

Estudio de alternativas para el aprovechamiento y reúso del agua doméstica

DAYAN LIZETH PARRA ASTUDILLO¹

LUIS JAVIER CARRILLO PUERTO²

EDDER ALEXÁNDER VELANDIA DURÁN³

RESUMEN

A pesar de que los ciudadanos tienen garantizado el suministro de agua en Bogotá, es importante crear estrategias que propicien un uso razonable del recurso y de esta manera se prevengan futuros problemas de escasez. Este es un hecho relevante hacia el futuro, si se tienen en cuenta los cambios alarmantes reportados en las fuentes de abastecimiento de agua en la región. Con el propósito de aportar una estrategia de ahorro en el consumo de agua, este artículo propone instalar, en edificaciones nuevas de tipo residencial pertenecientes a los estratos socioeconómicos 3 y 4, un sistema para el aprovechamiento y la reutilización de las aguas grises, en función de asegurar un abastecimiento confiable en calidad físicoquímica y biológica para los usuarios, así como una inversión en infraestructura de fácil operación y con viabilidad económica. Con esta estrategia se busca que el precio del metro cúbico de agua gris sea inferior respecto a la tarifa convencional de acueducto y paralelamente se logre reducir mensualmente la demanda de agua potable por usuario.

Palabras clave: reúso del agua gris, aprovechamiento del agua gris, reducción en tarifas de acueducto y alcantarillado

¹ Ingeniera ambiental y sanitaria por la Universidad de La Salle, Bogotá, Colombia. Estudiante de Ingeniería Civil en la Universidad de La Salle, Bogotá, Colombia. Correo electrónico: dparra46@unisalle.edu.co

² Magíster en Ingeniería Hidráulica por la Universidad de Cantabria, Cantabria, España. Ingeniero civil por la Universidad La Gran Colombia, Bogotá, Colombia. Profesor de cátedra del programa de Ingeniería Civil de la Universidad de La Salle, Bogotá, Colombia. Correo electrónico: lcarrillo@unisalle.edu.co

³ Magíster en Ingeniería Civil por la Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia. Magíster en Ingeniería Industrial por la Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia. Ingeniero civil por la Universidad Francisco de Paula Santander, Cúcuta, Colombia. Profesor del programa de Ingeniería Civil de la Universidad de La Salle, Bogotá, Colombia. Correo electrónico: evelandiad@unisalle.edu.co

FECHA DE RECEPCIÓN: 2 DE MARZO DEL 2014 • FECHA DE APROBACIÓN: 6 DE NOVIEMBRE DEL 2014

Cómo citar este artículo: Parra Astudillo, D. L., Carrillo Puerto, L. J. y Velandia Durán, E. A. (2015). Estudio de alternativas para el aprovechamiento y reúso del agua doméstica. *Épsilon*, 24, 123-142.

Study of Alternatives for the Use and Reuse of Domestic Water

ABSTRACT

Although citizens are guaranteed water supply in Bogota, it is important to develop strategies to encourage a reasonable use of the resource and thus prevent future shortage problems. This is a significant event for the future, if the alarming changes reported in the sources of water in the region are taken into consideration. Seeking to provide a savings strategy in water consumption, this paper proposes to install, in new residential buildings belonging to socioeconomic strata 3 and 4, a system for the use and reuse of greywater, in terms of ensuring a reliable supply in physicochemical and biological quality for users, as well as an investment in infrastructure for easy operation and economic viability. The purpose with this strategy is to obtain a lower price per cubic meter of greywater compared to the conventional aqueduct rates and, at the same time, reduce the monthly demand for drinking water per user.

Keywords: reusing greywater, using greywater, reduction in water and sewer rates.

Estudo de alternativas para o aproveitamento e reutilização da água doméstica

RESUMO

Embora os cidadãos já tenham garantido o fornecimento de água em Bogotá, é importante criar estratégias que propiciem um uso razoável do recurso e desta maneira se previnam futuros problemas de escassez. Este é um fato relevante para o futuro, se são consideradas as mudanças alarmantes reportadas nas fontes de abastecimento de água na região. Com o propósito de contribuir com uma estratégia de economia no consumo de água, este artigo propõe instalar, em edificações novas de tipo residencial pertencentes aos estratos socioeconômicos 3 e 4, um sistema para o aproveitamento e a reutilização das águas residuais, em função de garantir um abastecimento confiável em qualidade físico-química e biológica para os usuários, assim como um investimento em infraestrutura de fácil operação e com viabilidade econômica. Com esta estratégia se busca que o preço do metro cúbico de água residual seja inferior com relação à tarifa convencional de empresa de águas e que, paralelamente possa-se reduzir mensalmente a demanda de água potável por usuário.

Palavras chave: reutilização da água residual, aproveitamento da água residual, redução em tarifas de empresas de água e rede de esgotos.

Introducción

Los habitantes de Bogotá, acostumbrados a recibir diariamente agua potable en sus residencias, no perciben completamente los potenciales riesgos asociados a los índices de escasez que se presentan en las fuentes de abastecimiento, como tampoco las amenazas que a mediano plazo generará el uso irracional del agua. Además, no existe una política efectiva de fomento gubernamental al reúso de aguas en zonas residenciales ni planes para la modernización de redes internas en edificaciones. En consecuencia, la población bogotana no desarrolla técnicas de aprovechamiento alternativo que brinden la posibilidad de disminuir el consumo de agua potable ni las descargas de aguas residuales al sistema de alcantarillado.

En la ciudad son casi inexistentes las edificaciones que realicen reúso de las aguas grises. Estas se definen como todas aquellas aguas que proceden del uso del agua potable para higiene corporal, utensilios domésticos y aseo general (puntos sanitarios de ducha, lavamanos, lavaderos, lavadoras). Actualmente, el conocimiento sanitario permite realizar un tratamiento químico, físico y biológico a dichas aguas, y convertirlas en una opción de abastecimiento complementario sin efectos negativos en la salud humana o el ambiente (Garavito y Miranda, 1999).

Desde la propuesta de reúso de las aguas grises en edificaciones planteada en este documento se evidencia que, según cierta estratificación económica de la edificación y del tamaño de la población residente, la inversión y puesta en marcha del esquema formulado es una opción técnica y económicamente viable para los propietarios. Al reusar agua, las demandas en la edificación son menores y, por lo tanto, también la cantidad de agua residual descargada; en consecuencia, existe una reducción de los costos por facturación de servicios públicos de agua y alcantarillado.

El reúso de las aguas grises en edificaciones amplía la disponibilidad del recurso agua en un sistema de abastecimiento municipal, al atender una población con menor demanda de agua y, por ende, menor infraestructura. De igual manera, al reducirse la producción de aguas residuales, se genera un menor uso de la capacidad del sistema de alcantarillado sanitario y se disminuye el impacto ocasionado por las continuas descargas de agua residual a los cuerpos de agua, especialmente cuando los municipios no cuentan con plantas de tratamiento de aguas residuales.

Planteamiento

Definición del sector de estudio y población objetivo

Según la Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Bogotá (EAAB), existían 1.769.951 usuarios registrados hasta el 2013. El 36,5% pertenece al estrato 3 y el 14,6% corresponde al estrato 4; ambos que se caracterizan por presentar semejanza en cuanto a consumo y costumbres de uso del servicio. Por la relevancia de estos estratos en Bogotá, las edificaciones estrato 3 y 4 fueron seleccionadas como referencia para el estudio.

Para que sea viable la reutilización de aguas grises, el sistema de reúso debe implementarse en edificaciones de propiedad horizontal en altura, construcciones comunes en los estratos referidos. De acuerdo con el sondeo realizado en diferentes conjuntos residenciales de Bogotá, es particular encontrar poblaciones de 400, 800 y 1000 habitantes.

Las alternativas de reutilización se desarrollaron para un conjunto residencial tipo en Bogotá, tanto por su diseño arquitectónico como por el tamaño de la población habitante: entre 12 y 16 torres, 9 y 16 pisos por torre, 4 apartamentos por piso. Cada apartamento cuenta con una cocina con lavadero, conexión para lavadora y dos baños con ducha. Además, el conjunto tipo posee los espacios comunes como parqueaderos, zonas verdes y un área entre de 28 y 40 m² destinada para la instalación y operación del sistema de reúso.

Medida y caracterización de aguas grises

Para establecer la caracterización fisicoquímica y biológica del agua gris, se llevó a cabo el correspondiente protocolo de recolección de 40 muestras compuestas de diferentes viviendas familiares, con volúmenes provenientes de la descarga del lavamanos, ducha, lavaplatos y lavadora. Posteriormente se generó una muestra integrada de cada 10 viviendas; a cada una de las muestras se les efectuaron los ensayos de laboratorio a cargo de Antek SAS, Analquim y la Universidad de La Salle. Obtenidas las concentraciones de cada parámetro por muestra, se seleccionó la concentración más cercana al valor promedio ponderado, valor determinado así para el cálculo del balance de cargas del tren de tratamiento de agua gris por emplear. En la tabla 1 se muestran los resultados de calidad de agua.

Tabla 1. Análisis fisicoquímico del agua gris

PARÁMETRO	UNIDAD	MUES- TRA 1	MUES- TRA 2	MUES- TRA 3	MUES- TRA 4	VALOR PROME- DIO	VALOR SELECCIO- NADO
pH	Unidades	6,47	5,98	7,59	6,99	6,8	6,99
Turbiedad	NTU	330		99,28	150	193,1	150
Alcalinidad total	mg/L CaCO ₃	160	292	270	332	263,5	270
Color	UPC	28	47	23	9	26,8	28
Fosfatos	mg/LP-PO ₄ ⁻³	2,96	30,3	31	35	24,8	30,3
Sólidos disueltos	mg/L	382	1120	548	890	735	890
Sólidos suspendidos	mg/L	220		400	398	339,3	398
Sólidos totales	mg/L	614		850	1288	917,3	850
DBO ₅	mg/L O ₂	510			936	723	936
DQO	mg/L O ₂	822		259	1853	978	822
Tensoactivos	mg/L LAS	6,68	17,3	5	34,6	15,9	17,3
Grasas y aceites	mg/L	190		800	150	380	190

Fuente: Laboratorios Antek SAS, Analquim y Universidad de La Salle (s. f.).

Las mayores concentraciones están enmarcadas en los sólidos suspendidos, disueltos y totales, tensoactivos, grasas y aceites. Estos dos últimos, derivados de las actividades que implican el uso de detergentes. Como es lógico, se encontraron valores apreciables de DBO y DQO, con una estrecha relación en los contenidos de materia orgánica proveniente de jabones y residuos de alimentos. El aporte en concentración de los parámetros de agua gris es apreciablemente menor al relacionado en la carga contaminante de las aguas residuales, lo cual se constituye en una ventaja para calcular el balance de cargas, ya que desde esta condición se proponen unidades de tratamiento que se ajustan a un grado de complejidad menor para su construcción y operación, pero que igualmente son de alta eficiencia en su porcentaje de remoción.

Para identificar el volumen de agua diaria por familia, se efectuó como ejercicio práctico el muestreo de las costumbres de uso del recurso en un día cotidiano de dos familias con cinco integrantes, tanto para el estrato 3 como para el 4. Se monitorearon durante 12 horas el volumen aproximado de agua y el tiempo utilizado por cada aparato hidrosanitario (figura 1).



Figura 1. Monitoreo de actividades domésticas

Fuente: autores.

Obtenido un valor promedio de los resultados obtenidos por familia (tabla 2), se identificaron los volúmenes de consumo y descarga de agua, de manera tal que se pudiera establecer la cantidad de agua gris con la cual puede contar cada aparato, así como la demanda requerida para la reutilización en algunos de ellos (tabla 3).

Tabla 2. Volumen de consumo y descarga convencional

APARATO SANITARIO	CONSUMO (LITROS POR FAMILIA)	DESCARGA (LITROS POR FAMILIA)
Lavadero	34	34
Lavadora	302	302
Lavaplatos	83	64
Lavamanos	30	30
Ducha	85	85
Inodoro	100	100
Oficios varios	13	9
Total de litros familia/día	647	624
Total m ³ familia/mes	19	19
Total litros habitante/día	129	125

Fuente: elaboración propia.

Tabla 3. Volumen de consumo y descarga de agua gris en sistema hidrosanitario

	VOLUMEN DE DESCARGA POR REUTILIZAR	VOLUMEN DE CONSUMO	VOLUMEN DE REBOSE A ALCANTARILLADO
Total litro familia/día	515	449	66
Total m ³ familia/mes	15	13	2
Total litros habitante/día	103	90	13

Fuente: elaboración propia.

Los resultados indican que por persona diariamente se obtiene un volumen adicional de agua gris de 13 litros al requerido para efectuar la reutilización en los correspondientes aparatos sanitarios, es decir, que se cumple con el volumen para suplir las necesidades básicas de reúso de 90 litros habitante/día. Asimismo, se logra disminuir en un porcentaje mensual el volumen convencional de suministro de servicio de agua potable en un 30% y el de alcantarillado en un 28%, una vez implementado el sistema de reutilización propuesto (figura 2).

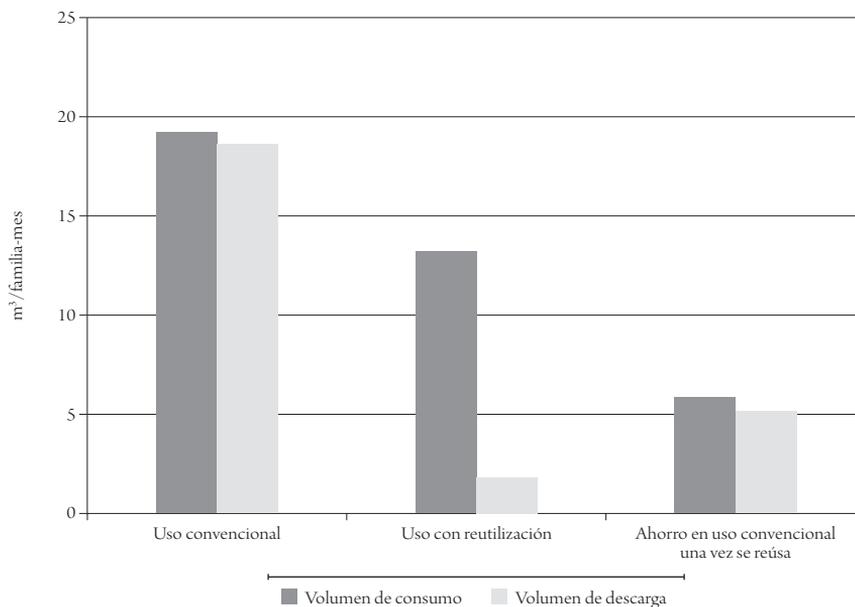


Figura 2. Comparativo de volúmenes de consumo y descarga

Fuente: elaboración propia.

Red hidrosanitaria y complementaria

Para el aprovechamiento del agua gris se contempló separar la red hidrosanitaria. La propuesta considera una red para conducir el efluente de aquellos aparatos donde se produce agua gris y entrega al tren de tratamiento, almacenamiento y posterior distribución a los puntos en los cuales se planea suministro. La segunda red recolecta y entrega al servicio de alcantarillado público.

El diseño hidrosanitario de agua gris no contempla cálculos o procedimientos diferentes a los normalmente establecidos hidráulicamente. A partir de esta

consideración, se planteó el método de *Hunter modificado*. Para el caso de la red de abastecimiento del agua gris, se efectuó el cálculo de presiones, tanto la presión mínima absoluta (P_o) suficiente para vencer todas las resistencias en el circuito o ruta crítica hasta el aparato más desfavorable como la presión máxima (P_f). Con base en las presiones calculadas y los requerimientos de altura dinámica total y potencia de diseño, se propone distribuir el efluente de agua gris tratada a partir de dos tipos de sistemas: *tanque hidroneumático* o *bombeo* hacia el tanque de distribución ubicado en la cubierta de cada edificación.

El diseño hidrosanitario para cada uno de los rangos de población en estudio no solo contempló la red de aguas grises, la convencional de agua potable y residual, la del sistema de tratamiento, sino además el diseño de tres elementos para el rendimiento y funcionamiento hidráulico esperado: a) tanque de almacenamiento, b) sistema de *by-pass* que actúa como una línea de respaldo para permitir que la operación continúe mientras se realizan labores de mantenimiento o de reparación en un momento determinado y c) la red que permite descargar al alcantarillado sanitario el volumen de exceso de agua gris (figura 3).

Tratamiento de aguas grises domésticas

A partir de las características fisicoquímicas y biológicas del agua gris y el grado de depuración requerido, se definen dos opciones de tratamiento que garantizan la calidad óptima para abastecer los aparatos sanitarios mencionados y cuya operación no exigen técnicas complejas, como se muestra en la tabla 4.

Tabla 4. Opciones de tren de tratamiento

OPCIÓN	TRATAMIENTO PRELIMINAR	TRATAMIENTO SECUNDARIO	TRATAMIENTO TERCIARIO
1	Trampa de grasas	Humedal subsuperficial de flujo horizontal	Desinfección
2	Trampa de grasas	Filtro de medio dual	Desinfección

Fuente: elaboración propia.

Las opciones de tratamiento (figuras 4 y 5) comprenden inicialmente una unidad de trampa de grasas que permite la separación de sólidos por diferencia de densidades. De ello se obtiene como resultado que las grasas sean retenidas en la

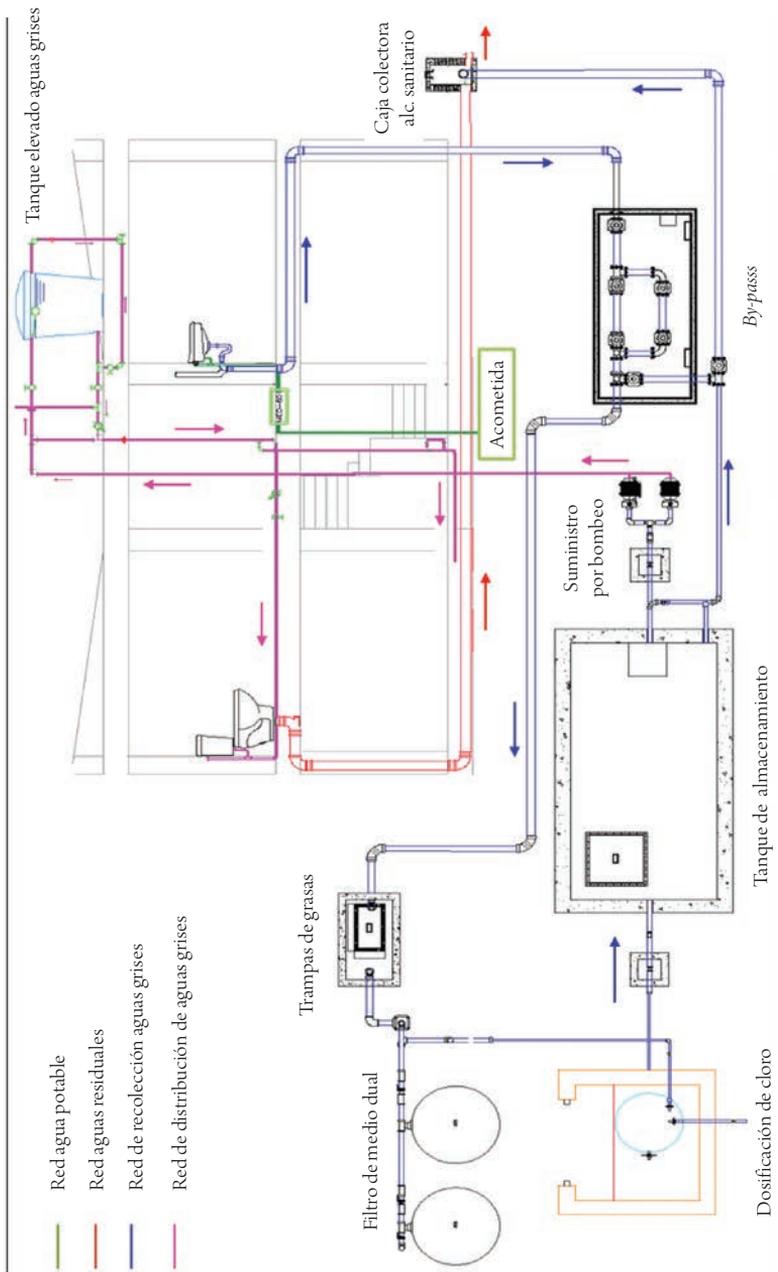


Figura 3. Diseño hidrosanitario

Fuente: elaboración propia.

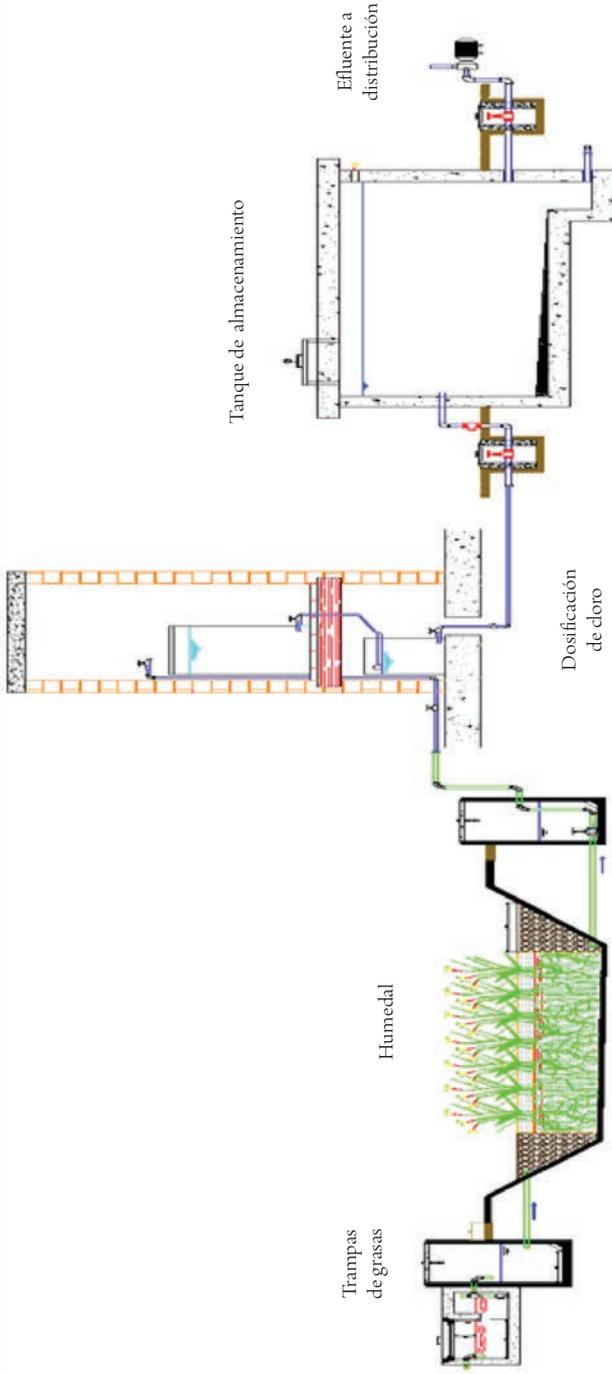


Figura 4. Opción 1 de tratamiento

Fuente: elaboración propia.

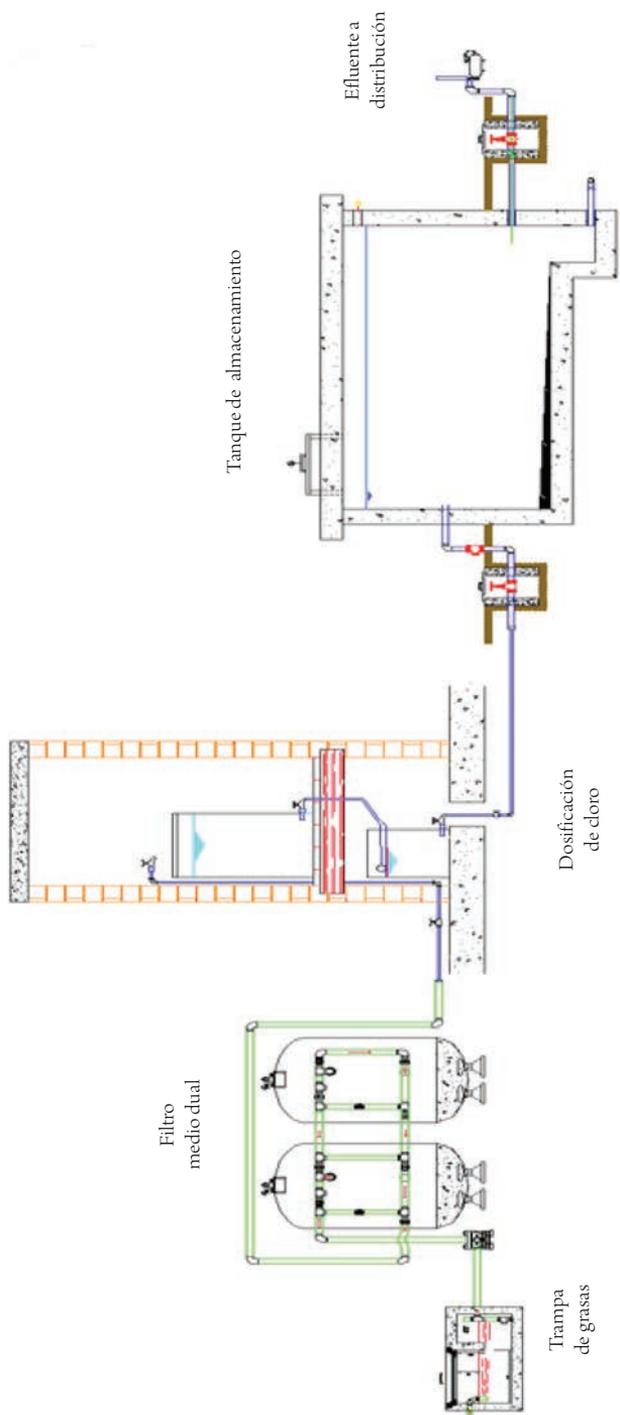


Figura 5. Opción 2 de tratamiento

Fuente: elaboración propia.

superficie libre, mientras que el efluente clarificado es descargado a la unidad de tratamiento secundario. La primera opción es un humedal subsuperficial de flujo horizontal que permite la remoción de contaminantes en tiempos de retención cortos y mantiene una buena respuesta a las variaciones de caudal y carga.

En la segunda opción, el tratamiento secundario se plantea con filtro de medio dual. La eliminación de partículas suspendidas y materia orgánica se efectúa cuando el agua pasa por los intersticios de las capas filtrantes. Se garantiza la ausencia de agentes patógenos en el agua gris, una vez en el tanque de almacenamiento el agua entra en contacto con productos químicos oxidantes; por ello, este mecanismo es comúnmente utilizado para estos casos. La solución de hipoclorito de sodio considera una concentración calculada para los sistemas de 2 mg/L.

Cabe aclarar que para el dimensionamiento de las unidades del tratamiento por utilizar en cada población se establecieron como parámetros de diseño el tiempo de retención, la carga hidráulica, la velocidad de flujo y caudal. Este último se calculó con base en la dotación de agua gris de 90 litros habitante/día, entre otros datos característicos de cada unidad.

En el mercado colombiano también existen algunos posibles esquemas de depuración prefabricados, que pueden ser viables para obtener un efluente de agua gris óptimo. Desde esta consideración fue contemplada una alternativa en el análisis de opciones de tratamiento. Como se presenta en la figura 5, el sistema contempla unidades de clarifloculación que permiten la desestabilización y aglomeración de partículas coloidales para su posterior remoción en los filtros de arena y carbón, proceso que finaliza con la desinfección en la cámara de contacto de cloro (figura 6).

Las limitaciones en disponibilidad del recurso agua y los altos costos asociados a las tarifas de prestación del servicio han promovido la implementación de sistemas de reúso de agua gris en otros países. En California, a partir de 1970 se dio inicio a la utilización de esquemas sencillos de reúso que consistían en una manguera conectada entre la ducha y la llave del jardín. Dada la rápida adopción de estas actividades, se establecieron directrices para el reúso en el Código de Plomería de California, avance que representó la implementación de modelos automatizados y autolimpiantes para el uso de agua gris en riego (Martínez, 2010).

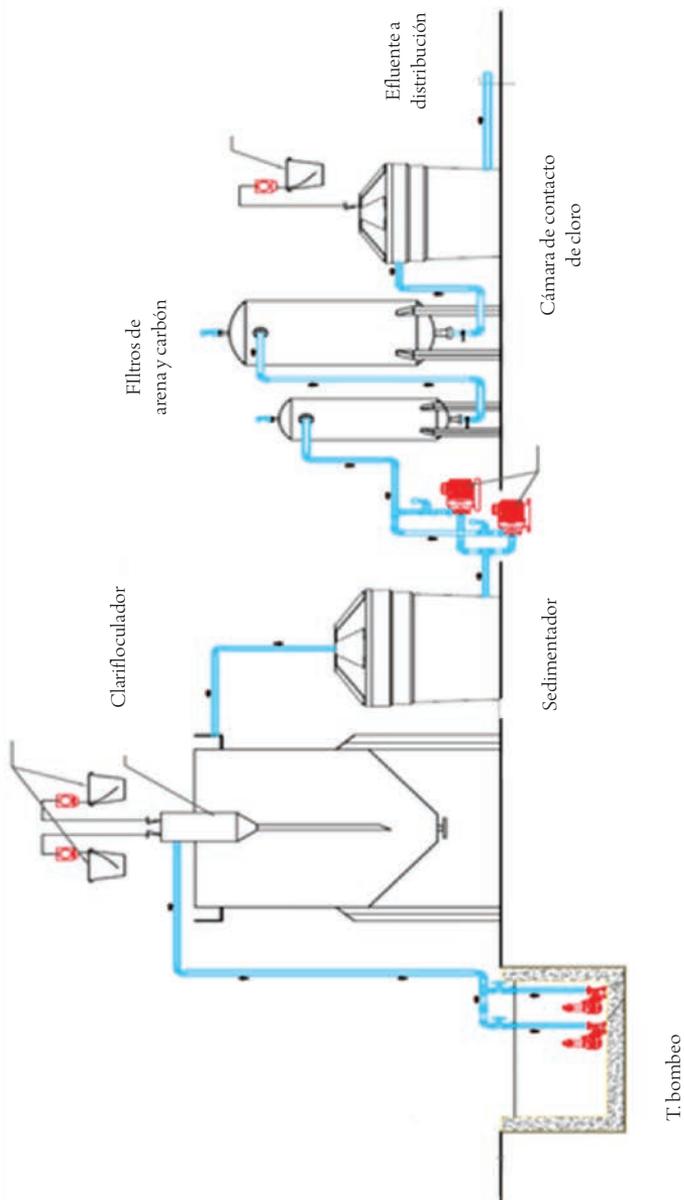


Figura 6. Esquema de alternativa de aprovechamiento comercial

Fuente: Baying SAS (s.f.).

En Montreal, Canadá, se han utilizado sistemas de reúso de agua gris para la descarga de los inodoros y para que los huertos produzcan diariamente verduras para la comida de las familias. Se producen así suficientes tomates, pimientos y albahaca para su enlatado como reservas de invierno. El agua recolectada pasa a través de un proceso simplificado de tratamiento antes de ser almacenada en un tanque subterráneo. Para simplificar el tratamiento y prevenir daños a las plantas, solo se utilizan jabones no tóxicos y biodegradables. El sistema es construido en materiales reciclados y los requerimientos energéticos son razonables, puesto que el proceso de tratamiento es alimentado por gravedad y solo se necesita de una pequeña cantidad de electricidad para bombear el agua hasta los pisos más altos de la vivienda (Finley, 2008).

En el sector comercio, empresas españolas como GreyWaterNet han desarrollado un sistema de tratamiento de aguas grises prefabricado de tipo compacto, cuyo diseño de control inteligente adapta los procesos de tratamiento al caudal de agua existente y con lo cual se optimizan los consumos de energía. Adicionalmente, cuenta con dos sistemas simultáneos de desinfección; los rayos ultravioleta y la cloración. Otras opciones presentadas en el mercado extranjero se centran en la combinación del proceso biológico aeróbico con la filtración física y desinfección, lo que es considerado como una solución más económica y factible para el reciclaje de aguas grises. En este último caso, los reactores biológico de membrana (MBR) constiuyen una solución muy atractiva en edificios residenciales urbanos (Li *et al.*, 2009).

También se evidencia la aplicación y utilidad de diseños simples de reúso de aguas grises, como es el caso de viviendas unifamiliares en Guatemala. Este tipo de esquemas tan solo consisten en un tratamiento con una unidad de trampa de grasas, para posteriormente suministrar el efluente en inodoros (Kestler, 2004).

Alternativas de aprovechamiento y reúso de agua gris

Establecidos las diferentes opciones de sistemas de tratamiento como de distribución del diseño hidrosanitario, se evaluaron económicamente las alternativas planteadas de diseño tipo de reutilización y aprovechamiento de agua gris en las edificaciones (tabla 5).

Tabla 5. Alternativas de aprovechamiento y reúso

ALTERNATIVA	TRATAMIENTO PRIMARIO	TRATAMIENTO SECUNDARIO	TRATAMIENTO TERCIARIO	DISTRIBUCIÓN
1	Trampa de grasas	Filtro de medio dual	Desinfección	Tanque hidroneumático
2	Trampa de grasas	Humedal subsuperficial	Desinfección	Tanque hidroneumático
3	Trampa de grasas	Filtro de medio dual	Desinfección	Bombeo con tanque elevado
4	Trampa de grasas	Humedal subsuperficial	Desinfección	Bombeo con tanque elevado
5	Coagulación, floculación	Sedimentación, filtración	Desinfección	Tanque hidroneumático
6	Coagulación, floculación	Sedimentación, filtración	Desinfección	Bombeo con tanque elevado

Fuente: elaboración propia.

Costos de alternativas de aprovechamiento

Los costos de las alternativas de reúso (tabla 6) comprenden el valor del sistema de tratamiento y se complementan con las cantidades de obra y análisis de precios unitarios (APU). Estos costos tienen en cuenta la construcción e instalación del diseño de red hidrosanitaria convencional, la red hidrosanitaria de aguas grises y el tanque de almacenamiento, según el diseño de edificación tipo para cada rango de población en estudio. En la tabla 6 se indica también el respectivo valor de administración, imprevistos y utilidades (AIU).

Tabla 6. Costos de la implementación de los sistemas propuestos

ALTERNATIVA DE TRATAMIENTO	400 HABITANTES (COP)	800 HABITANTES (COP)	1000 HABITANTES (COP)
1	353.858.813	676.666.201	786.539.672
2	353.809.341	678.622.331	788.261.366
3	357.233.332	682.963.250	793.731.193
4	357.183.860	684.919.380	795.757.002
5	386.714.979	697.092.514	830.800.111
6	390.089.498	703.389.562	837.991.632

Fuente: elaboración propia.

Costos de operación y mantenimiento

Los gastos asociados al funcionamiento y mantenimiento del sistema de agua gris están constituidos por los costos de energía para el suministro en los aparatos sanitarios, así como la dosificación de 2 kg/mes de hipoclorito de sodio, los insumos requeridos y el costo de un operario capacitado en las actividades periódicas de revisión y limpieza de las unidades de tratamiento y almacenamiento. Además, se consideran los costos en mantenimiento de equipos hidráulicos, eventuales reparaciones o problemas técnicos operativos a cargo de empresas calificadas que brinden el servicio y los costos de los ensayos trimestrales de calidad de agua. De acuerdo con lo mencionado, se estiman costos anuales equivalentes a un 2,5% de la inversión inicial.

Análisis de viabilidad de las alternativas

Para conocer la rentabilidad y factibilidad de inversión de cada una de las propuestas de alternativas de aprovechamiento que pueden implementarse en los prototipos de conjunto residencial, se realizó el respectivo análisis económico anual, a partir de la estimación del flujo de caja y de múltiples indicadores, como valor presente neto (VPN), tasa interna de retorno (TIR), relación beneficio costo (B/C), y además se identificó el periodo de recuperación de la inversión (*payback*).

El flujo de caja evaluado a valor futuro durante 25 años de vida útil del proyecto tomó como referencia los egresos definidos en la inversión inicial de construcción, los gastos de operación y mantenimiento anual y los ahorros obtenidos una vez en la factura se reduzca el costo del consumo de acueducto y alcantarillado. A partir del flujo de caja se estableció los VPN para cada alternativa (tabla 7).

Tabla 7. VPN por población de estudio

ALTER- NATIVA	400 HABITANTES		800 HABITANTES		1000 HABITANTES	
	ESTRATO 3 (COP)	ESTRATO 4 (COP)	ESTRATO 3 (COP)	ESTRATO 4 (COP)	ESTRATO 3 (COP)	ESTRATO 4 (COP)
1	40.616.770	206.271.500	195.381.568	526.691.028	324.294.191	738.431.016
2	45.277.645	206.320.972	202.648.245	524.734.898	322.572.496	736.709.321
3	37.242.251	202.896.981	189.084.519	520.393.979	317.102.670	731.239.494

ALTER-NATIVA	400 HABITANTES		800 HABITANTES		1000 HABITANTES	
	ESTRATO 3 (COP)	ESTRATO 4 (COP)	ESTRATO 3 (COP)	ESTRATO 4 (COP)	ESTRATO 3 (COP)	ESTRATO 4 (COP)
4	41.903.126	202.946.453	196.351.196	518.437.849	315.076.861	729.213.686
5	7.760.603	173.415.333	174.955.255	506.264.715	280.033.752	694.170.577
6	4.386.084	170.040.814	168.658.207	499.967.667	272.842.230	686.979.055

Fuente: elaboración propia.

En la tabla 8 se muestran las alternativas de aprovechamiento y reúso de agua gris de mayor utilidad y rentabilidad económica para cada una de las condiciones, conforme los resultados de los indicadores financieros.

Tabla 8. Alternativas para implementar en cada población según estrato socioeconómico

INDICADOR	POBLACIÓN DE ESTRATO 3 (HABITANTES)			POBLACIÓN DE ESTRATO 4 (HABITANTES)		
	400	800	1000	400	800	1000
Alternativa seleccionada	2	2	1	2	1	1
Costo de implementación	353.809.341	678.622.331	786.539.672	353.809.341	676.666.201	786.539.672
VPN (\$)	45.277.645	202.648.245	324.294.191	206.320.972	526.691.028	738.431.016
TIR (%)	14	16	18	21	24	26
B/C	2,6	5,2	6,44	3,47	6,94	8,68
Payback (años)	7	6	5	5	4	4

Fuente: elaboración propia.

El análisis económico de las alternativas evidencia la viabilidad de implementación y la confiabilidad con la cual puede contar el usuario para realizar su inversión. Se consideran indicadores VPN y B/ C son mayores a 1, la TIR es obtenida presenta porcentajes positivos de rendimientos futuros esperados. Adicionalmente, el *payback* es realmente corto comparado con los ahorros estimados durante la vida útil del proyecto. Es posible diferenciar también que es en el estrato 4 donde se aprecia la mayor rentabilidad y el menor *payback* frente al estrato 3.

Una vez implementado el sistema de reúso de agua gris, se estima disminuir el volumen convencional de consumo de agua potable en un 30% y de alcantarillado

en un 28%. Esto significa para cada usuario, según sea el estrato socioeconómico, un ahorro mensual en el pago de su factura que oscila entre de \$72.000 y \$97.000 (tabla 9). La inversión inicial, la operación y el mantenimiento de la alternativa de reúso de agua gris le cuesta al usuario durante el *payback* un monto mensual entre \$66.000 y \$95.000. Posterior a este periodo disminuye significativamente entre \$5900 y \$14.900 (tabla 9). Este gasto se compensa con el ahorro adquirido mensualmente en el pago de la factura.

Tabla 9. Ahorro económico y gasto asociado a reúso de agua gris

POBLACIÓN (HABITANTE)	AHORRO EN FACTURA DE LA EAB \$/USUARIO-MES	GASTOS REÚSO AGUA GRIS \$/USUARIO-MES DURANTE EL PAYBACK	GASTOS REÚSO AGUA GRIS \$/USUARIO-MES POSTERIOR AL PAYBACK
Estrato 3			
400	72.906	67.609	14.959
800	72.906	66.387	7479
1000	72.209	71.528	5983
Estrato 4			
400	97.256	88.669	14.959
800	97.256	95.587	7479
1000	97.256	87.914	5983

Fuente: elaboración propia.

A partir del desarrollo de la matriz de costos mensual que relaciona los gastos de operación y mantenimiento, se determinó el costo del metro cúbico de agua gris, para ser comparado con el precio del metro cúbico de acueducto y alcantarillado que factura la EAAB. Sin embargo, para demostrar esta diferencia es necesario considerar que en la factura se subsidia un 15% del consumo para el estrato 3, mientras que el estrato 4 muestra un precio sin subsidios.

Según la reglamentación colombiana, el subsidio consiste básicamente en un descuento en las tarifas, de manera que el usuario paga menos de lo que cuesta realmente el servicio. Los estratos 1, 2 y 3 son los directamente beneficiados del financiamiento proveniente de los usuarios de estratos 5 y 6, quienes poseen mayores recursos económicos. El estrato 4 paga exactamente el valor que la empresa define como costo de prestación del servicio.

Tabla 10. Costo por metros cúbicos de agua gris

ESTRATO	AGUA POTABLE	ALCANTARILLADO	AGUA GRIS		
	EAB (\$/M ³)	EAB (\$/M ³)	400 HABITANTES (\$/M ³)	800 HABITANTES (\$/M ³)	1000 HABITANTES (\$/M ³)
3	2134	1307	997	498	398
4	2511	1538			

Fuente: elaboración propia.

En la tabla 10 se observa que el valor del metro cúbico de agua gris frente al costo del metro cúbico de agua potable es menor en un 16% como en alcantarillado del 25%. Es evidentemente más económico para el usuario reutilizar el agua gris en actividades del hogar que pueden efectuarse sin requerir al suministro de agua potable.

Conclusiones

Los resultados del balance de agua gris indican que la oferta del agua por recircular supera el consumo demandado por las actividades de reutilización. En consecuencia, se asegura que no se presentarán limitaciones para el abastecimiento continuo.

Entre más alto sea el estrato socioeconómico del usuario, mayores serán los ahorros mensuales en el pago del consumo facturado de acueducto y alcantarillado. De esta manera, proyectar la implementación de un sistema de aprovechamiento y reúso de agua gris en estratos 5 y 6 beneficiarán al usuario en un ahorro monetario superior al estimado para el estrato 4. Una vez implementadas las alternativas de reúso de agua gris, la demanda de agua potable y alcantarillado por usuario se reduce mensualmente, lo cual, además de beneficiarlo económicamente, garantiza que la EAAB optimice la oferta de sus servicios.

En términos comparativos, las propuestas de alternativa de reúso de agua gris más competitivas, y que pueden ofrecer mayor interés en el mercado, sin desconocer la viabilidad económica de las demás, es la recomendada para el estrato 4, en edificaciones con un tamaño de población de 800 y 1000 habitantes. Independientemente del monto presupuestado para la inversión inicial, esta es recuperada en un periodo mínimo de cuatro años y representan una rentabilidad superior al 24% durante la vida útil del proyecto.

Las alternativas planteadas se evaluaron en el contexto de Bogotá como caso de estudio, sin descartar la factibilidad de incorporar estos esquemas de reutilización en otras ciudades del país, pues los diseños hidrosanitarios y de tratamiento pueden ajustarse fácilmente a las condiciones de cualquier proyecto nuevo de propiedad horizontal.

Referencias

- Baying S.A.S. (s. f.). *Propuesta y oferta comercial para el diseño de un sistema de tratamiento de reutilización de aguas grises*. Bogotá. Recuperado de www.bayingsas.com
- Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Bogotá (EAAB) (2011). Estructura tarifaria aplicable a los usuarios de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá. Resolución 1049 de 2011. Recuperado de http://www.acueducto.com.co/wpsv61/wps/html/resources/tarifas/Res1049_2011_TarBog.pdf
- Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Bogotá (EAB) (2014). Información para el control social 2013. Recuperado de http://www.acueducto.com.co/wpsv61/wps/html/resources/empresa/2013_CONTROL_SOCIAL_EABconAseo.pdf
- Finley, S. (2008). Reciclaje de aguas grises para la producción de alimentos en Montreal, Canadá. *Agricultura Urbana*, 20(1), 37.
- Garavito, S. P. y Miranda, L. E. (1999). *El reúso del agua en Colombia como alternativa para el control de la contaminación hídrica* (tesis de pregrado). Universidad de La Salle, Bogotá, Colombia.
- Greywaternet (s. f.). El tratamiento de aguas grises. Recuperado de <http://www.greywaternet.com/tratamiento-aguas-grises.html>
- Kestler, P.J. (2004). *Uso, reúso y reciclaje del agua residual en una vivienda* (tesis de pregrado). Universidad Rafael Landívar, Ciudad de Guatemala, Guatemala.
- Li, F., Wichmann, K. y Otterpohl, R. (2009). Review of the technological approaches for grey water treatment and reuses. *Science of the Total Environment*, 407(11), 3439-3449.
- Martínez, C. J. (s. f.). Gray water reuse in Florida. Universidad de Florida. Recuperado de <http://edis.ifas.ufl.edu/pdffiles/AE/AE45300.pdf>