción de su comportamiento. Por lo tanto, se dispuso de las series de precipitaciones reportadas por las estaciones climatológicas y meteorológicas cercanas al área de estudio (Tabla 4.2).

Tabla 4.2. Estaciones meteorológicas utilizadas dentro del área de estudio

Estación	Muni- cipio	Tipo	Periodo de Registro	Latitud N	Longitud W	Eleva- ción m.s.n.m.
Aeropuerto Perales	Ibagué	Climatológica Principal	1990–2011	3° 31 ' 33,26''	74° 14 ' 42,24''	920
El Aceituno	Ibagué	Pluviométrica	1990–2005	3° 37 ' 34,29''	74° 18 ' 41,71''	680
Perales Hato Opia	Ibagué	Pluviométrica	1990–2005	3° 36 ' 34,43''	74° 14 ' 42,71''	750

Fuente: Modificado de IDEAM (2011)

En el proceso de estimar los datos faltantes de las series de precipitación, se utilizó el método de las Proporciones Normales, el cual se describe mediante la ecuación 1:

$$(1) \quad \frac{Xs}{Ms} = \frac{Px + Xs + Xo + Xn}{P}$$

Donde:

Xs , Xo , Xn : datos faltantes del mes con datos faltantes.

Ms : precipitación media mensual de la serie del mes con datos faltantes mensuales.

Px : precipitación anual del año en el que se encuentran los datos faltantes.

P : precipitación anual multianual de la serie, sin incluir años con datos faltantes.

Posteriormente, se determinó la precipitación media de la cuenca de la quebrada Ambalá, con el método de la Distancia Inversa al Cuadrado, el cual considera la distribución espacial y temporal de las lluvias (Peña L.E. y Guerrero J.G., Muñoz P.A., 2007):

$$(2) \quad W_x = \frac{\frac{1}{d_x^2}}{\frac{1}{d_x^2} + \frac{1}{d_y^2} + \frac{1}{d_z^2}}$$

Donde:

Wx : es el peso para la estación x .

dx , dy , dz : es la distancia de las estaciones x , y , z , respecto al centroide.

Calculados los pesos de las estaciones, se determina la precipitación para el nodo P_n , para el tiempo (t), como indica la ecuación 3:

$$(3) \quad P_n(t) = W_x P_x(t) + W_y P_y(t) + W_z P_z(t)$$

Finalmente, se trazaron líneas con igual precipitación, según los registros de las estaciones meteorológicas. El resultado obtenido son las isoyetas que representan la tendencia de las lluvias y zonas con igual cantidad de lluvias (ecuación 4):

$$(4) \quad P_m = \frac{\sum W_n P_n(t)}{\sum W_n}$$

Donde:

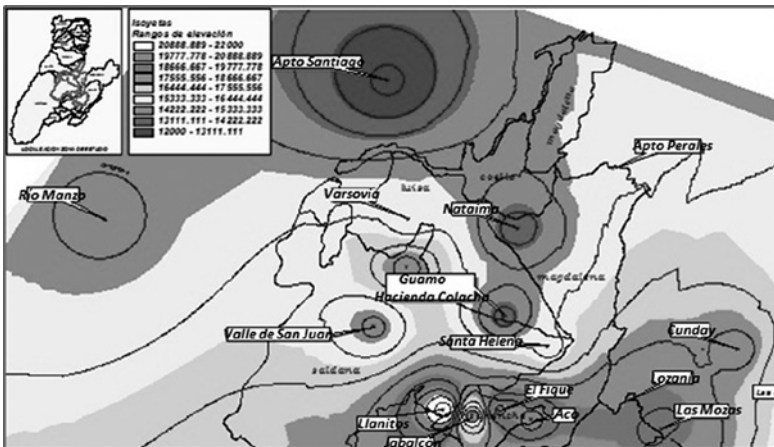
P_m : precipitación media de la cuenca.

W_n : peso asignado al nodo.

P_n : precipitación en el nodo.

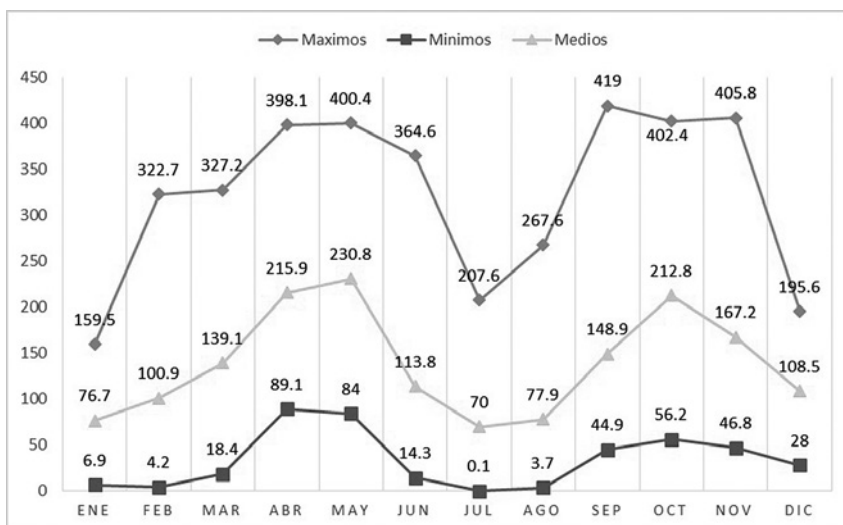
La generación de las isoyetas, mediante la aplicación del método del Inverso de la Distancia al Cuadrado, se logró mediante la utilización de un Sistema de Información Geográfico (Gráficos 4.4 y 4.5). De esta forma, es posible describir la variación espacial y temporal de las lluvias en la cuenca de la quebrada Ambalá.

Gráfico 4.4. Isoyetas obtenidas en el Sistema de Información Geográfico, mes de noviembre



Fuente: modificado de Cortolima-Corpoica (2009)

Gráfico 4.5. Precipitación mensual general de la estación Aeropuerto Perales



Fuente: modificado Unibagué (2010)

4.3.1 Evapotranspiración potencial media

La evapotranspiración potencial media en la cuenca de la quebrada Ambalá se determinó a partir de la evapotranspiración reportada en la estación del Aeropuerto Perales, y posteriormente se aplica la fórmula de Penman (1948) (ecuación 5).

$$(5) \quad E_0 = \frac{\Delta \cdot R_n + \gamma \cdot E_a}{\Delta + \gamma}$$

Donde:

Δ : es la pendiente de la curva de tensión de vapor versus temperatura.

R_n : es la radiación neta, en mm/día.

γ : es la constante psicrométrica, 0.49 mm Hg/°C.

E_a : capacidad de evaporación de la atmósfera calculada con la ecuación aerodinámica, en mm/día.

Posteriormente, se aplica el factor de reducción (f), que según la literatura varía entre 0.6, para el caso de meses invernales y 0.8 para los meses de verano o de bajas precipitaciones.

$$(6) \quad E_{tp} = E_0 \cdot f$$

Donde:

E_o : evaporación.

f : factor de reducción que varía de 0.6 durante meses invernales a 0.8 en meses de verano.

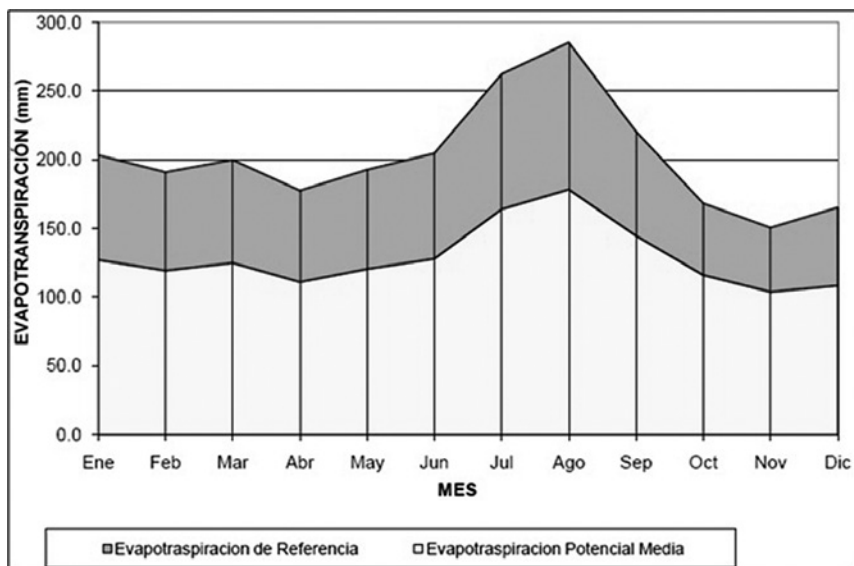
Posteriormente, se aplicó el factor de uso del suelo, para representar de forma general las coberturas vegetales en la cuenca. Finalmente, los resultados obtenidos corresponden a los consignados en la Tabla 4.3 y Gráfico 4.6.

Tabla 4.3. Comportamiento de la evapotranspiración en la quebrada Ambalá.

Mes	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Ev_p	127.1	119.3	124.9	111	120.5	127.9	164	178.3	144.6	116.1	103.8	108.4
K_c	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.7	0.6	0.6	0.7
U_c	0.75	0.75	0.75	0.8	0.75	0.75	0.8	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
ETP	76.3	71.6	74.9	67	72.3	76.7	98	107	75.9	52.2	46.7	56.9

Fuente: modificado de Unibagué (2010)

Gráfico 4.6. Evapotranspiración mensual general



Fuente: modificado de Unibagué (2010)

4.4 Balance hídrico superficial

El balance hídrico corresponde a la contabilidad del agua en la cuenca hidrográfica y consiste en cuantificar las entradas y salidas de agua del sistema (Guerrero J.G., Peña L.E., Muñoz P.A., 2007), para tal fin, se describe el proceso como se presenta en la ecuación 7.

$$(7) \quad \frac{ds}{dt} = I_t - Q_t$$

Donde:

ds/dt : cambio en el almacenamiento.

I_t : flujo de entrada al sistema.

Q_t : flujo de salida del sistema.

Las entradas se representan por las precipitaciones y las salidas por la evapotranspiración, la infiltración y el escurrimiento superficial, como lo describen las ecuaciones 8, 9 y 10 (Chow V.T., 2000):

$$(8) \quad \int_{S_{j-1}}^{S_j} ds = \int_{(j-1)\Delta t}^{j\Delta t} I_t dt - \int_{(j-1)\Delta t}^{j\Delta t} Q_t dt$$

$$(9) \quad \int_{S_{j-1}}^{S_j} ds = \int_{(j-1)\Delta t}^{j\Delta t} P_t dt - \int_{(j-1)\Delta t}^{j\Delta t} Evt_t dt - \int_{(j-1)\Delta t}^{j\Delta t} Esc_t dt - \int_{(j-1)\Delta t}^{j\Delta t} Inf_t dt$$

$$(10) \quad \int_{S_{j-1}}^{S_j} ds = \int_{(j-1)\Delta t}^{j\Delta t} P_t dt - \int_{(j-1)\Delta t}^{j\Delta t} Evt_t dt - \int_{(j-1)\Delta t}^{j\Delta t} Esc_t dt$$

Donde:

ΔS_j : cambio del almacenamiento.

P_t : precipitaciones.

Evt_t : evapotranspiración.

Esc_t : escurrimiento superficial.

Inf_t : infiltración.

Dada la dificultad para estimar el comportamiento de la infiltración en la cuenca de la quebrada Ambalá, se simplificó el sistema mediante la omisión de esta variable, al considerar que el objetivo del proyecto está dirigido a conocer el flujo superficial (Guerrero J.G., Peña L.E., Muñoz P.A., 2007). Por lo tanto, se describe el proceso mediante la ecuación 11:

$$(11) \quad \text{Caudal medio} = \int_{\text{cuenca}} P(x, y) - E(x, y) dA$$

Donde:

$P(x,y)$: precipitación que recibe el mismo punto, en el mismo período.

$E(x,y)$: lámina de agua que se pierde por evaporación en el punto (x, y) en el mismo período (Unalmed-Uniquindío, 2002).

Dado que en la quebrada Ambalá no se dispone de estaciones hidrométricas para conocer el comportamiento de los caudales, fue necesario generarlo mediante la implementación del método del ABC de Thomas (1981), el cual representa una simplificación del sistema hidrológico.

$$(12) \quad P_i - Evt_i - I_i - Ro_i = \Delta Sw = Sw_i - Sw_{i-1}$$

Donde:

$i, i-1$: funciones hidrológicas al final del tiempo i o $i-1$, de manera que la ecuación se puede expresar así:

$$(13) \quad [P_i + Sw_{i-1}] - [Evt_i + Sw_i] = Ro_i + I_i$$

Thomas definió a P_i y Sw_{i-1} como el agua disponible en el tiempo (W_i) y Evt_i y Sw_i como el agua consumida (Y_i), que se exponen en la ecuación 14:

$$(14) \quad W_i = P_i + Sw_{i-1} \quad Y_i = Evt_i + Sw_i$$

Una simplificación del método consiste en que dentro de un intervalo de tiempo la humedad decrece, según lo describe la ecuación 15:

$$(15) \quad Sw_i = Y_i * e^{Evp_i/b}$$

Donde: Evp_i es la evapotranspiración potencial con humedad del suelo asumida, y la diferencia entre la evapotranspiración y la evaporación como el agua disponible para evapotranspirar. El método relaciona la disponibilidad de agua en el tiempo (W_i) y el agua consumida (Y_i), se expresa como lo indica la ecuación 16:

$$(16) \quad Y_i = \frac{W_i + b}{2a} - \left[\left(\frac{W_i + b}{2a} \right)^2 - \frac{W_i * b}{a} \right]^{1/2}$$

Los parámetros a y b resultan de los valores obtenidos para la precipitación media, evapotranspiración y la humedad del suelo en la cuenca. La diferencia entre W_i y Y_p se divide por la escorrentía superficial y la infiltración que contribuye al almacenamiento subterráneo, Rg_i . La relación se expresa mediante las ecuaciones 17 y 18:

$$(17) \quad Ro_i = (1 - c)(W_i - Y_i)$$

$$(18) \quad Rg_i = c(W_i - Y_i)$$

Con base en la expresión anterior, c indica la recarga del acuífero, mientras que el flujo de agua subterránea (Qg_i) expresa el almacenamiento subterráneo, como se presenta en la ecuación 19:

$$(19) \quad Qg_i = d * Sg_i$$

En este caso, d , es el agua almacenada que hace parte de la descarga del acuífero. De manera que la ecuación para describir el almacenamiento de aguas subterráneas se describe como lo indica la ecuación 20:

$$(20) \quad Rg_i - Qg_i = \Delta Sg = Sg_i - Sg_{i-1}$$

La ecuación para describir el almacenamiento de agua subterránea es (ecuación 21):

$$(21) \quad Sg_i = \frac{Rg_i + Sg_{i-1}}{d + 1}$$

Para representar el aporte del flujo superficial finalizado el período i se dispone de la ecuación 22.

$$(22) \quad Q_i = Ro_i + Qg_i$$

La estimación de los coeficientes a , b , c y d se obtienen durante la calibración del modelo a partir de los valores de las variables del balance hídrico. Los resultados se presentan en las Tablas 4.4 y 4.5.

Tabla 4.4. Balance hídrico de precipitaciones medias de la quebrada Ambalá

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Precipitación (Pp)	76.7	100.9	139.1	215.9	230.8	113.8	70.0	77.9	148.9	212.8	167.2	108.5
Evapotranspiración (Ep)	127.1	119.3	124.9	111.0	120.5	127.9	164.0	178.3	144.6	116.1	103.8	108.4
Disponibilidad de Agua (Wi)	166.7	126.0	154.4	241.5	261.7	142.2	94.1	92.2	161.1	233.7	196.6	141.0
Agua Consumida (Yi)	89.6	83.6	89.4	94.0	94.5	86.6	103.6	72.8	89.0	93.7	91.9	86.4
Humedad del Suelo (Swi)	25.1	25.3	25.6	31.0	28.4	24.1	14.3	12.2	21.0	29.4	32.6	29.2
Escorrentía (Rci)	25.5	14.0	24.8	48.7	55.1	18.4	6.8	6.4	23.8	46.2	34.5	18.0
Recarga Agua Subt erránea (Rgi)	51.7	28.5	50.3	98.8	112.0	37.3	13.8	13.0	48.3	93.8	70.1	36.6
Almacenamiento Agua Subt erránea (Sgi)	120.5	147.5	195.8	291.7	399.7	432.6	442.0	450.5	493.8	581.8	645.5	675.3
Flujo Agua Subterránea (Qgi)	1.2	1.5	2.0	2.9	4.0	4.3	4.4	4.5	4.9	5.8	6.5	6.8
Corriente Superficial (Qi)	26.7	15.5	26.7	51.6	59.1	22.7	11.2	10.9	28.7	52.0	41.0	24.8
Oferta (L/S)	140.1	81.4	140.5	271.3	310.9	119.3	58.8	57.4	151.0	273.4	215.5	130.3

Fuente: Modificado Unibagué (2010)

Tabla 4.5. Balance hídrico año Niño (1998) de la quebrada Ambalá

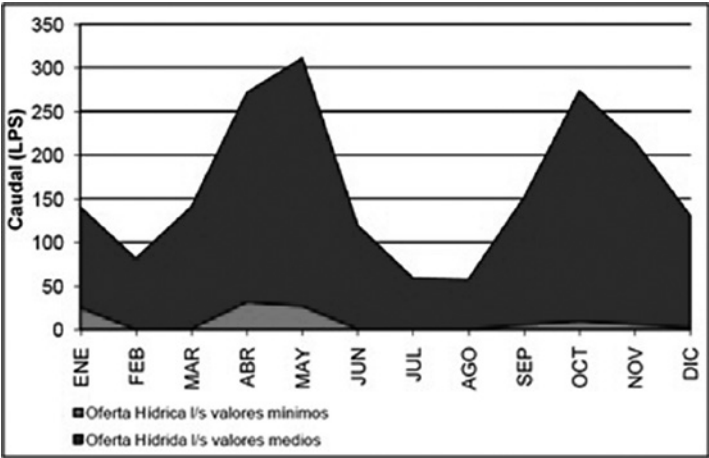
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Precipitación (Pp)	6.9	4.2	18.4	89.1	84.0	14.3	0.1	3.7	44.9	56.2	46.8	28.0
Evapotranspiración (Ep)	72.4	7.1	96.7	86.2	74.4	101.4	130.2	127.0	98.8	48.0	85.9	70.8
Disponibilidad de Agua (Wi)	76.9	4.2	18.4	89.1	84.0	14.3	0.1	3.7	44.9	56.2	46.8	28.0
Agua Consumida (Yi)	64.9	4.2	18.0	71.3	68.8	14.1	0.1	3.7	41.9	50.9	43.5	27.0
Humedad del Suelo (Swi)	31.5	1.9	6.9	30.1	32.7	5.1	0.0	1.0	15.6	31.5	18.4	13.3
Escorrentía (Rci)	4.0	0.0	0.1	5.9	5.0	0.1	0.0	0.0	1.0	1.7	1.1	0.3
Recarga Agua Subterránea (Rgi)	8.0	0.0	0.3	11.9	10.2	0.2	0.0	0.0	2.0	3.5	2.2	0.7
Almacenamiento Agua Subterránea (Sgi)	77.3	0.0	0.3	11.8	10.1	0.2	0.0	0.0	2.0	3.5	2.2	0.7
Flujo Agua Subterránea (Qgi)	0.8	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Corriente Superficial (Qi)	4.7	0.0	0.1	6.0	5.1	0.1	0.0	0.0	1.0	1.8	1.1	0.3
Oferta (L/S)	24.9	0.0	0.7	31.4	26.9	0.4	0.0	0.0	5.3	9.4	5.9	1.8

Fuente: Modificado Unibagué (2010)

4.5 Oferta hídrica quebrada Ambalá

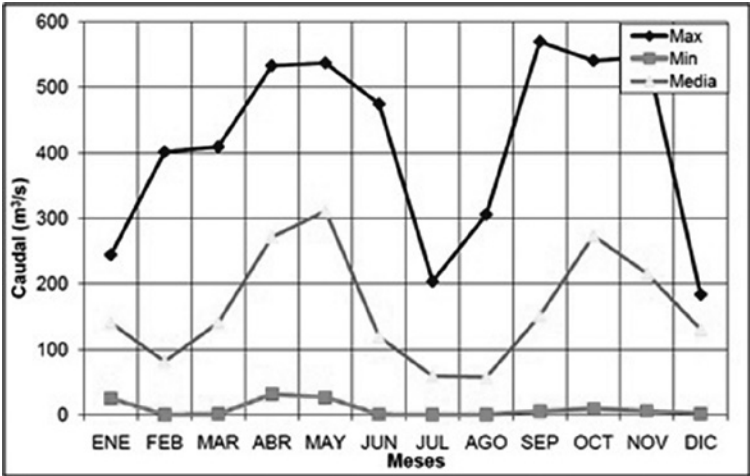
A partir del balance hídrico superficial, se obtuvo la oferta hídrica de la quebrada Ambalá para condiciones de precipitaciones medias y la simulación del año Niño 1998, con punto de cierre en la bocatoma de la Universidad de Ibagué (Gráficos 4.7 y 4.8).

Gráfico 4.7. Oferta hídrica de la quebrada Ambalá



Fuente: modificado Unibagué (2010)

Gráfico 4.8. Caudal quebrada Ambalá



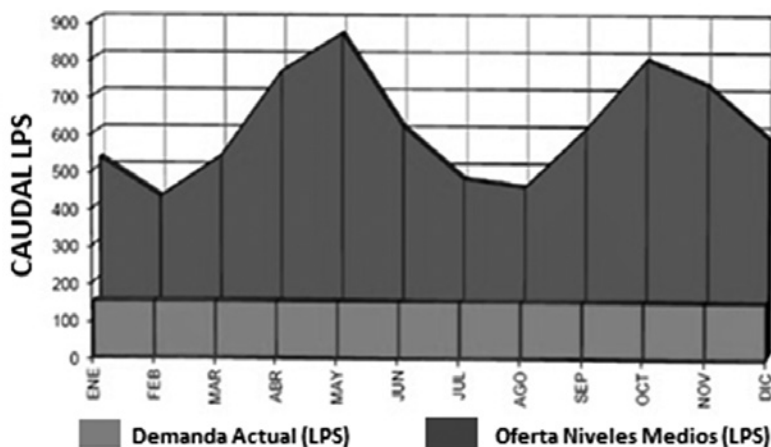
Fuente: modificado Unibagué (2010)

4.6 Demanda hídrica

La Universidad de Ibagué cuenta con una concesión de aguas de 150Lt/s, o el 64% del caudal disponible en la quebrada Ambalá, otorgada mediante Resolución N° 0800 de 2004 de Cortolima. Dicho caudal es utilizado principalmente para el uso educacional y paisajístico.

Dentro del desarrollo del proyecto, se midió el caudal que conduce el canal en temporadas de precipitaciones medias y se encontró que se conduce un promedio de 64 Lt/s (Unibagué, 2011). Por lo tanto, la demanda de agua de la Universidad es inferior a la oferta de la quebrada Ambalá, tal como lo demuestra la información reportada en el Gráfico 4.9. Sin embargo, es importante resaltar que el caudal captado es retornado a la quebrada Ambalá, sin modificar ostensiblemente la calidad del agua medida en la fuente (Unibagué, 2011).

Gráfico 4.9. Comportamiento de la oferta y demanda hídrica Unibagué-quebrada Ambalá



Fuente: Unibagué (2011)

4.7 Estado de la infraestructura del canal

Se diagnosticó el estado de los componentes del sistema de captación y canal abierto de la Universidad, como lo reporta la Tabla 4.6.

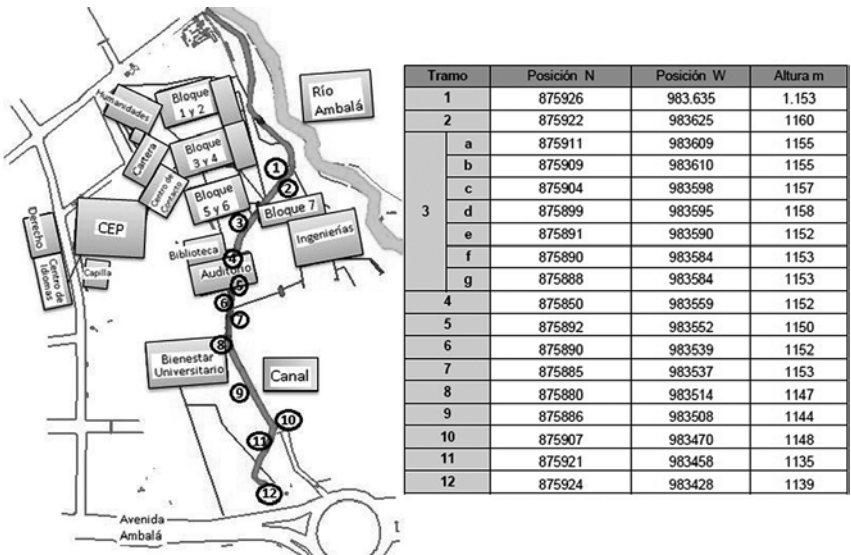
Tabla 4.6. Estado de las estructuras del canal

Estructura	Revestimiento	Estado
Captación de aguas	Gaviones	Bueno
Derivación de aguas	Concreto	Bueno
Vertedero de excesos	Concreto	Bueno
Derivación Laboratorio Hidráulica	Concreto	Bueno
Canal abierto	Concreto	Regular

Fuente: Unibagué (2011)

En virtud de que se encontró que el canal de concreto de la Universidad requiere reparaciones, se identificaron los sitios críticos para intervenir (Gráfico 4.10).

Gráfico 4.10. Ubicación de las reparaciones para el canal



Fuente: Unibagué (2011)

En las observaciones de campo se encontró que la estructura que requiere una atención inmediata, corresponde al muro de contención del área de la rectoría, dado que se presenta una socavación bajo la estructura, generada por el salto de agua que se encuentra debajo de la bocatoma de la Universidad, sobre la quebrada Ambalá.

4.8 Uso eficiente del agua del canal y plan de inversiones

De acuerdo con el diagnóstico del estado de la infraestructura del canal y las mediciones de caudales realizadas, se encontró que se pierde un promedio de 28% del agua captada, por concepto de fugas por infiltración en las juntas del canal de concreto. Por lo tanto, el programa de *Uso eficiente del agua para el canal*, involucra un proyecto para la reducción de pérdidas, mediante la reparación de la infraestructura existente.

El programa de uso eficiente del agua en el canal del campus involucra la realización de los proyectos registrados en la Tabla4.7.

Tabla 4.7. Inversiones para uso eficiente del canal

Ítem	Proyectos	Descripción	Valor
1	Reducción de pérdidas por infiltración.	Reparación de las pérdidas localizadas en el canal de concreto.	\$27'500.000
2	Monitoreo de caudales.	Instalación de una estación hidrométrica para el monitoreo de caudales conducidos.	\$3'500.000
3	Campaña de educación ambiental.	Realización de conferencias para estudiantes y personal; suministro de plegables informativos.	\$4'500.000
Valor de las inversiones			\$35'500.000

Fuente: Modificado de Unibagué (2011)

Modelación hidráulica de redes de agua potable

Dentro del proceso de formulación del programa de uso eficiente del agua en la Universidad de Ibagué, fue necesario describir el comportamiento hidráulico de las redes de agua potable, con el propósito de identificar problemas de operación, funcionamiento y capacidad del sistema para abastecer a la comunidad universitaria.

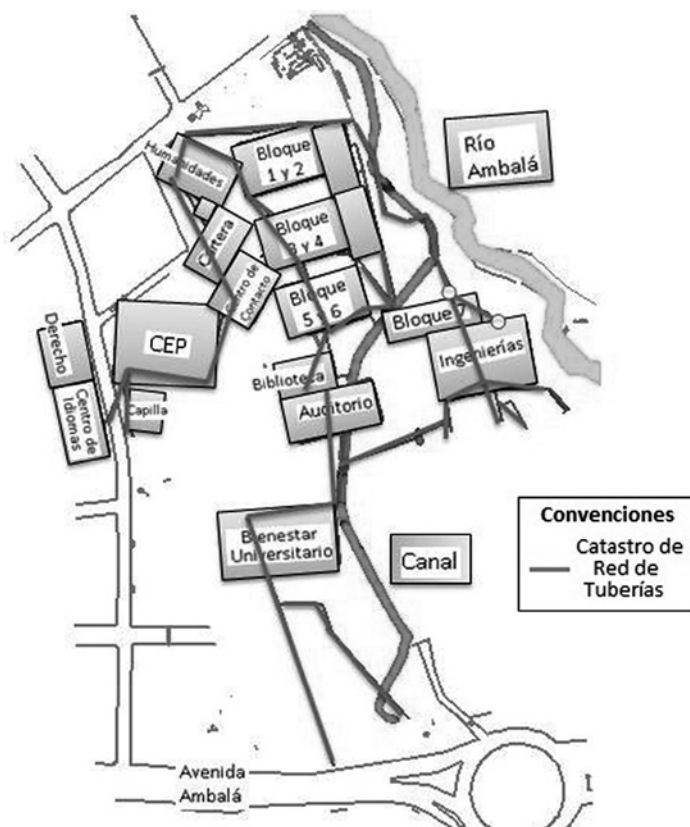
Para dicho propósito, se implementó el modelo unidimensional Epanet 2.0 desarrollado por la Environmental Protection Agency de los Estados Unidos, EPA, (2002), el cual es de dominio público y se ha utilizado con resultados satisfactorios en Colombia para el diseño y modelación hidráulica de redes a presión.

En el proceso de modelación hidráulica de redes en el campus de la Universidad de Ibagué, fue necesario desarrollar las siguientes actividades: levantamiento del catastro de redes de agua potable; medición de presiones y caudales; implementación y calibración del modelo; escenarios de simulación y plan de inversiones en expansión de redes. Estos se detallan a continuación:

5.1 Levantamiento del catastro de redes de agua potable

Para levantar el catastro de redes en el campus de la Universidad, se aplicó la metodología y criterios definidos por el Ministerio de Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (2004). Por lo tanto, en el catastro de redes se consideraron aspectos como: material de las tuberías, diámetro, longitud, elevación y ubicación de accesorios, los cuales fueron consignados en el plano de Catastro de Redes de la Universidad de Ibagué (Gráfico 5.1).

Gráfico 5.1. Catastro de redes de agua potable

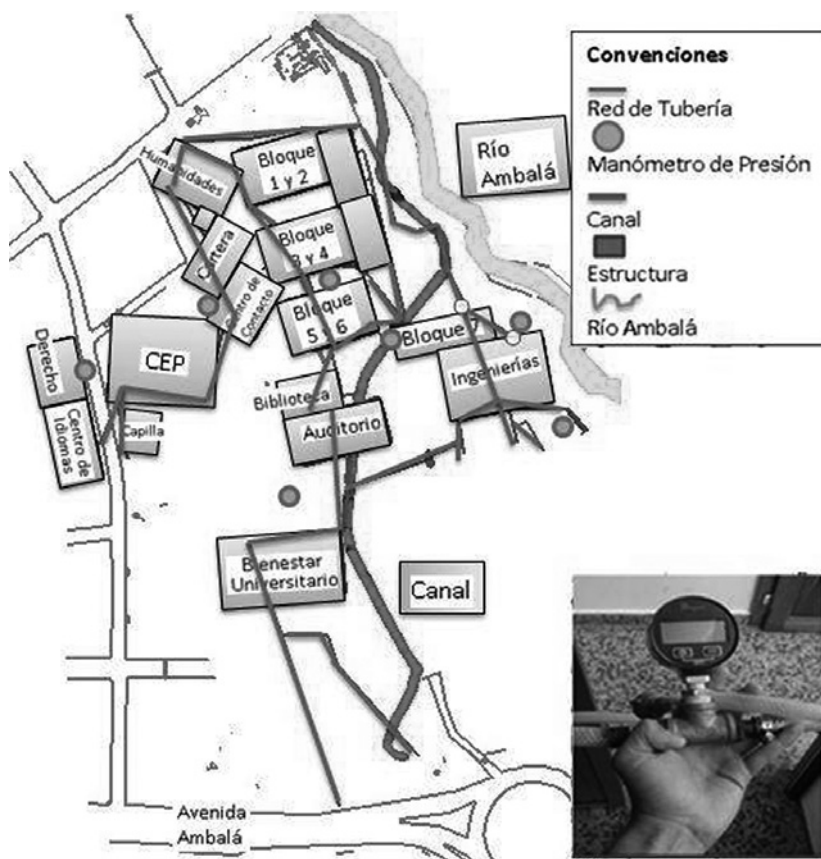


Fuente: Modificado de base cartográfica Auditoria Unibagüé(2011)

5.2 Medición de presiones y caudales

Para la medición de presiones se utilizaron manómetros de glicerina y digitales, con un rango de 0 a 100 psi. Los manómetros se instalaron en los puntos con acceso a la red principal y en cada una de las edificaciones que componen el campus universitario. De manera que la información recolectada posteriormente permitió calibrar el modelo hidráulico. A su vez, para realizar las mediciones de caudal y obtener la curva de demanda del sistema, se tomaron las lecturas de micromedidores patrón instalados en cada acceso de las edificaciones de la Universidad y un medidor de flujo ultrasónico. Las mediciones se realizaron en periodos de 15 minutos durante 24 horas, y en un periodo total de un mes (Gráfico 5.2).

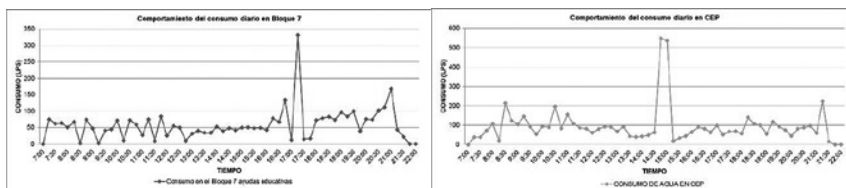
Gráfico 5.2. Ubicación estaciones de medición de presión



Fuente: Modificado de Unibagué 2013

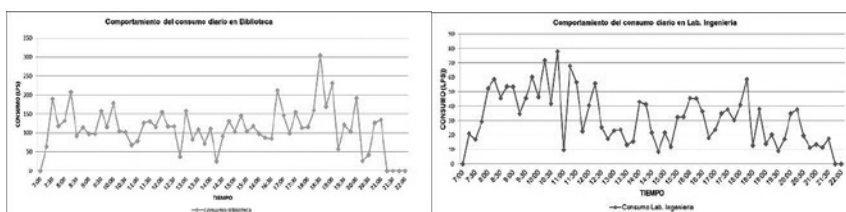
A partir de los caudales medidos, se obtuvo el patrón de consumo en cada una de las edificaciones del campus y se establecieron las demandas horarias, máximas y mínimas, del sistema de distribución de agua potable (Gráficos 5.3 a 5.8). Para tal fin, se ubicaron nueve (9) estaciones de medición de caudales y volumen, conforme se presenta en el Gráfico 5.8.

Gráfico 5.3. Consumo diario Bloque 7 y Centro de Educación Permanente



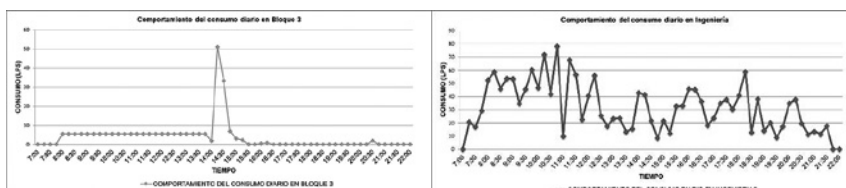
Fuente: Unibagú (2013a)

Gráfico 5.4. Consumo diario Laboratorios Ingeniería y Biblioteca



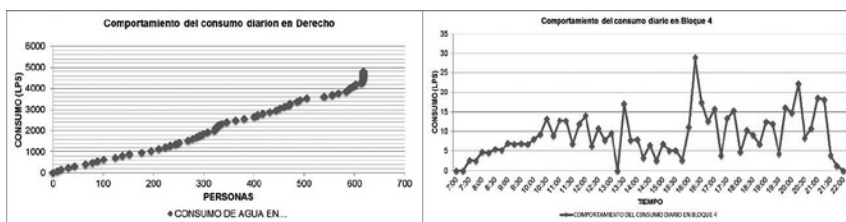
Fuente: Unibagú (2013a)

Gráfico 5.5. Consumo diario Ingeniería y Bloque 3



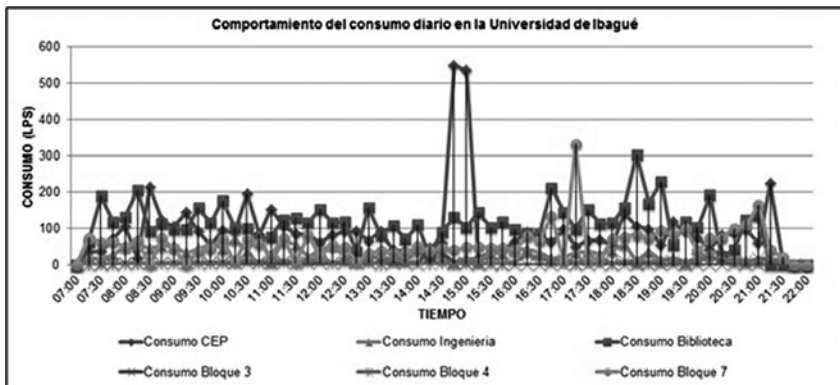
Fuente: Unibagú (2013a)

Gráfico 5.6. Consumo diario Bloque 4 y edificio de Derecho



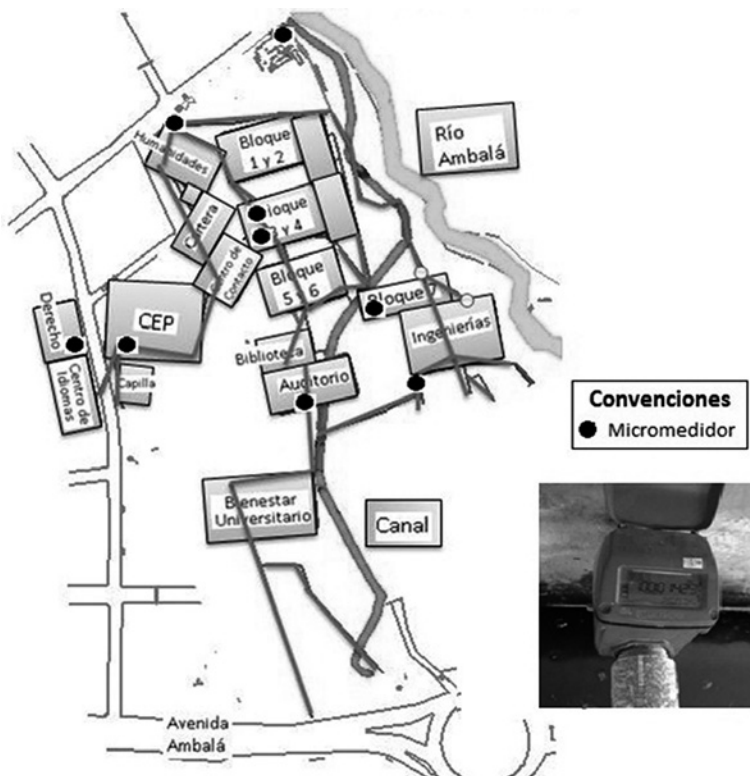
Fuente: Unibagú (2013a)

Gráfico 5.7. Patrón de consumo edificaciones del campus



Fuente: Unibagué (2013a)

Gráfico 5.8. Estaciones de medición de caudales y volúmenes



Fuente: Unibagué (2013a)

5.3 Implementación y calibración del modelo

Inicialmente se realizó la esquematización detallada de las redes hidráulicas, y se identificaron las condiciones físicas (longitudes, materiales, elevaciones de las tuberías, etc.) y las hidráulicas (distribución de demandas, almacenamientos, etc.). Para este caso, la ecuación de tuberías utilizada para describir el sistema, fue la ecuación de Darcy-Waisbach, que emplea diferentes métodos para calcular la fricción.

Para el caso del flujo laminar ($Re < 2000$), implementa la ecuación de Hagen-Poiseuille (Bhave, 1991)

$$(23) \quad f = \frac{64}{Re}$$

En flujo turbulento ($Re > 4000$), se aplica la ecuación de Swamee y Jain dentro de la fórmula de Colebrook-White (Bhave, 1991)

$$(24) \quad f = \frac{0.25}{\left[\log_{10} \left(\frac{\varepsilon}{3.7d} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right]^2}$$

Para flujo en transición ($2000 < Re < 4000$), se realiza la interpolación cúbica del Diagrama de Moody (Universidad Politécnica de Valencia, 2002).

$$(25) \quad f = (X1 + R(X2 + R(X3 + X4)))$$

$$R = \frac{Re}{2000}$$

$$X1 = 7FA - FB$$

$$X2 = 0.128 - 17FA + 2.5FB$$

$$X3 = -0.128 + 13FA - 2FB$$

$$X4 = R(0.032 - 3FA + 0.5FB)$$

$$FA = (Y3)^{-2}$$

$$FB = FA \left(2 - \frac{0.00514215}{Y2 * Y3} \right)$$

$$Y2 = \frac{\varepsilon}{3.7d} + \frac{5.74}{Re^{0.9}}$$

$$Y3 = -0.86859 \ln \left(\frac{\varepsilon}{3.7d} + \frac{5.74}{4000^{0.9}} \right)$$

Donde:

ε : rugosidad de la tubería y d : diámetro de la tubería

Las pérdidas por accesorios k , multiplica el caudal al cuadrado mediante la siguiente expresión (Universidad Politécnica de Valencia, 2002):

$$(26) \quad m = \frac{0.02517k}{d^4}$$

EPANET soluciona el sistema de tuberías aplicando el método del Gradiente (Universidad Politécnica de Valencia, 2002), que se basa en los siguientes supuestos:

- La ecuación de continuidad se cumple en cada nodo

$$\sum_{j=1}^{NT_i} Q_{ij} - Q_{Di} + Q_{ei} = 0$$

- Las pérdidas por fricción y caudal en las tuberías ni presentan una relación lineal. Por lo tanto, se aplica la ecuación de Darcy-Weisbach con la de Colebrook & White (1937):

$$(27) \text{ Colebrook-White. } Q = -2 \frac{\sqrt{2gdh_f}}{\sqrt{I}} A \log_{10} \left(\frac{k_s}{3.7d} + \frac{2.51\nu\sqrt{I}}{\sqrt{2gd^3\sqrt{h_f}}} \right)$$

El método del Gradiente se describe mediante las siguientes expresiones:

$$(28) \quad \begin{bmatrix} [A11] & [A12] \\ [A21] & [0] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} [Q] \\ [H] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -[A10][H_o] \\ q \end{bmatrix}$$

Donde:

$[A11]$: matriz topológica para los nodos de cabeza fija.

$[A11]$: matriz diagonal del número de nodos con cabeza piezométrica conocida.

$[A12]$: matriz de conectividad de cada uno de los nodos de la red.

$[A21]$: matriz transpuesta de $A12$.

$[q]$: vector de consumo o de entrada en cada nodo de la red.

$$[H_{i+1}] = -\{[A21]([N][A11]')^{-1}[A12]\}^{-1}\{[A21]([N][A11]')^{-1}([A11][Q_i] + [A10][H_o] - ([A21][Q_i] - [q]))\}$$

$$[Q_{i+1}] = \{[I]([N]^{-1}[A11]') - [A11]\}^{-1}\{([N][A11]')^{-1}([A12][H_{i+j}] + [A10][H_o])\}$$

(Saldarriaga J.G. 2001)

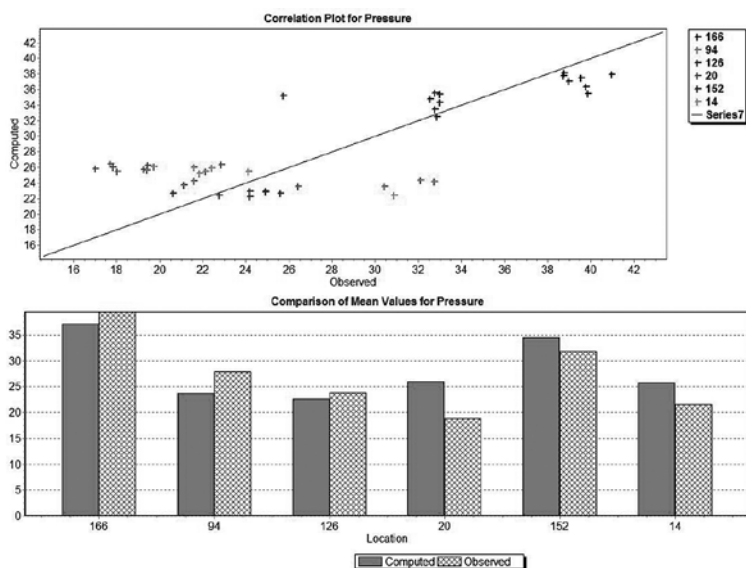
Para un sistema de funciones lineales, la descripción para las presiones desconocidas , se puede describir como:

$$(29) \quad \{[A21]([N][A11]')^{-1}[A12]\}[H_{i+1}] = \\ \{[A21]([N][A11]')^{-1}([A11][Q_i] + [A10][H_o]) - ([A21][Q_i] - [q])\}$$

El método del gradiente es considerado el mejor para el cálculo de redes (Saldarriaga J.G., 2001), por tal razón al implementar epanet, aplicando la ecuación de resistencia de Darcy-Weisbach, permite obtener resultados que aíslan las variables físicas de las hidráulicas utilizando la solución numérica del modelo (Método del Gradiente) y ajustar paralelamente las presiones y los caudales en sistemas de tuberías. Por lo anterior, esto permite que el procedimiento de cálculo se realice en tiempos computacionales cortos (Guerrero J.G, Peña L.E., Muñoz P.A, 2007).

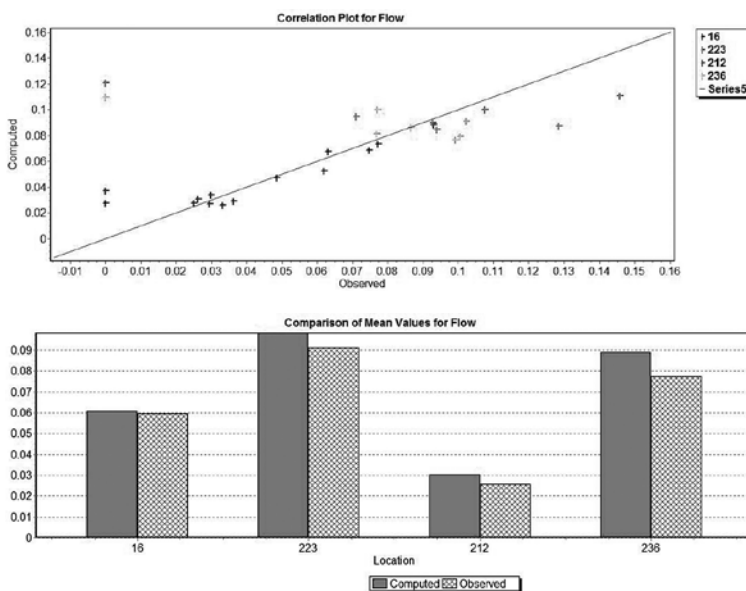
Implementado el modelo hidráulico, se realizó la calibración de presiones y caudales. Para tal fin, Ochoa, L & Rodríguez, M. (2001) proponen que al lograr una aproximación mayor igual al 80% entre las presiones observadas y las calculadas, es posible considerar calibrado el modelo por presiones. De la misma manera para el caudal, una vez se logren diferencias menores del 10%. Para el caso del modelo de la Universidad de Ibagué, se logró una calibración del 82% en presiones (Gráfico 5.9) y del 99.1% en caudales (Gráfico 5.10).

Gráfico 5.9. Calibración de presiones modelo Unibagué



Fuente: Unibagué (2013a)

Gráfico 5.10. Calibración de caudales modelo Unibagué



Fuente: Unibagué (2013a)

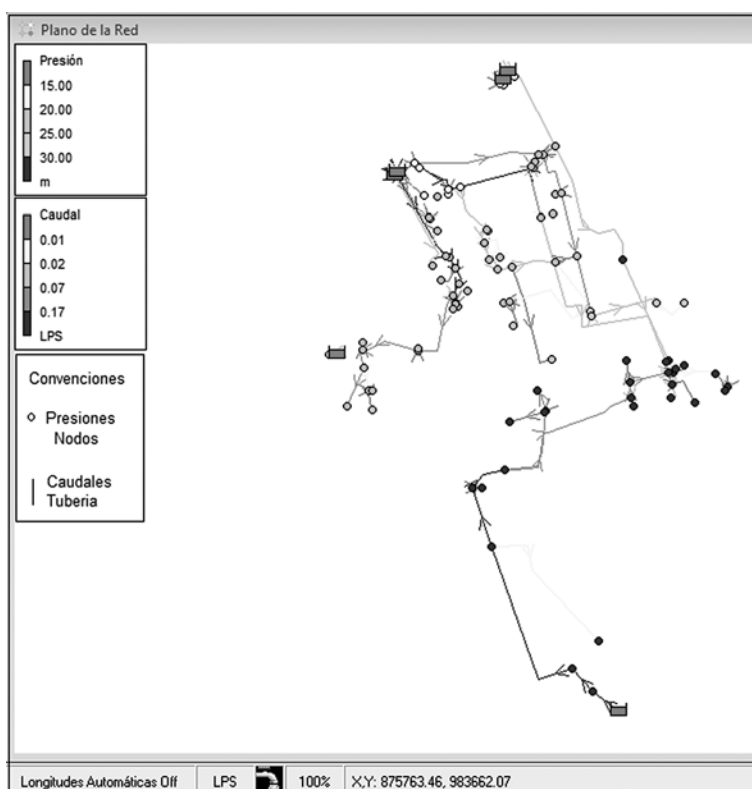
5.4 Escenarios de simulación

Para describir el comportamiento del sistema hidráulico, se plantearon los siguientes escenarios de simulación: sistema actual de tuberías con fugas; sistema actual de tuberías sin fugas; sistema actual implementado el programa de uso eficiente del agua; sistema actual proyectado de la demanda hídrica a veinte años; sistema modificado para atender demanda futura; sistema modificado para atender demanda futura e implementación del programa uso eficiente del agua. Estos se detallan a continuación.

5.4.1 Sistema actual de tuberías con fugas

En este escenario se simuló la configuración actual de las redes de agua potable para describir su comportamiento e identificar problemas de presiones o caudal.

Gráfico 5.11. Simulación configuración actual de la red



Fuente: Unibagué (2013)

En el Gráfico 5.11, se presenta el comportamiento de las redes simulado con el modelo EPANET2.0 y se identifican problemas para suplir el caudal demandado (Líneas rojas), principalmente hacia los edificios del área de Ingeniería.

Durante la realización de las mediciones de campo, se encontraron flotadores que no funcionan adecuadamente. Por esto se presentan reboses de manera permanente y esta puede ser una de las razones por las que existen dificultades para suministrar caudal a otros puntos de la red. Además, con la utilización de geófonos, se localizaron fugas, principalmente en los accesorios, las cuales fueron reparadas en el momento de su hallazgo (Fotografía 5.1).

Fotografía 5.1. Campaña de localización de fugas con geófonos

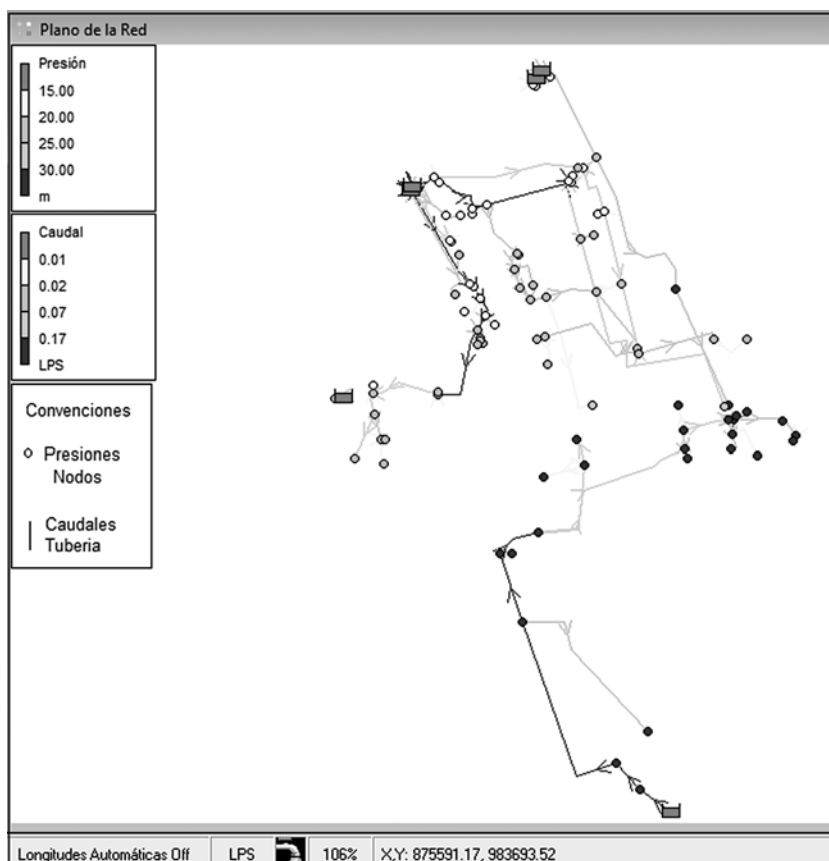


Fuente: Unibagué (2013)

5.4.2 Sistema actual de tuberías sin fugas

En este escenario se simuló la red de agua potable de la Universidad y dado que se encontraron fugas y reboses, se procedió a reparar dichas fugas y controlar los reboses. Estas condiciones fueron actualizadas en el modelo hidráulico como se presenta en el Gráfico 5.12.

Gráfico 5.12. Simulación configuración actual de la red sin fugas



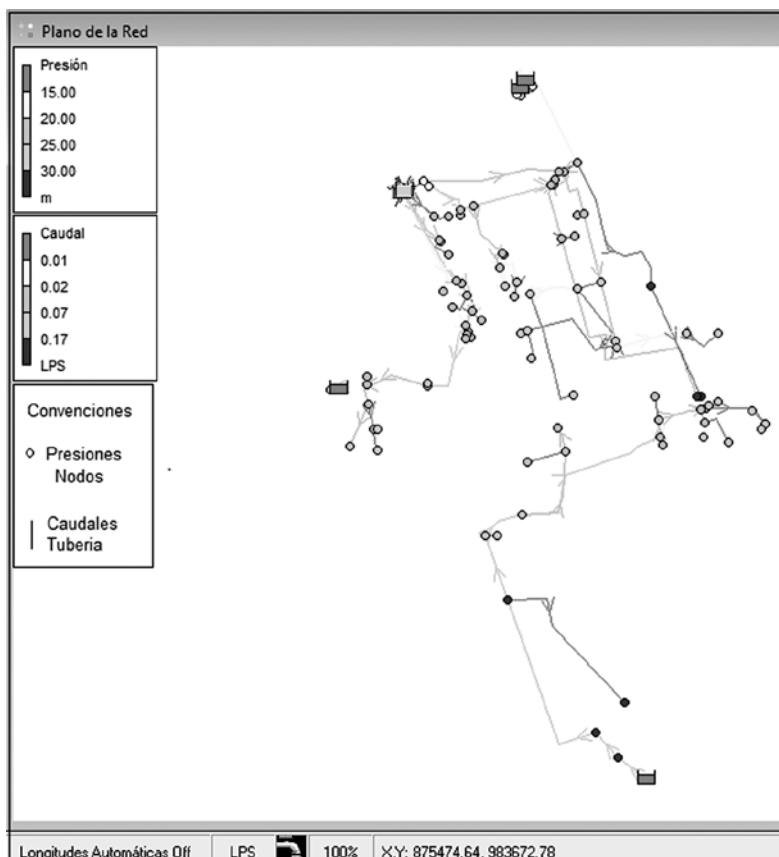
Fuente: Unibagué (2013)

De acuerdo con los resultados del modelo hidráulico, se encontró que al eliminar los reboses y fugas, se solucionan los problemas de suministro de caudal en el campus universitario.

5.4.3 Sistema actual implementado el programa de uso eficiente del agua

En este escenario se mantuvo la configuración actual de las redes de suministro de agua potable, al considerar la eliminación de fugas e instalar equipos de bajo consumo de agua, principalmente asociados a las baterías sanitarias de las edificaciones (Gráfico 5.13).

Gráfico 5.13. Simulación configuración actual con uso eficiente del agua



Fuente: Unibagué (2003)

En este escenario se observó que el consumo de agua en el campus disminuye en un 40%, respecto del consumo mensual medido y 60% respecto del facturado. Lo anterior evidencia las bondades de la implementación del programa de uso eficiente del agua en el campus (Gráfico 5.13, líneas rojas = reducción consumo).

5.4.4 Sistema actual proyectado de la demanda hídrica a veinte años

En este escenario se mantuvo la configuración actual de las redes de agua potable y se proyectó el crecimiento poblacional de la Universidad a veinte años. Para tal fin, se implementó la metodología establecida por Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico, RAS

2000, para la proyección de la población, la cual define la aplicación de los siguientes métodos:

Aritmético. Este método se recomienda para niveles de complejidad bajo y medio (RAS 2000), para pequeñas poblaciones de poco desarrollo o con áreas de crecimiento casi nulas, y lo describe la ecuación 30.

$$(30) \quad P_f = P_{uc} + \frac{P_{uc} - P_a}{T_{uc} - T_a} \times (T_f - T_{uc})$$

Donde:

P_f : población (habitantes) correspondiente al año para el que se quiere proyectar la población.

P_{uc} : población (habitantes) correspondiente al último año censado con información.

P_{ci} : población (habitantes) correspondiente al censo inicial con información.

T_{uc} : año correspondiente al último censo con información.

T_{ci} : año correspondiente al censo inicial con información.

T_f : año al cual se quiere proyectar la población.

Exponencial. El RAS2000, lo recomienda para todos los niveles de complejidad del sistema de abasto. El método requiere conocer los reportes de mínimo tres censos anteriores y así proyectar la tasa de crecimiento, su aplicación es descrita por la ecuación 31.

$$(31) \quad P_f = P_{ci} * e^{k(T_f - T_{ci})}$$

Donde k es la tasa de crecimiento de la población, para obtener el promedio de las tasas calculadas para las parejas de censos, como lo presenta la ecuación 32.

$$(32) \quad k = \frac{\ln P_{cp} - \ln P_{ca}}{T_{cp} - T_{ca}}$$

Donde P_{cp} es la población del siguiente censo, P_{ca} la población reportada en el censo anterior, T_{cp} representa el año del censo posterior, T_{ca} es el año del censo anterior y finalmente, $\ln$ es el logaritmo natural.

Wappaus. Es un método que presenta resultados confiables (RAS 2000). Se puede aplicar para todos los niveles de complejidad, bajo las consideraciones descritas en la ecuación 33.

$$(33) \quad i^*(T_{fct} - T) < 200$$

Donde:

i : tasa de crecimiento (%).

T_f : año al cual se quiere proyectar la población.

T_{ci} : año correspondiente al censo inicial con información.

En caso contrario, la población futura que se obtendrá se comportará con tendencia negativa.

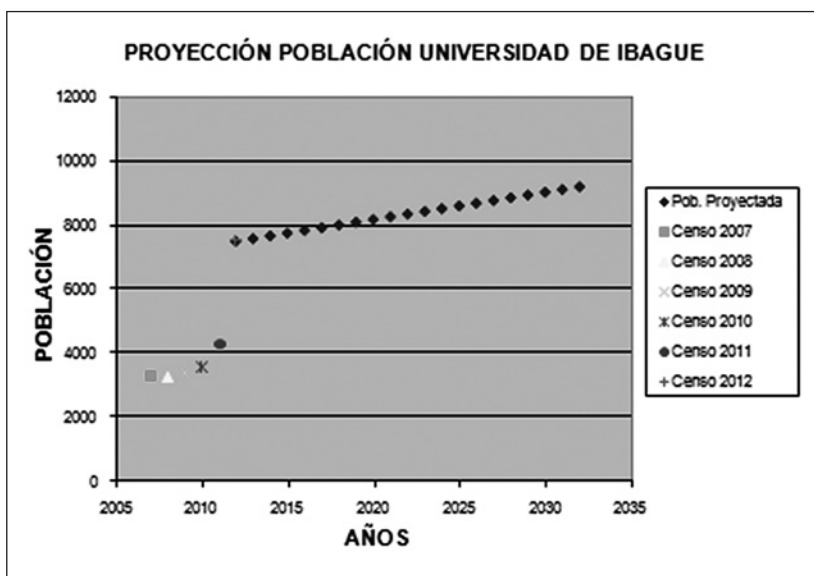
Considerando lo anteriormente expuesto, la ecuación a implementar para el cálculo de la población, se describe mediante las expresiones 34 y 35. Donde las variables tienen las mismas definiciones que en el caso de los métodos anteriormente presentados..

$$(34) \quad P = P_{ci} * \left(\frac{200 + i * (T_f - T_{ci})}{200 - i * (T_f - T_{ci})} \right)$$

$$(35) \quad i = \left(\frac{200 * (P_{uc} - P_{ci})}{(T_{uc} - T_{ci}) * (P_{ci} + P_{uc})} \right)$$

Se realizaron las proyecciones a partir de los registros de población en el campus, reportados en la publicación de la Universidad de Ibagué, *En cifras* (2009). Posteriormente, se calculó el error cuadrado medio de todos los métodos y se seleccionó la tendencia aritmética. Para calcular la proyección de población se utilizó el *software de Proyección Poblacional SPP* (Unibagué, 2013c) desarrollado en la Universidad de Ibagué para dicho propósito.

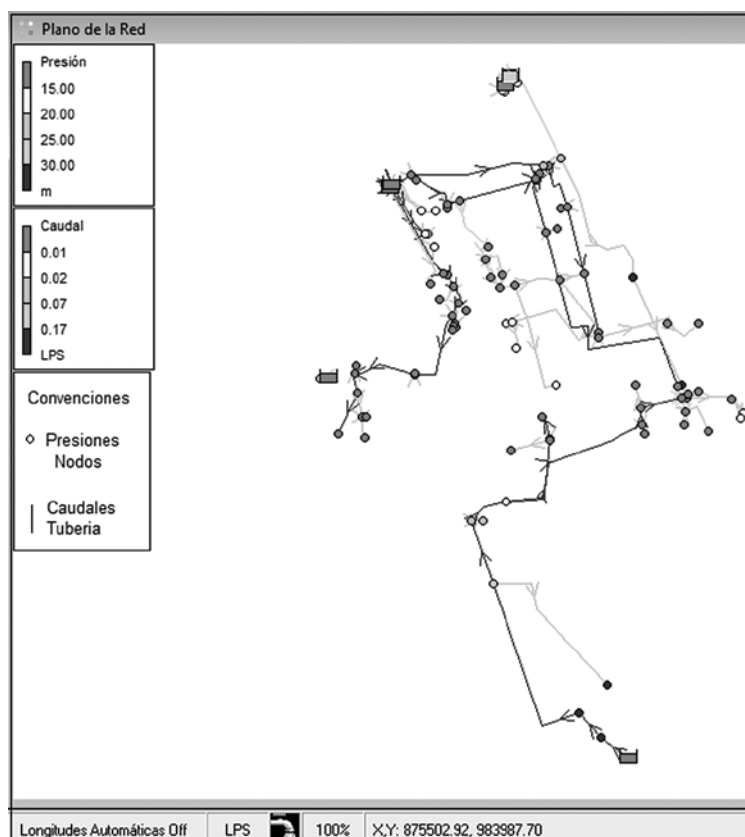
Gráfico 5.14. Tendencia de crecimiento poblacional de la Universidad de Ibagué



Fuente: Unibagué (2013)

Una vez realizada la proyección de poblacional, se proyectó la demanda hídrica y se describió el comportamiento que se presenta en el Gráfico 5.14.

Gráfico 5.15. Simulación de la configuración actual de la red y proyección de la demanda a veinte años



Fuente: Unibagué (2013)

De acuerdo con los resultados obtenidos durante la simulación de este escenario, se encontró que la presión de la red es inferior a 15 mca (metros de columna de agua). Por lo tanto, se presentarán dificultades para abastecer los diferentes usos de agua en el campus, dado que no se dispondría de suficiente energía para distribuir caudal a cada una de las edificaciones (Gráfico 5.15).

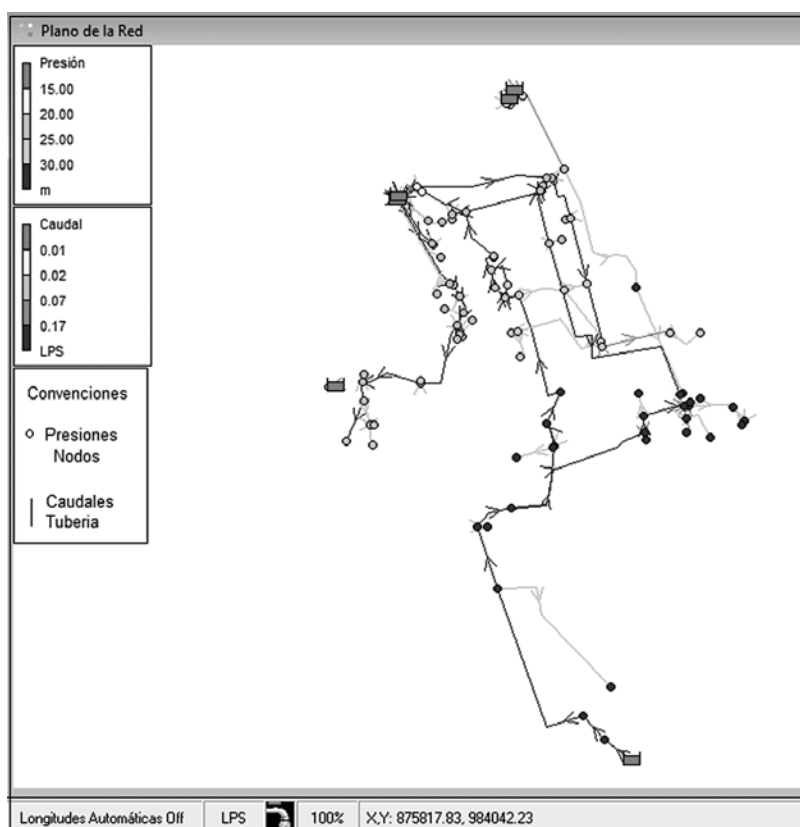
5.4.5 Sistema modificado para atender la demanda futura

En el escenario anterior se encontró que al mantener la configuración actual de las redes y proyectar la demanda hídrica para los próximos veinte años, la presión del sistema es inferior a 15 mca. Por lo tanto, este resul-

tado supone diseñar cambios en las redes para lograr suplir la demanda de agua futura. Para tal fin, se diseñaron ampliaciones en la red, las cuales involucran cambios de diámetro en tuberías y adición de nuevas, como se presenta en el Gráfico 5.16.

Posteriormente, se incluyeron las modificaciones propuestas para atender la demanda futura en el modelo EPANET2.0 y se encontró en la simulación que al llevar a cabo dichas acciones, es posible atender la demanda futura, proyectada a veinte años (Gráfico 5.16). No obstante, se identificaron problemas para atender la demanda en el Bloque 7.

Gráfico 5.16. Simulación modificaciones en red y demanda futura
(Veinte años)

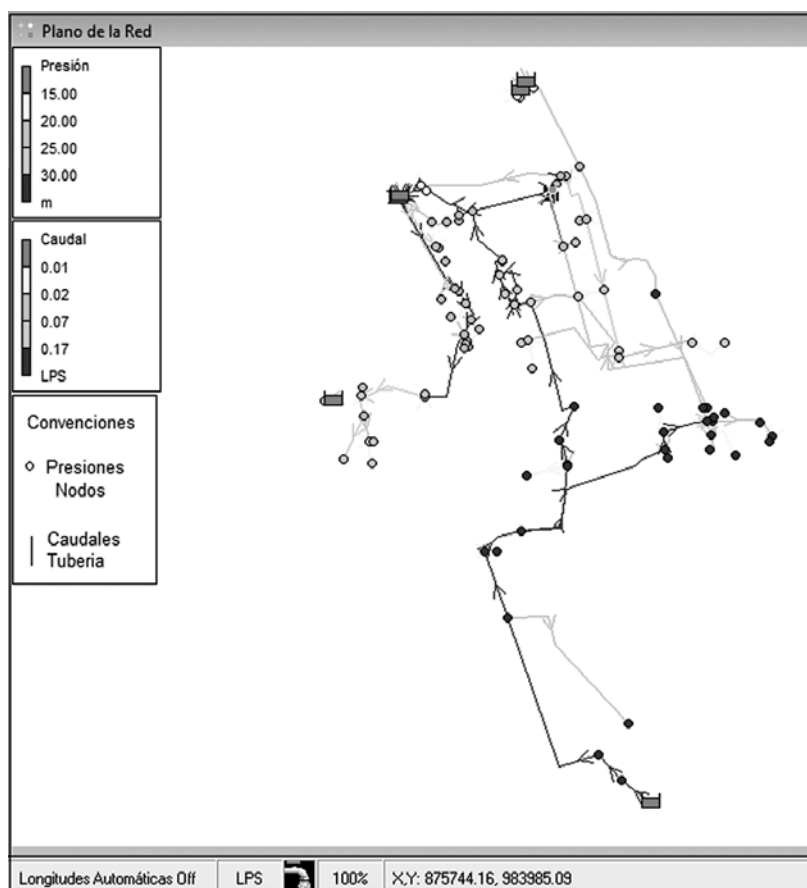


Fuente: Unibagué (2013)

5.4.6 Sistema modificado para atender demanda futura e implementación programa uso eficiente del agua

En este escenario se simuló la realización de las modificaciones necesarias en la red de agua potable para atender la demanda futura, proyectada a veinte años y se incorporó, mediante la simulación, la implementación del programa de uso eficiente del agua para la Universidad (Gráfico 5.17).

Gráfico 5.17. Simulación modificaciones para atender demanda futura e implementación uso eficiente del agua



Fuente: Unibagué (2013)

Los resultados en este escenario indican que después de realizar las inversiones en la ampliación de la red de suministro de agua potable e implementar las acciones del programa de uso eficiente del agua en la

Universidad, es posible satisfacer la demanda hídrica proyectada para los próximos veinte años.

5.5 Plan de inversiones expansión redes

Para atender la demanda hídrica proyectada mediante la simulación hidráulica, es necesario realizar ampliaciones en la redes de suministro, las cuales se detallan en el Gráfico 5.17y cuyo presupuesto se presenta en la Tabla 5.1.

Tabla 5.1. Inversiones propuestas para la expansión de redes

ITEM	DESCRIPCION	UND	CANT.	V/UNIT	V/TOTAL
1	Preliminares				
1,1	Localizacion y Replanteo	ML	1.468	1.200	1.761.923
1,4	Señalización	GLB	2	350.110	700.220
2	Excavaciones y rellenos				
2,1	Excavacion en conglomerado	M3	132	18.540	2.449.505
3	Tuberías y accesorio				
3,1	Intal, y sum tuberia 2" PVC	ML	562	15.258	8.572.457
3,2	Intal, y sum tuberia 1-1/2" PVC	ML	565	12.037	6.799.195
3,3	Intal, y sum tuberia 1" PVC	ML	157	6.567	1.034.013
3,4	Intal, y sum tuberia 3/4" PVC	ML	183	5.829	1.065.774
3,5	Empalmes a la red existente incluye todos los accesorios	GLB	3	1.206.985	3.620.955
4	Subtotal				26.004.043
5	IVA 16%				4.160.647
6	Total				30.164.689

Fuente: modificado de Unibagué (2013)

Escenarios de consumo y uso eficiente

En esta parte del proyecto se determinó el consumo actual de agua y la proyección para la población estimada para los próximos veinte años. Para tal fin, se plantearon escenarios de consumo, junto con la implementación de proyectos de uso eficiente del agua como la eliminación de reboses en tanques de almacenamiento, instalación de equipos de bajo consumo de agua en baterías sanitarias y campañas de educación ambiental.

Para el desarrollo de esta parte se plantearon los siguientes escenarios de consumo y uso eficiente del agua: situación actual del consumo de agua potable; sustitución de flotadores y eliminación de reboses en tanques; instalación de equipos de bajo consumo de agua; campañas de educación ambiental; combinación escenarios. Estos se detallan a continuación:

6.1 Escenario 1. Situación actual del consumo de agua potable

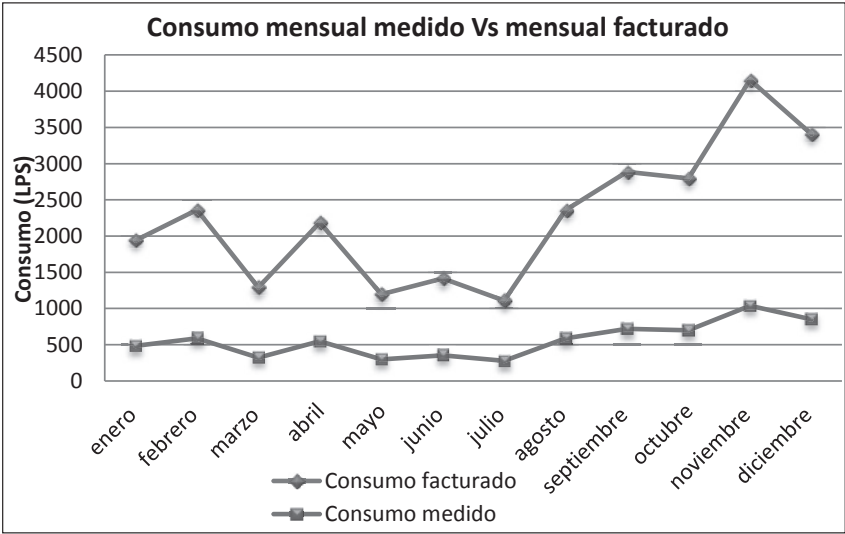
Actualmente la Universidad de Ibagué es usuaria del servicio de acueducto por parte del IBAL y ACUAMBALÁ. Por lo tanto, en este escenario se presenta la relación del consumo facturado por parte de dichas empresas y el medido durante el desarrollo de este proyecto.

En el Gráfico 6.1 se puede observar que el consumo facturado en la Universidad es superior al consumo real medido durante la realización del proyecto. Este comportamiento se explica al analizar las facturas pagadas a las empresas de servicios públicos, en las que se encontró que la tendencia del cobro es por promedio y no por medición del consumo.

De acuerdo con lo anterior, las mediciones con medidor de flujo ultrasónico y micromedidores digitales clase C, permitieron demostrar que

el consumo mensual de la Universidad es de 1.000m³/mes, lo cual difiere respecto del valor facturado por las empresas de servicios públicos que es de 4.000m³/mes. Lo anterior representa una diferencia del 75% entre lo medido y facturado y en consecuencia, un sobrecosto en el servicio de acueducto.

Gráfico 6.1. Relación entre el consumo facturado y el medido en la Universidad de Ibagué



Fuente: Unibagué (2013b)

Por otra parte, las mediciones realizadas permitieron encontrar que la dotación del servicio de agua potable es de 8 L/hab*día. Además, se identificó que el máximo consumo se realiza a las 6:15 am, y el mínimo ocurre a la 1:30 pm.

6.1.1 Pruebas a micromedidores

Dado que se encontraron amplias diferencias entre el consumo mensual medido y el facturado, fue necesario realizar pruebas de precisión a los micromedidores instalados por parte de las empresas de servicios públicos en el campus universitario.

Esta actividad se realizó con un medidor de flujo ultrasónico marca Dinasonics, el cual ofrece una precisión de $\pm 0.02\%$ y micromedidores patrón que reportan una precisión del 0.2% . Los resultados obtenidos se reportan en la Tabla 6.1.

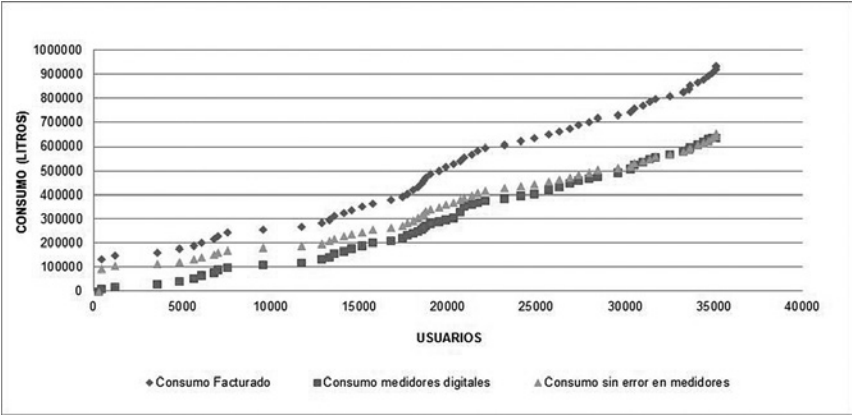
Tabla 6.1. Pruebas de precisión a micromedidores

Número del contador	Lectura Contadores (L/s)	Lectura Ultrasonido (L/s)	Error (%)
110300741 Humanidades	2.01	1.91	5.24
200800365 Rectoría	0.95	0.84	13.10
56613 Bienestar	1.23	1.06	16.04

Fuente: Unibagué (2013b)

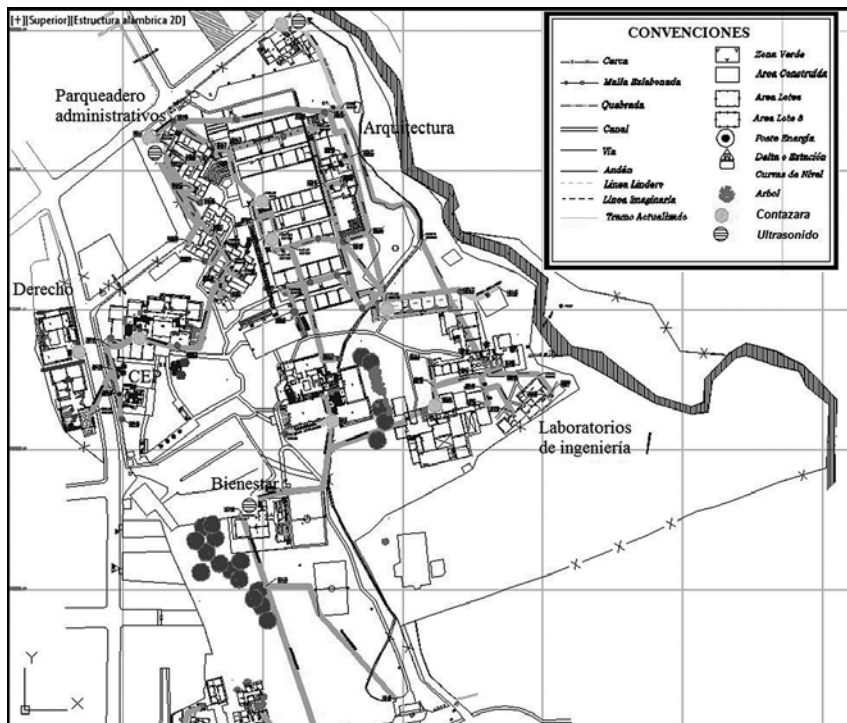
Como se observa en la Tabla 6.1 y los Gráficos 6.2 y 6.3, los micromedidores instalados en la Rectoría y en Bienestar Universitario, presentan errores de medición superiores al 5%, que es el máximo admisible, según el Decreto 203 de 2000, Título II, Capítulo 2, Sección 2.2.1. Artículo 2.2.1.2 y Resolución 457 de 2008, Artículo 1de la Comisión Reguladora de Agua Potable.

Gráfico 6.2. Pruebas de medición a micromedidores



Fuente: Unibagué (2013)

Gráfico 6.3. Pruebas de medición a micromedidores



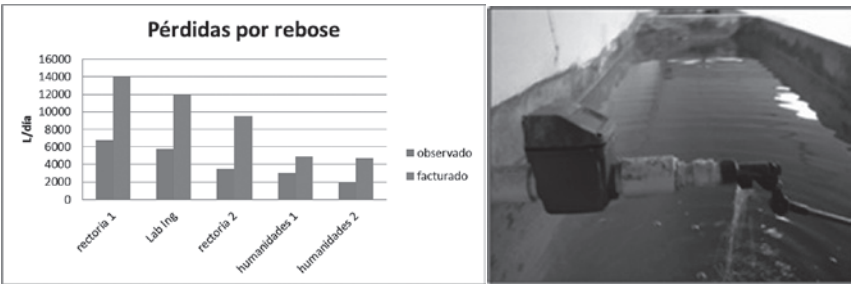
Fuente: Unibagué (2013)

6.1.2 Análisis de consumo medido y aforos del uso de baterías sanitarias

Durante esta actividad se realizaron mediciones de la cantidad de agua utilizada por cada usuario de las baterías sanitarias durante un periodo de 24 horas, para contrastar el consumo de los usuarios con el medido con los micromedidores patrón instalados a la entrada de cada edificación. Al contrastar los resultados, se encontró una diferencia promedio del 60% entre lo medido y realmente consumido en las edificaciones.

Esta situación permitió identificar y constatar que el 60% del agua que ingresa a cada una de las edificaciones, se pierde en los reboses de los tanques de almacenamiento. Lo anterior, por causa del deterioro de los flotadores que controlan el nivel de rebose de dichos tanques (Gráfico 6.4).

Gráfico 6.4. Pérdidas por reboses en tanques de almacenamiento



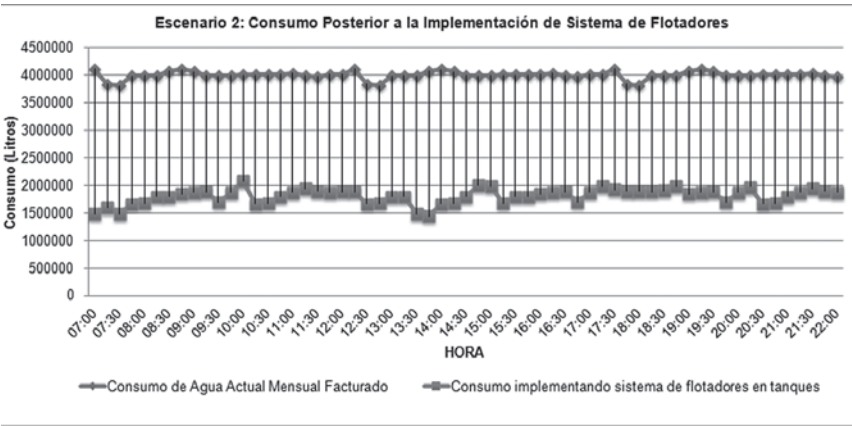
Fuente: Unibagué (2013a)

6.2 Escenario 2. Sustitución de flotadores y eliminación de fugas

Dado que se encontró que el 60% del caudal que ingresa a las edificaciones del campus de la Universidad, se pierde por reboses, se simuló un escenario en el que se eliminan dichos reboses y se reparan las fugas.

Al simular la reparación de reboses y fugas (Gráfico 6.5), se observa que es posible disminuir el consumo facturado de la institución en 60%.

Gráfico 6.5. Simulación del consumo después de reparar reboses y fugas en la red



Fuente: Unibagué (2013b)

A la fecha, estos reboses han sido reparados; no obstante, esto no se ha reflejado en la disminución de la factura del servicio de acueducto porque el cobro se realiza por promedio y no por la lectura del consumo medido por el micromedidor instalado por la empresa de acueducto.

6.3 Escenario 3. Instalación de equipos de bajo consumo de agua

Para la simulación de este escenario, fue necesario consultar los tipos de equipos disponibles en el mercado para disminuir el consumo de agua, y relacionarlos con el consumo actual de los instalados en la Institución. De esta manera, se definieron criterios de evaluación y se seleccionaron los equipos adecuados para las condiciones de funcionamiento en la Institución.

6.3.1 Sanitarios

En este caso, se determinó que los equipos utilizados en la Universidad requieren 10 litros por cada descarga. Por lo tanto, dentro de los criterios de selección, se consideró un consumo inferior al actual instalado. Para tal fin, se definió un análisis multiobjetivo para seleccionar el equipo con la mejor configuración (Tabla 6.2).

Tabla 6.2. Características de los sanitarios disponibles en el mercado

Sanitarios línea institucional	Taza cómoda	Altura comfortable	Bajo consumo de agua	Litros por descarga	Sifón 100% esmaltado	Cumple con normas Icontec NTC 920 ANSI	Instalación de fluxómetros	Requiere soporte para su instalación	Incluye accesorios	Espejo de agua	Garantía de por vida	Para instalación de pared	Precio
Cyclone 4	Si	Si	Si	4	Si	Si	No	No	Si	Si	No	No	\$489.000
Portento	Si	Si	No	6	Si	Si	No	No	Si	Si	Si	No	\$569.000
Aquajetcomfortheigth	Si	Si	No	6	Si	Si	No	No	Si	Si	Si	No	\$540.000
Eire	Si	Si	Si	4.8	Si	Si	Si	Si	Si	Si	No	Si	\$593.800
Adriático	Si	Si	Si	4.8	Si	Si	Si	No	Si	Si	No	Si	\$491,850
Báltico	Si	Si	Si	4.8	Si	Si	Si	No	Si	Si	No	Si	\$525.800
Trevi	Si	Si	No	6	Si	Si	Si	No	Si	Si	No	No	\$520.000
Stealth	Si	Si	Si	3	Si	Si	No	No	Si	Si	No	No	\$590.000

Fuente: Unibagué (2013)

A partir de la matriz presentada en la Tabla 6.2, se calificaron las características de cada referencia de sanitarios para seleccionar la mejor configuración. Para dicha evaluación, se definió una calificación de uno (1) para la condición más desfavorable y de tres (3), para la mejor especificación. Los resultados del proceso, se presentan en la Tabla 6.3.

Tabla 6.3. Selección de la referencia de sanitarios de bajo consumo de agua

Sanitarios Línea Institucional	Tasa Cómoda	Altura Confortable	Bajo Consumo de Agua	Litros por Descarga	Sifon 100% Esmaltado	Cumple con Normas Icontec NTC 920 A NSI	Espejo de Agua	Garantía de por Vida	Precio	Σ
Eire (Corona)	3	2	2	2	3	3	3	3	1	22
Adriático (Corona)	3	3	2	2	3	3	1	2	3	22
Báltico (Corona)	2	3	2	2	3	3	2	3	1	21
Trevi (Corona)	3	3	1	1	3	3	3	3	1	21
Stealth (BLAU)	3	3	3	3	3	3	3	2	1	24
Total	14	14	10	10	15	15	12	13	7	110

Fuente: Unibagué (2013)

6.3.2 Orinales

En la revisión de los orinales instalados, se encontró que en muchos casos estos permanecen con la llave abierta durante la mayor parte del día, lo cual representa un desperdicio de agua. En este sentido, se evaluaron orinales de bajo consumo de agua, disponibles en el mercado (Tablas 6.4 y 6.5).

Tabla 6.4. Características de los orinales disponibles en el mercado

Orinales Línea Institucional	Requiere Agua	Bajo Consumo de Agua	Consumo de Agua por LFP	Fácil de Limpiar	Perfecto para Espacios Pequeños	Incluye Racor	Incluye todos los Accesorios	Sistema de Fijación de Grapas Ocultas	Cumple con Requerimientos ADA	Evita Corrosión en la Tubería	Minimiza Salpique	Precio
Gotta	SI	SI	0.5	SI	NO	SI	SI	SI	SI	SI	SI	\$356.900
Mediano	SI	NO	3.8	SI	SI	SI	SI	SI	SI	SI	NO	\$216.950
Santa fe	SI	NO	3.8	SI	NO	SI	SI	SI	SI	SI	NO	\$216.934
Pequeño	SI	NO	3.8	SI	SI	NO	SI	SI	SI	SI	NO	\$148.000
Ecológico funcionamiento sin uso de agua	NO	SI	0	SI	SI	NO	SI	SI	SI	SI	SI	\$630.000
Sin agua	NO	SI	0	SI	SI	NO	SI	SI	SI	SI	SI	\$699.900

Fuente: Unibagué (2013b)

Para la evaluación de las características de cada referencia de orinales consultada, se asignó una calificación de tres (3) a la mejor especificación y uno (1), para la que más se aleja de los requerimientos planteados en este proyecto (Tabla 6.5).

Tabla 6.5. Selección referencia de orinales de bajo consumo de agua

Orinales línea institucional	Requiere agua	Bajo consumo de agua	Consumo de agua por LFP	Perfecto para espacios pequeños	Cumple con requerimientos ADA	Evita corrosión en la tubería	Minimiza salpique	Precio
Gotta	2	2	2	3	3	3	1	2
Mediano	1	1	1	3	2	2	2	2
Santa Fe	1	1	1	2	3	2	2	2
Pequeño	1	1	1	3	2	3	3	3
Ecológico Funcionamiento sin uso de agua	3	3	3	2	3	2	2	1
Sin agua	3	3	3	2	2	2	2	1
Total	11	11	11	15	15	14	12	11

Fuente: Unibagué (2013b)

6.3.3 Grifería

La grifería instalada en el campus corresponde a la línea de hogar. Esto explica las permanentes reparaciones y atención para el funcionamiento de estos accesorios. Por lo tanto, se realizó el proceso de selección de griferías adecuadas para el uso institucional, que conduzcan a la disminución del consumo de agua en la Universidad (Tablas 6.6 y 6.7).

Tabla 6.6. Características de las griferías de bajo consumo disponibles en el mercado

Grifería línea institución	Cierre automático	Tráfico pesado	Resistente a la corrosión	Necesita baterías	Presión de servicio	Se puede graduar el caudal	Pastillas para graduar tiempo	Fácil de limpiar	Acople	Caudal GPM	Garantía (años)	Aprueba de salpicadura	Indicador de batería	Requiere repuesto	Evita golpe de ariete	Precio
Lavamanos Tipo Push de pared	SI	SI	SI	NO	20-80 PSI	SI	SI	SI	NO	0.5	3	SI	NO	SI		\$170.000
Lavamanos Tipo Push de pared y mesón	SI	SI	SI	NO	10-125 PSI	SI	SI	SI	SI	0.5	1	SI	NO	SI	SI	\$150.000
Lavamanos Tipo Push de mesón	SI	SI		NO	20-80 PSI	SI	SI	SI	SI	0.5	3	SI	NO	SI		\$130.000

Fuente: Unibagué (2013)

La calificación de las especificaciones de cada referencia de baterías, se realizó al asignar un valor de tres (3) para la mejor especificación y de uno (1) para la más deficiente (Tabla 6.7).

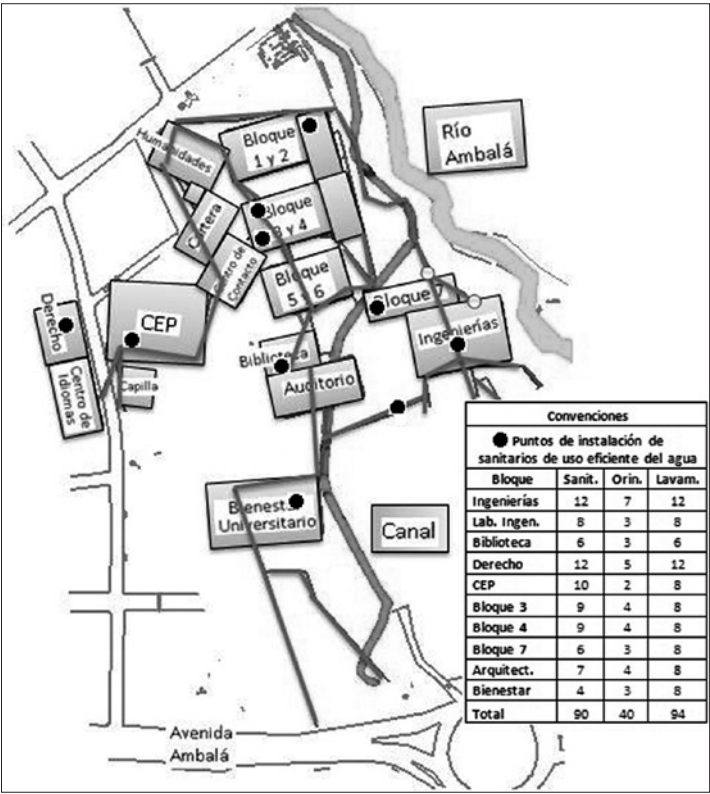
Tabla 6.7. Selección referencia grifería de bajo consumo

Grifería línea institucional	Cierre automático	Para tráfico pesado	Presión de servicio	Fácil de limpiar	Caudal (GPM)	Garantía	Precio	Σ
Lavamanos tipo push de pared	3	2	2	2	3	2	2	16
Lavamanos tipo push de mesón y pared	3	2	1	2	3	2	3	16
Lavamanos tipo push de mesón	3	2	2	2	3	2	3	17

Fuente: Unibagué (2013)

La cantidad y ubicación de los sanitarios, orinales y grifería, que deben ser instalados en el campus, se presenta en el Gráfico 6.6.

Gráfico 6.6. Ubicación y cantidad de equipos de bajo consumo para instalar en el campus



Fuente: Unibagué (2013b)

6.4 Escenario 4. Campañas de educación ambiental

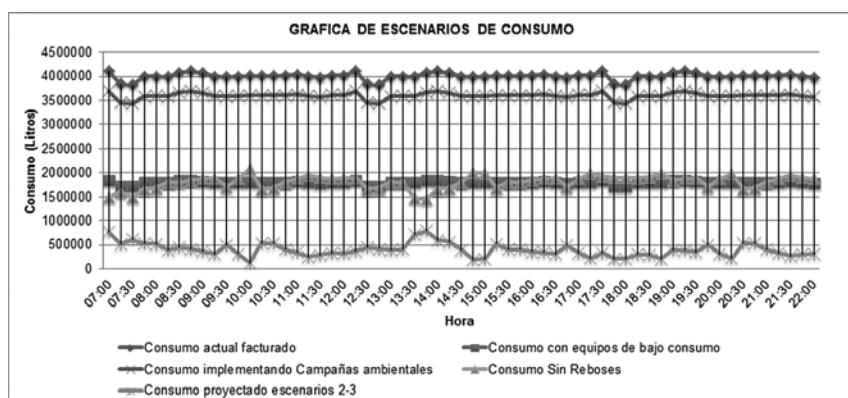
Como parte de las medidas no estructurales que pueden ser implementadas en proyectos de uso eficiente del agua, se encuentran las campañas de educación ambiental. Se diseñaron plegables e información que pueden ser publicados en los lugares en donde se hace uso del agua y en la página web institucional (Apéndice).

Como parte de las campañas ambientales, estas pueden incluir charlas y conferencias dirigidas a los estudiantes y funcionarios de la Institución, con el propósito de incorporar prácticas de uso eficiente del agua que redunden en la reducción del consumo. Se espera que después de la realización de dichas campañas, se logre disminuir en un 10% el consumo de la comunidad universitaria.

6.5 Escenario 5. Combinación de escenarios

En esta parte del trabajo se realizaron combinaciones entre los cinco escenarios de bajo consumo planteados en este proyecto (Gráfico 6.7), y se encontró que es posible disminuir hasta un 65% el consumo de agua actual de la Universidad al eliminar los reboses en tanques de almacenamiento, instalar aparatos de bajo consumo de agua e implementar una campaña de educación ambiental en la comunidad universitaria.

Gráfico 6.7. Combinación de escenarios de bajo consumo de agua



Fuente: Unibagué (2013)

Plan de inversiones

Para llevar a cabo cada una de las actividades definidas en este proyecto, el cual tiene como propósito fundamental la reducción del consumo y el uso eficiente del agua en la Institución, se definieron las inversiones presentadas en el siguiente cuadro de presupuesto (Tabla 7.1). Dichas inversiones podrán llevarse a cabo durante un periodo de cinco años o menos, de acuerdo con la decisión de las directivas de la Universidad.

Tabla 7.1. Plan de inversiones propuesto para la implementación del programa de uso eficiente del agua institucional

Ítem	Proyecto	Valor implementación	Retorno de la inversión (años)
1	Reparaciones canal abierto	\$ 32.000.000	Requisito Cortolima para sostenimiento de la Concesión
2	Monitoreo de caudales en el canal	\$ 3.500.000	Requisito Cortolima para sostenimiento de la Concesión
3	Expansión de la red de agua potable	\$ 30.164.000	Necesario para atender la demanda de agua proyectada a 20 años
4	Instalación flotadores	\$ 3.650.000	1 año
5	Instalación equipos de bajo consumo de agua	\$ 130.000.000	4 años
6	Realización campañas de educación ambiental	\$ 3.500.000	1 año
7	Valor total de las inversiones	\$ 202.814.000	4 a 5 años

Fuente: los autores con base en Unibagüé (2013b)

Conclusiones y recomendaciones

En este estudio, de acuerdo con la información recopilada al interior de la Institución y la generada durante el desarrollo de los trabajos, se realizó el análisis del consumo de agua de la Universidad de Ibagué y se plantearon proyectos para la disminución y uso eficiente del agua. Dicha información se encuentra disponible de forma numérica y gráfica, de tal forma que se facilita el análisis de resultados dentro del proceso de implementación del programa de uso eficiente del agua institucional.

Los modelos implementados para la realización de este trabajo, reproducen de forma aceptable el comportamiento hidráulico de las redes de agua potable y el patrón de consumo de la Institución durante el periodo de análisis. Por lo tanto, los resultados obtenidos del proyecto, la cantidad y calidad de la información primaria y secundaria disponible, manifiestan el nivel de detalle alcanzado, el cual condujo al planteamiento adecuado de escenarios de uso eficiente del agua y posteriormente el plan de inversiones propuesto. Las principales conclusiones y hallazgos de este estudio son:

- La pobreza es multidimensional, trasciende los medios monetarios y abarca todos los elementos que determinan la posibilidad de llevar una vida digna.
- El agua condiciona la potenciación de las capacidades de individuos y comunidades, e influencia su nivel de bienestar o privación. De manera que los proyectos que conduzcan a su uso eficiente, potenciarán el desarrollo de los grupos poblacionales más vulnerables.
- El derecho humano al agua abarca, además de agua potable y saneamiento, el agua como insumo productivo, como garantía de otros Derechos Económicos, Sociales y Culturales.

- El uso eficiente del agua conduce al uso múltiple que tiene un efecto positivo sobre la reducción de la pobreza: directamente sobre la generación de renta y empleo y seguridad alimentaria; indirectamente sobre la salud y educación. Lo anterior, de acuerdo con la hipótesis: al lograr un aprovechamiento sustentable, es posible ampliar el acceso al agua y el servicio de acueducto a una mayor población.
- La infiltración de agua es la principal causa de fugas en el canal del campus universitario. Por lo tanto, se han definido inversiones en reparación de juntas entre losas y zonas en donde se encuentra erosionada la placa de fondo.
- Encontró que en la Institución se consumen $30\text{m}^3/\text{día}$ de agua por concepto de uso de las baterías sanitarias.
- Se calculó que la dotación de acueducto para la Universidad de Ibagué es de $8\text{ L/hab}^*\text{día}$.
- La modelación hidráulica de redes permitió encontrar que las redes hidráulicas del campus, no cuentan con la capacidad suficiente para atender la demanda de agua proyectada para el crecimiento de la población en la Institución para los próximos veinte años.
- Mediante la modelación hidráulica fue posible diseñar la expansión de las redes, necesaria para atender la demanda de agua proyectada a veinte años en la Universidad.
- Se encontró que el cobro del servicio de acueducto se realiza por promedio, y no con base en la lectura de los micromedidores instalados por las empresas de acueducto que abastecen a la Universidad (IBAL y ACUAMBALÁ).
- El promedio de consumo cobrado a la Universidad en m^3/mes , es superior al medido durante la realización de este estudio. En consecuencia, la diferencia entre lo facturado y medido es en promedio el 70%. Es decir, que en el campus solo se consume el 30% del volumen cobrado por las empresas de servicios públicos.
- A partir de las mediciones de campo, se determinó que los micromedidores de agua instalados por las empresas de servicios públicos, tienen un error promedio del 12%, lo cual es superior al máximo permisible del 5%, definido por la Comisión Reguladora de Agua Potable.
- Al identificar las fugas del sistema de distribución de agua potable

de la Universidad, se encontró que el 40% del caudal consumido, corresponde a fugas en reboses de tanques de almacenamiento.

- Durante las mediciones de campo fueron reparadas las fugas de aguas localizadas en las redes, al igual que los reboses de tanques de almacenamiento. Dicha actividad fue realizada por la Coordinación de Planta Física.
- Se encontró que al instalar equipos de bajo consumo de agua, es posible disminuir un 50% el consumo de agua actual en la Institución. Esto equivale a un ahorro anual del pago del servicio de acueducto de \$34.347.531.
- Después de instalar equipos de bajo consumo de agua e implementar una campaña ambiental sobre uso eficiente del agua, se espera reducir el consumo al 60% del volumen mensual actual.
- La Biblioteca es el edificio en donde se encuentra el mayor consumo de agua en la Institución: 6.745 L/día.
- La formulación y posterior implementación de un programa de uso eficiente del agua en una institución educativa, posibilita el acceso al agua en sectores de la población que hoy no lo tienen.
- Bajo el modelo de un campus universitario sostenible, en el esquema del uso eficiente y sustentable del agua, es posible reproducir en otras instituciones educativas el efecto multiplicador que tendrían sus estudiantes en el desarrollo de cada una de sus regiones de procedencia. De esta manera, se contribuiría efectivamente en la conservación y uso sostenible de los recursos hídricos.

Referencias

- Amnistía Internacional (2010). *De las promesas a los hechos. Dar prioridad a los derechos humanos en los Objetivos de Desarrollo del Milenio*. Madrid, España: Editorial Amnistía Internacional, 64p. Disponible en: <http://www.amnesty.org/es/stay-informed/publications/books/de-las-promesas-a-los-hechos>
- Azqueta, D. (2007). *Introducción a la economía ambiental*. 2ª edición. Madrid, España: McGraw-Hill/Interamericana de España, S. A.
- Banco Asiático de Desarrollo (s. f.). Consultado el 30 de mayo de 2007, en: http://www.adb.org/Documents/Periodicals/ADB_Review/2003/vol35_1/water_poverty.asp (visitado)
- Banco Mundial (2006). *Reducción de la pobreza y crecimiento: Círculos virtuosos y círculos viciosos*. Resumen ejecutivo. Estudios del Banco Mundial sobre América Latina y el Caribe. Perry, G. et al. Washington, D. C., USA: Banco Mundial, 29 p.
- Banco Mundial (2012). *Análisis de la gestión del riesgo de desastres en Colombia: un aporte para la construcción de políticas públicas*. Región de América Latina y El Caribe 1818 H Street, N.W. Washington, D.C. 20433, U.S.A.
- Bhave (1991). *Reliability Analysis of Water Distribution Systems*. American Society of Civil Engineers. Journal Environ. England. 120(2), p. 447-461.
- C. Sadoff & M. Muller (2009). *Water Management, Water Security and Climate Change Adaptation: Early Impacts and Essential Responses*. Comité Técnico Asesor. Documento de información N° 14, Estocolmo, Suecia: Asociación Mundial para el Agua.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe, CEPAL (2000). *Equidad, desarrollo y ciudadanía: Una visión global*. México, D. F. 334 p.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe, CEPAL (2002). *Determinantes de la pobreza en Colombia*. Años recientes. Bogotá, D. C., Colombia. 53 p.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe, CEPAL (2005). *Objetivos de desarrollo del milenio: una mirada desde América Latina y el Caribe*. Santiago de Chile. 333 p.

- Comisión Económica para América Latina y el Caribe, CEPAL (2007). *Panorama social de América Latina 2006*. Documento informativo. 1ª edición. Santiago de Chile. 39 p.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe, CEPAL (2013). *Panorama social de América Latina 2012*. Santiago de Chile. 248 p.
- Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico, CRA (2000). *Decreto 203 de 2000* Título II Capítulo 2 Sección 2.2.1. Artículo 2.2.1.2 y Resolución 457 de 2008 Artículo 1 de la Comisión Reguladora de Agua Potable
- Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico, CRA (2008). *Decreto 3102 de 1997* – Artículo 2. Comisión Reguladora de Agua Potable. Disponible en: http://www.minambiente.gov.co/documentos/dec_3102_301297.pdf
- Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico, CRA (2008). *Resolución 457 de 2008* sobre uso eficiente del agua. Verificación metrológica medidores. Disponible en: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=34668>
- Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico, CRA (2009). *Resolución 487 de 2009*. Disponible en: http://cra.gov.co/apc-aa-files/33323662393563653464313139313162/lnd_res487_2009.pdf
- Chow V.T. (2000). *Hidrología Aplicada*. New York, NY (EUA). McGraw-Hill Publishing Company, 557p.
- Comité Administrativo de Coordinación de las Naciones Unidas y Grupo Interinstitucional para los Recursos Hídricos (1992). *Gestión Integrada de Crecientes*. Organización Meteorológica Mundial. Ginebra, Suiza. 32 p. Disponible en: http://www.apfm.info/publications/concept_paper_s.pdf
- Comité Técnico Asesor de la Asociación Mundial para el Agua (2000). Decenio Internacional para la Acción “El Agua Fuente de Vida” 2005 - 2015. *El Derecho Humano al Agua*. Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de las Naciones Unidas. Disponible en: http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/human_right_to_water.shtml
- Conferencia Internacional sobre el Agua y el Medio Ambiente, celebrada en Dublín (Irlanda) en el año 1992 Consultado el 18 de mayo de 2013, en: <http://www.wmo.int/pages/prog/hwarp/documents/espanol/icwedecs.html#p1>
- Congreso de Colombia (1994). Ley 142 por la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios y se dictan otras disposiciones. Bogotá, D. C., Colombia.
- Congreso de Colombia (1997). Ley 373 por la cual se establece el programa para el uso eficiente y ahorro del agua. Bogotá, Colombia.
- Cortolima (2004). Concesión de aguas N°0800 de 2004. Dirección Administrativa y Financiera Universidad de Ibagué. Ibagué, Colombia.

- CORTOLIMA & CORPOICA (2009). Zonificación de 350.000Ha de zonas secas y formulación del plan de manejo ambiental de 500.00Ha de zonas secas en el Departamento del Tolima. Ibagué, Colombia: Dentro de Documentación Cortolima. Ibagué, Colombia
- Declaración de Dublín sobre el Agua y el Desarrollo Sostenible (s. f.). Consultado el 22 de junio de 2013, en: <http://www.wmo.int/pages/prog/hwrrp/documents/espanol/icwedecs.html>
- Declaración del Milenio (s. f.). Consultado el 20 de junio de 2013 en: <http://www.un.org/millennium/declaration/ares552e.htm>
- Departamento Nacional de Planeación (2005). *Visión Colombia II. Centenario: 2019. Propuesta para discusión*. Resumen ejecutivo. Bogotá, Colombia: Editorial Planeta Colombiana S. A. 60 p.
- El Capítulo II del Plan de Aplicación de Johannesburgo –Erradicación de la pobreza– (s. f.). Consultado el 22 de junio de 2013 en: http://www.un.org/spanish/esa/sustdev/WSSD_POI_PD/POIspChapter2.htm
- El Portal del Agua de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. UNESCO (2006.) Consultado el 20 de junio de 2013, en: http://www.unesco.org/water/news/newsletter/159_es.shtml.
- EPA (2002). Manual usury software EPANET2,0. Water Supply and Water Resources. Division National Risk Management Research. Laboratory Office of Research and Development. United States Environmental Protection Agency
- Organización de las Naciones Unidas (1992). Agenda 21. Consultado el 22 de junio de 2013, en: <http://www.un.org/spanish/esa/sustdev/agenda21/>
- Global Water Partnership, GWP (2000). Agua para el Siglo XXI: de la visión a la acción. Holanda. Global Water Partnership. Disponible en: <http://www.gwp.org/Global/The%20Challenge/Resource%20material/FFA%20regional%20summary%20SAM%20Spanish.pdf>
- Global Water Partnership, GWP (2008). Principios de Gestión Integrada de los Recursos Hídricos Bases para el desarrollo de planes nacionales. 11 p. Consultado el 13 de enero de 2013 en: http://www.gwp.org/Global/GWP-CAM_Files/Bases%20para%20el%20Desarrollo%20de%20Planes%20Nacionales.pdf
- Guerrero J.G. & Peña L.E. & Muñoz P.A. (2007). Diagnóstico y Formulación de Planes de Reducción de Pérdidas de Agua en Acueductos de Pequeñas Localidades. Pereira, Colombia. Editorial Universidad Tecnológica de Pereira, 54 p.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia, IDEAM (2010). *Estudio Nacional del Agua*. Capítulo 7 Alteraciones del Régimen Hidrológico y de la Oferta Hídrica por Variabilidad y Cambio Climático

- co. Bogotá, Colombia. Disponible en: http://www.engr.colostate.edu/~neilg/ce_old/projects/Colombia/Colombia/cd1_files/spanish/12%20ena%20IDEAM%20study.pdf
- International Water Management Institute (IWMI) (s. f.). (2007). *Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture*. Water for Food, Water for Life: A Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture. London: Earthscan, and Colombo: International Water Management Institute.
- Lara, S. (2006). *Las metas del milenio y la igualdad de género. El caso de Colombia*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe. Santiago de Chile. 70 p. Naciones Unidas ISBN: 92-1-322971-2.
- Marín, R. (2003). Colombia: Potencia Hídrica. Subdirección de Hidrología, Bogotá, Colombia: IDEAM.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (s. f.). Consultado el 17 de julio de 2013, en: <http://www.minambiente.gov.co/contenido/contenido.aspx?catID=679&conID=2726>
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, MAVDT (2000). Reglamento del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS2000. Bogotá, Colombia.
- Ministerio de Desarrollo & Banco Mundial & UNICEF, Colombia (2002). Manual de Agua no Contabilizada. Programa de Modernización Empresarial. *Programa Nacional de Control de Pérdidas y Agua no Contabilizada*. 2ª Edición. Bogotá, Colombia: Ministerio de Desarrollo.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, MAVDT (2003). Guía RAS 001. Definición del Nivel de Complejidad y Evaluación de la Población, la Dotación y la Demanda de Agua. Bogotá, Colombia.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, MAVDT (2004). Resolución 240, por la cual se definen las bases para el cálculo de la depreciación y se establece la tarifa mínima de la tasa por utilización de aguas. Bogotá, D. C., Colombia. Consultado el 18 de noviembre de 2013 en: <http://www.minambiente.gov.co/contenido/contenido.aspx?catID=1296&conID=7919>
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, MAVDT (2004). *Guía de catastro de redes*. Dirección General de Agua Potable y Saneamiento Básico. Áreas Municipios Menores y Zonas Rurales. Bogotá, Colombia: MAVDT.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, MAVDT (2007). *Guía metodológica para la formulación y diseño de sistemas de acueducto rurales*. Guía RAS-2008. Bogotá, D. C., Colombia. 94 p.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, MAVDT (2010). Norma Sismo-Resistente Colombiana NSR10. Decreto 926 del 19 de marzo de 2010, Ley 400 de 1997 Modificada Ley 1229 de 2008. Bogotá, Colombia.

- Moreno, C. A. (2011). *Desarrollo económico local e índice de calidad de vida: Una estimación para la comuna 6 del municipio de Ibagué para los años 2004 y 2008*. En *Revista Mundo Económico y Empresarial* (9), p.28.
- Moriarty, P. & Butterworth, J. (2003). The productive use of domestic water supplies. Thematic Overview Paper. IRC International Water and Sanitation Centre. Delft, the Netherlands. 57 p.
- Moriarty, P. & Butterworth, J. & van Koppen, B. (2004). Beyond Domestic Technical Paper Series. N° 41, IRC International Water and Sanitation Centre. Delft, the Netherlands. 243p.
- Naciones Unidas (s. f.). Plan de Aplicación- II. Erradicación de la pobreza. Consultado el 20 de junio de 2013, en: http://www.un.org/spanish/esa/sustdev/WSSD_POI_PD/POIspChapter2.htm
- Naciones Unidas (1992). *Conferencia de Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo*. Disponible en: <http://daccess-dds-ny.un.org/doc/UNDOC/GEN/N02/738/20/PDF/N0273820.pdf?OpenElement>
- Naciones Unidas (1993). Conferencia de Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo. Agenda 21. Cumbre de la Tierra. Disponible en: http://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/1718a21_summary_spanish.pdf
- Naciones Unidas (1995). Population Division. Word Urbanization Prospects: the 1994 Revision. New York: Naciones Unidas.
- Naciones Unidas (2000). Cumbre Mundial sobre Desarrollo Sostenible del Milenio. Consultado el 12 de enero de 2013 en: <http://www.un.org/es/development/devagenda/millennium.shtml>
- Naciones Unidas (2003). Derecho al Agua. Consultado el 20 de junio de 2013, en: <http://www.un.org/spanish/events/water/Derechoalagua.htm> (visitado el 22 de junio de 2013)
- Naciones Unidas (2007). Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de las Naciones Unidas 2002: Plan de Aplicación de Johannesburgo, publicaciones de las Naciones Unidas. 2007: Proyección de la población mundial, revisión de 2007. Disponible en <http://www.un.org/esa/population/unpop.htm>.
- Naciones Unidas (2010). Cumbre Mundial sobre Objetivos de Desarrollo del Milenio. Consultado el 15 de mayo de 2013 en: <http://www.un.org/es/mdg/summit2010/>
- Naciones Unidas (s. f.). Objetivos de Desarrollo del Milenio. Consultado el 20 de junio de 2013 en: <http://www.un.org/millennium/declaration/ares552e.htm>
- Nguyen-Khoa, S.& Huber-Lee, A.& van Koppen, B. & Peden, D.& Andreini, A.& Smits, S. (2008). Multi-purpose water systems: Topic 2 synthesis paper. CGIAR Challenge Program on Water and Food, Colombo.13 p. Disponible

- en: http://cgspace.cgiar.org/bitstream/handle/10568/3656/CPWF_topic2_synthesis.pdf?sequence=2
- Núñez, J. & Ramírez, J. & Cuesta, L. (2006). *Determinantes de la pobreza en Colombia, 1996-2004*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe. Bogotá, Colombia. Naciones Unidas. 47 p.
- Ochoa A.L., Bourguett O.V. (1998) Reducción integral de pérdidas de agua potable. Ed. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. IMTA. México. Organización Mundial de la Salud, oms (2003). *Informe sobre la salud en el mundo 2003*. Consultado el 21 de enero de 2013 en: <http://www.who.int/whr/2003/es/>
- Penman (1948). *Natural Evaporation from Open Water, Bare Soil and Grass*. Proceedings The Royal Society Academy. 10.1098/rspa.1948.0037Proc. R. Soc. London. A 22, April 1948. Vol.193. N° 1032, p.120-145
- Poverty Environment Partnership (2006). Linking poverty reduction and water management. 76 p. Consultado el 28 de diciembre de 2012 en: http://www.unwater.org/downloads/Linking_Poverty_Reduction_2007.pdf
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (2000). Informe sobre Desarrollo Humano 2000. Derechos humanos y desarrollo Humano. Madrid, España: Grupo Mundi-Prensa. 290 p.
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (2006). Informe sobre Desarrollo Humano 2006. Más allá de la escasez: Poder, pobreza y la crisis mundial del agua. Nueva York, USA: Grupo Mundi-Prensa. 422 p.
- Romero, A. (2002). Globalización y pobreza. 1ª edición. Pasto, Colombia: Editorial Universitaria Universidad de Nariño. 161 p.
- Saldarriaga J G. (2001). Hidráulica de tuberías. Santafé de Bogotá, Colombia: Mc Graw Hill.
- Sen, A. (2000). *Desarrollo y libertad*. 1ª edición. Barcelona, España: Editorial Planeta 440 p.
- Soussan, J. & Frans, D. (2003). The role of water in the development of sustainable livelihoods of the poor. En: *Water and poverty - An collection of thematic papers, various authors*. Asian Development Bank. Disponible en: http://www.unhabitat.org/downloads/docs/2169_29707_Water%20and%20Poverty-Fighting%20Poverty%20through%20Water%20Management.pdf
- The Multiple-Use Water Services, mus (2003). Declaración de Johannesburgo <http://www.musgroup.net/page/836> (visitado el 06 de julio de 2013)
- Thomas H. (1981). Improved methods for national water assessment. Report, Contract WR 15249270, US Water Resources Council. Washington D.C, USA.
- Unalmed-Uniquindío (2002). Estudio de explotación semidetallada de material de arrastre en la cuenca del río La Vieja. Medellín, Colombia 2002.

- Unibagué (2009). *En Cifras*. Sobre los registros de población en el campus de la Universidad de Ibagué. Dirección del Planeación, Ibagué, Colombia: Universidad de Ibagué.
- Unibagué (2010). Estudios Hidrológicos para la Generación de Energía Hidroeléctrica en la Universidad de Ibagué. Andrés Santiago Díaz Morales. Proyecto de Grado. Programa Ingeniería Civil. Ibagué, Colombia: Universidad de Ibagué.
- Unibagué (2011). Proyecto de Uso Eficiente y Ahorro del Agua de la Concesión N° 0800 de 2004 del Canal de la Universidad de Ibagué. Angie Estefany Otálora Segura y Ángela Patricia Rodríguez Zarate. Proyecto de Grado. Programa Ingeniería Civil. Ibagué, Colombia: Universidad de Ibagué.
- Unibagué (2013a). Modelación de Redes Hidráulicas en la Universidad de Ibagué. Juan David Pinilla Castañeda y William Felipe Gutiérrez Barragán. Proyecto de Grado. Programa Ingeniería Civil. Ibagué, Colombia: Universidad de Ibagué.
- Unibagué (2013b). Análisis de Consumo de Agua y Propuesta de Uso Eficiente en la Universidad de Ibagué. Kristian Camilo Conde López y Jesús David Ayram Zamora. Proyecto de Grado. Programa Ingeniería Civil. Ibagué, Colombia: Universidad de Ibagué.
- Unibagué (2013c). Software de Proyección de Población SPP. Luis Eduardo Peña Rojas y Carlos Andrés Lugo González. Grupo de Investigación GMAE. Ibagué, Colombia: Universidad de Ibagué. Ministerio del Interior. Dirección Nacional de Derecho de Autor. Libro 13/36/323.
- Van Koppen, B. & Smits, S. & Moriarty, P. & Penning de Vries, F. & Mikhail, M. & Boelee, E. (2009). Climbing the water ladder: Multiple-use water services for poverty reduction. The Hague, Netherlands: IRC International Water and Sanitation Centre and International Water Management Institute. TP series. N° 52. The Hague, Netherlands. 213p.
- Woodhouse, M. & Langford, M. (2009). Crossfire: There is no human right to water for livelihoods. En: *Waterlines*, 28 (1). 5-12. Disponible en: <http://www.jus.uio.no/smr/english/people/aca/malcolml/Human%20Right%20to%20Water%20and%20Livelihood%20Debate.pdf>
- World Health Organization (2003). The right to water. Paris, France: WHO Library Cataloguing-in-Publication Data. 43p.

Bibliografía recomendada

- Acreman, M. & King, J. & Malomo, S. & Tate, E. & O'Regan, D. & Milner, S. & Steyl, I. (2003). The Water Poverty Index: Development and application at the community scale. *Natural Resources Forum*. Vol. 27, p.189-199.
- Acuadatos (2005). Formulación e Implementación de un Programa de Agua no Contabilizada en la Cabecera Municipal de Pueblo Rico (Risaralda). Informe Final. Pereira, Colombia. 116p.
- Alianza por el agua (2010). Gotas de Solidaridad. [En Línea] Extraído el 15 de octubre de 2010 de: http://www.alianzaporelagua.org/gotasdesolidaridad/index.php?option=com_content&view=article&id=2&Itemid=2
- Amnistía Internacional (2013). Informe 2013 Amnistía Internacional. El estado de los derechos humanos en el mundo. Madrid, España: Editorial Amnistía Internacional, 363p.
- Arias, P. (2007). *Procesos de planificación en la cuenca del río Quindío*. Tesis de Magíster en Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Cali, Colombia: Universidad del Valle.
- Asamblea Departamental del Quindío (2005). Proyecto de Ordenanza N° 021 por medio de la cual se adopta la Política Departamental de Turismo. Armenia, Colombia.
- Asamblea Departamental del Quindío (2005). Ordenanza N° 022 por medio de la cual se adopta el Plan Decenal Estratégico de Desarrollo Turístico del Quindío, y se dictan unas disposiciones. Armenia, Colombia.
- Balairón, L. (2002). Gestión de recursos hídricos. 2ª edición. Barcelona, España: Ediciones de la Universidad Politécnica de Cataluña, SL, 488p.
- Barba-Romero, S. & Pérez, J. (1994). La decisión multicriterio en el análisis y la gestión de los recursos naturales. En: *Análisis económico y gestión de recursos naturales*. Eds. Azqueta, D. & Ferreiro, A. Madrid, España: Alianza Editorial. S. A.
- Brent, R. J. (2007). Applied cost-benefit analysis. 2ª edition. Brookfield: Edward Elgar, 470p.
- Carvajal Y. García M. & Jiménez H. (2005). *La gestión integrada de los recursos*

- hídricos como estrategia de adaptación al cambio climático*. Escuela de Ingeniería de Recursos Naturales y Medio Ambiente. Grupo de Investigación de Recursos Hídricos y Desarrollo de suelos. Facultad de Ingeniería. Cali, Colombia: Universidad del Valle.
- Colebrook & White (1937). Experiments with Fluid Friction in Roughened Pipes. Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences 161(906), p.367-381
- Contazara (2004). Manual de Producto. 2004 CZMAN025, Versión 4.1 [en línea]. Disponible en: http://www.contazara.net/contazaraweb/2007/archivos/zonavip/CZMAN025ED4_1.pdf
- Costa, C. (2010, febrero 26). Arrancan medidas para promover el uso eficiente del agua. [En línea]. Extraído el 15 de octubre de 2010, de: <http://www.antioquia.gov.co/index.php/es/noticias-2010-febrero/3408-arrancan-medidas-para-promover-uso-eficiente-de-agua-223>
- DANE (2010). Proyecciones Nacionales y Departamentales de población 2005-2020. Disponible en: http://www.dane.gov.co/files/investigaciones/poblacion/proyepobla06_20/7Proyecciones_poblacion.pdf
- Gómez R. & Saldarriaga, J. & Salas, D (2003). Calibración de Redes de Acueducto Utilizando Redes Neuronales con Diferentes Configuraciones y Niveles de Agregación. Seminario Internacional de hidroinformática en la gestión integrada de recursos hídricos. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/agua2003/neuro.pdf>
- Gobernación del Quindío (2006). Decreto 444 por medio del cual se estructura e implementa el Sistema Departamental de Turismo. Armenia, Colombia.
- Hall, C. (editor). (2007). *¿Pro-poor tourism: who benefits? perspectives on tourism and poverty reduction*. Channel View Publications. Clevedon Buffalo. 167p.
- HEC-HMS (2000). US Army Corps of Engineers. Hydrologic Engineering Center. Manual Technical Hydrologic Modeling System HEC-HMS. Disponible en: [http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/documentation/HEC-HMS_Technical%20Reference%20Manual_\(CPD-74B\).pdf](http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/documentation/HEC-HMS_Technical%20Reference%20Manual_(CPD-74B).pdf)
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM (1998). *Los glaciares colombianos, expresión del cambio climático global*. Bogotá, Colombia. 19 p.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM (2001a). *Colombia primera comunicación nacional ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático*. Bogotá, Colombia. 307 p.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM (2001b). *Vulnerabilidad y adaptación de la zona costera colombiana al ascenso acelerado del nivel del mar*. Bogotá, Colombia.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM (2002).

- Páramos y ecosistemas andinos de Colombia en condición HotSpot*. Global Climatic Tensor. Bogotá, Colombia.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM (2008). *Estudio nacional del agua*. Bogotá, Colombia.
- International Water and Sanitation Centre, IRC. (2006, junio 6). Estados Unidos: EPA lanza programa para uso eficiente del agua. [en línea] Extraído el 15 de octubre de 2010 de: <http://www.es.irc.nl/page/35105>
- Janssen, R. (1992). Multiobjective decision support for environmental management. Kluwer Academic Publisher. Dordrecht. The Netherlands, 232p.
- León, A. (2008). Desarrollo económico y vulnerabilidad asociados a la variabilidad y cambio climático en América Latina. En: *Hacia la evaluación de prácticas de adaptación ante la variabilidad y el cambio climático*. Eds. Aldunce, P. & Neri, C. & Szlafsztein, C. NUMA/UFPA. Belém, Brasil.
- Magaña, V. (2008). Adaptación a la variabilidad y cambio climático. En: *Hacia la evaluación de prácticas de adaptación ante la variabilidad y el cambio climático*. Eds. Aldunce, P. & Neri, C. & Szlafsztein, C. NUMA/UFPA. Belém, Brasil.
- Menéndez M (s. f.). Panorama sobre el uso eficiente el agua en Europa. VII Congreso Nacional del Medio Ambiente. Europa. Disponible en: <http://www2.conama.org/documentos/1697.ppt.pdf>
- Ministerio de Desarrollo Colombia (1997). Instalación de Equipos, Sistemas e Implementos de Bajo Consumo de Agua. Decreto 3102. Artículo 2, Obligaciones de los usuarios. Disponible en: <https://www.dnp.gov.co/LinkClick.aspx?fileticket=mi7crp2PeF4%3D&tabid=1031>
- Ministerio de Desarrollo Colombia (2000). Resolución 1096 del 2000 por la cual se adopta el Reglamento Básico del Sector Agua Potable y Saneamiento Básico RAS2000. Disponible en: <http://www.minvivienda.gov.co/Agua/Paginas/Reglamento-T%C3%A9cnico-del-Sector-de-Agua-Potable-y-Saneamiento-B%C3%A1sico---RAS-.aspx>
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (1978). Decreto 1541. Aguas no marítimas. Bogotá, Colombia. Disponible en: <http://www.ani.gov.co/normatividad-inco/decreto-no1541-de-1978-452>
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (2006). Decreto 3137 por el cual se modifica la estructura del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, y se dictan otras disposiciones. Bogotá, Colombia. Disponible en: http://www.minambiente.gov.co/documentos/normativas/decreto/dec_3137_121106.pdf
- Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino (2008). El agua en la economía española: situación y perspectivas. Madrid, España, 320 p.
- Monsalve, E. (2005). Propuesta metodológica para el manejo integral de la disponibilidad del recurso hídrico (cuenca alta del río Quindío). Tesis de Ma-

- gíster en Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Cali, Colombia: Universidad del Valle.
- Mowforth, M. (2008). *Tourism and sustainability development, globalization and new tourism in the third world*. Rutledge. 3ª ed. New York, NY. USA. 424 p.
- Naciones Unidas (2002). *Compañía de Cumbre de Johannesburgo*. Johannesburgo, Sudáfrica: Naciones Unidas. Disponible en <http://www.sommetjohannesburg.org/>
- Ochoa, L. & Rodríguez, M. (2001). *Reducción Integral de pérdidas de agua potable. Parte III, Eliminación de pérdidas de agua*. México. Disponible en: http://www.gwp.org/Global/GWP-CAM_Files/Bases%20para%20el%20Desarrollo%20de%20Planes%20Nacionales.pdf
- OPS 1993. REPINDEX 48: *Control de Pérdidas y Uso Eficiente del Agua*. ISSN: 0252-7987. Organización Panamericana de la Salud. Disponible en: <http://www.bvsde.ops-oms.org/eswww/proyecto/repidisc/publica/repindex/rep048.html>
- Organización de las Naciones Unidas (2006). *El agua, una responsabilidad compartida. 2º Informe sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo*. Zaragoza, España: Ediciones UNESCO, 568p.
- Organización Internacional del Trabajo (2006). *Turismo rural: nueva ruralidad y empleo rural no agrícola*. Centro Interamericano de Investigación y Documentación sobre Formación Profesional. Montevideo, Uruguay, 185p.
- Rogers, P. & Bhatia R. & Huber A. (1998). *Water as a social and economic good: How to put the principle into practice*. Stockholm, Sweden: Global Water Partnership. Technical Advisory Committee (TAC). TAC Background Papers N° 2.35p. Disponible en: http://info.worldbank.org/etools/docs/library/80637/IWRM4_TEC02-WaterAsSocialEconGood-Rogers.pdf
- Saldarriaga J G. & Salas D. E. (2002). *Universidad de los Andes. XV Seminario Nacional de Hidráulica e Hidrología. Calibración de Redes de Distribución de Agua Potable Bajo un Ambiente de Fugas*, Bogotá, Colombia: Universidad de los Andes
- Saldarriaga J G. & Salas D. E. (2003). *Calibración de redes de distribución de agua potable bajo un ambiente de fugas*. Seminario Internacional de Hidroinformática en la Gestión Integrada de Recursos Hídricos. Santiago de Cali, Colombia. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/agua2003/cali.pdf>
- SINEXCUSAS. (2010, marzo 22). *Nueva web con recursos educativos sobre el uso eficiente del agua y los Objetivos del Milenio-ODM*. [En línea]. Extraído el 15 de octubre de 2010, de: <http://www.sinexcusas2015.org/noticias/nueva-web-con-recursos-educativos-sobre-el-uso-eficiente-del-agua-y-los-odm>
- Sullivan, C.; Meigh, J.; Giancomello, A.; Fediw, T.; Lawrence, P.; Samad, M; Mlote,

- S.; Hutton, C.; Allan, J.; Schulze, R.; Dlamini, D.; Cosgrove, W.; DelliPriscoli, J.; Gleick, P.; Smout, I.; Cobbing, J.; Calow, R.; Hunt, C.; Hussain, A. (2003). The water Poverty Index; development and application at the community scale. Natural Resources Forum. Disponible en: http://works.bepress.com/caroline_sullivan/70/
- Universidad Politécnica de Valencia (2002). EPANET 2 Manual de Usuario. Grupo Multidisciplinar de Modelación de Fluidos. Valencia, España: Universidad Politécnica de Valencia, p. 29.
- Vélez J. I. & Poveda O. M. (2000). *Balances hidrológicos de Colombia*. Medellín, Colombia: Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.
- Verhagen, J. & James, A. & van Wijk, C. & Nanavatty, R. & Parikh, M. & Bhatt, M. (2004). Linking Water Supply and Poverty Alleviation. The impact of women's productive use of water and time on household economy and gender relations in Banaskantha District, Gujarat, India. IRC International Water and Sanitation Centre. Delft, the Netherlands, 76p.

Apéndice. Campaña de educación ambiental



**“Tu debes ser el cambio
que deseas ver en el
mundo.”**

Mahatma Gandhi

Angie Estefany Otálora Segura
Angela Patricia Rodríguez Zarate

GMAE - Conservación y
aprovechamiento de los recursos
naturales
Universidad de Ibagué

Jóvenes Investigadoras GMAE,
Estudiantes Programa de Ingeniería
Civil U. de Ibagué.

USO EFICIENTE Y AHORRO DEL AGUA

USO EFICIENTE Y AHORRO DEL AGUA



- Cierre la llave mientras se cepilla los dientes y se enjabona las manos.
- No descargue el sanitario para eliminar papeles u otros elementos sólidos. Hágalo en la caneca de la basura.
- Descargue el sanitario sólo cuando sea indispensable.
- Instale aparatos que ahorran agua, como sanitarios de baja descarga o reductores de cantidad de agua en las tuberías, duchas y llaves.
- Tome duchas breves y cierre la llave mientras se enjabona.
- Vigile el estado de accesorios del sanitario, como el flotador y las válvulas, además del cierre de las llaves, para que no goteen.
- El agua donde se cocinan los vegetales, puede reutilizarse para preparar otros alimentos.
- Los hombres deben utilizar los orinales.
- Puede colocar una botella con algún peso (arena, agua) dentro de la cisterna.
- Riegue las plantas en las horas de la noche, así absorben mejor el agua.

Fuente: Unibagué (2011)

