

Evaluación de Sistemas de Reutilización de Aguas Grises. Caso de Estudio AquaSalvis

José E. Salazar Mayz¹, Henry A. Blanco S.², Elis Lobaton³
joseesm03@gmail.com¹, henryalbertor1@gmail.com², esmlobc@gmail.com³
Universidad Católica Andrés Bello, Caracas, Venezuela¹²³

Resumen

El prototipo AquaSalvis, desarrollado por la empresa Grupo IID6 C.A., es un Sistema Unifamiliar de Reutilización de Aguas Grises del Lavamanos para la Descarga de Inodoros, diseñado como una medida de ahorro de agua potable. El propósito de la investigación es evaluar el prototipo a través de un análisis de su funcionamiento, costos y percepción de los potenciales usuarios. El sistema operó durante 3 meses, en los cuales se realizaron mediciones de los volúmenes de agua y pruebas de calidad del agua gris cruda y tratada (agua recuperada) con el tratamiento simple del dispositivo (tamizado + desinfección). La evaluación demostró que la capacidad de almacenamiento de agua del prototipo (9,5 litros), permite la reutilización óptima del agua gris, y su ahorro, en función al consumo del inodoro, es de 7 a 60%. El agua recuperada presentó una turbiedad entre 31 – 163 UNT y una DBO superior a 10 mg/L, incumpliendo con las normativas de otros países. Sin embargo, la calidad microbiológica cumplía con una concentración de cloro residual ≥ 1 mg/L, que implica una dosificación de 76 mg de $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ por cada litro de agua gris. El costo del dispositivo, incluyendo su instalación, es de 100\$ y el periodo de retorno de la inversión, en el mejor de los casos, puede ser de 2 años. Los potenciales usuarios encuestados (179 personas) manifiestan una alta disposición en su adquisición (91,6%) y su mayor preocupación fue más hacia los cambios en la estética del baño (59,8%) que los posibles riesgos a la salud (51,4%). Este artículo es un resumen del Trabajo Especial de Grado titulado de la misma forma y presentado en Junio del 2019, en la Escuela de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Católica Andrés Bello.

Palabras clave: Aguas grises, Reutilización de aguas grises, Ahorro de agua en inodoros, Reutilización de aguas en viviendas, Aguas grises del lavamanos

Evaluation of Greywater Reuse Systems. Case Study AquaSalvis

Abstract

The prototype AquaSalvis, developed by the company “Grupo IID6 C.A.”, is a Washbasin Greywater Reuse Single System for flushing toilets, designed as a measure to save potable water. The purpose of the investigation is to evaluate the prototype through an analysis of its operation, costs and perception of potential users. The system operated for three months, in which water volume measurements and quality tests of raw and treated greywater with the simple treatment of the device (screening + disinfection) were made. The evaluation showed that the water storage capacity of the prototype (9,5 liters) allows the optimal greywater reuse, and its saving, regarding the toilet’s consumption, is 7 to 60%. The treated greywater presented turbidity between 31 – 163 NTU and BOD higher than 10 mg/L, not complying with the regulations of other countries. However, the microbiological quality accomplished with the concentration of residual chlorine ≥ 1 mg/L, implying a dosage of 76 mg of $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ for each greywater liter. The cost of the device, including its installation, is 100\$. In the best-case scenario, the investment return period can be two years. The surveyed potential users (179 persons) showed a high disposition in its acquisition (91,6%) and theirs greatest concern was more the change in the esthetic of the bathroom (59,8%) that the possible health risks (51,4%). This article is a summary of the thesis titled in the same way and present in June of 2019, in the School of Civil Engineering of the Faculty of Engineering of the Catholic University Andres Bello.

Keywords: Greywater, Greywater Reuse, Saving water in toilets, Water Reuse in Households, Washbasin Greywater

Avaliação de Sistemas de Reuso de Água Cinza. Estudo de Caso AquaSalvis

Resumo

O protótipo AquaSalvis, desenvolvido pela empresa Grupo IID6 C.A., é um Sistema Unifamiliar de Reaproveitamento de Água Cinza de Pia para Lavagem de Sanitários, concebido como medida de economia de água potável. O objetivo da pesquisa é avaliar o protótipo por meio de uma análise de seu funcionamento, custos e percepção de potenciais usuários. O sistema operou por 3 meses, nos quais foram realizadas medições de volumes de água e testes de qualidade de água bruta e tratada (água de reuso) com o tratamento simples do dispositivo (triagem + desinfecção). A avaliação mostrou que a capacidade de armazenamento de água do protótipo (9,5 litros), permite o reaproveitamento ideal da água cinza, e sua economia, dependendo do consumo do vaso sanitário, é de 7 a 60%. A água recuperada apresentou uma turbidez entre 31 – 163 UNT e uma DBO superior a 10 mg/L, descumprindo as regulamentações de outros países. No entanto, a qualidade microbiológica atendeu a uma concentração residual de cloro ≥ 1 mg/L, o que implica uma dosagem de 76 mg de $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ por litro de água cinza. O custo do dispositivo, incluindo sua instalação, é de US\$ 100 e o período de retorno, na melhor das hipóteses, pode ser de 2 anos. Os potenciais utentes inquiridos (179 pessoas) apresentam uma elevada vontade na sua aquisição (91,6%) e a sua maior preocupação foi mais para alterações na estética da casa de banho (59,8%) do que possíveis riscos para a saúde (51,4%). Este artigo é um resumo do Trabalho de Licenciatura Especial intitulado da mesma forma e apresentado em junho de 2019, na Escola de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia da Universidade Católica Andrés Bello.

Palavras-chave: Água cinza, Reutilização de água cinza, Economia de água em vasos sanitários, Reutilização de água em residências, Água cinza da pia

i. INTRODUCCIÓN

En la última década, la disponibilidad del agua ha disminuido considerablemente producto al cambio climático, al vertido sin apropiado tratamiento de las aguas residuales [1] y a la presión sobre los recursos hídricos por el incremento de la población mundial, por lo que el agua, en un futuro, será un recurso escaso, de costo elevado y difícil de obtener [2].

Debido a esto, el modelo tradicional de gestión del agua ya no es sostenible [2], conllevando al desarrollo de técnicas y métodos para la optimización de su manejo, entre ellas el reúso o reutilización, que permite el uso de las aguas residuales como una nueva fuente de agua [1].

A través de ella, es posible reducir el consumo de agua potable en diferentes aplicaciones, tales como la descarga de inodoros (excusados o pocetas), actividad que puede representar

hasta un 40% del consumo de agua de una vivienda según la OMS (2003) [3].

Las aguas residuales o servidas pueden ser separadas y procesadas según su fuente, para la recuperación de agua, energía y nutrientes [4], ya que presentan diferencias en términos de volumen y composición. Las aguas relacionadas a los desechos orgánicos (excretas y orina) son denominadas como aguas negras mientras que las aguas relacionadas con la higiene, limpieza e inclusive la preparación de alimentos como aguas grises. Los sistemas de reutilización pueden ser de aguas negras, grises o ambas, pero ya sea por separado o combinados, sus exigencias varían según el tipo de agua residual y su disposición final.

En el reúso doméstico de aguas grises, se han creado múltiples sistemas, en forma de prototipos, programas pilotos y productos comerciales. Sin embargo, muchos de ellos no

presentan similitud en operación, diseño y escala, siendo algunos diseñados exclusivamente para una localidad. No obstante, todos los sistemas deben cumplir los requerimientos normativos, los cuales difieren de un país a otro [5].

Además, deberían cumplir con cuatro criterios: “seguridad relacionada con la higiene, estética, tolerancia medioambiental y viabilidad técnica y económica” [6], para así poder competir, sustituir o garantizar las mismas condiciones del esquema tradicional de suministro de agua potable para estos fines.

En Venezuela, no existe una normativa nacional para el reúso de aguas ni mucho menos una referente al uso de aguas grises, mientras que otros países latinoamericanos como Colombia, Perú, Honduras y México las poseen y las promueven [7]. Sin una norma específica, las obras o proyectos de este tipo pueden estar sujetas a normas internacionales e inclusive el criterio del propio ingeniero.

El tratamiento de las aguas grises varía de acuerdo a su procedencia y la calidad estará acondicionada al nuevo uso que se le proporcionará [8], en el cual puede o no existir un contacto directo con el ser humano. Producto a esto, las aplicaciones se pueden categorizar en reúso restringido y no restringido, es decir, cuando el contacto con los usuarios es controlado o no, respectivamente [9]. A una baja o nula posibilidad de contacto, las exigencias de calidad serán menores porque el riesgo de exposición a un agente patógeno también serán bajo.

Con base en esta situación, la empresa Grupo IID6 C.A., dedicada a la investigación, innovación y desarrollo de proyectos el área de reciclaje, desarrolló un prototipo de sistema de reutilización de aguas grises, denominado AquaSalvis, que recolecta las aguas grises del lavamanos para su uso en la recarga de los tanques de los inodoros. Aun cuando el sistema fue sometido a pruebas preliminares, fue

necesaria una evaluación completa del prototipo, que consistió en la verificación de su funcionamiento hidráulico y capacidad de ahorro, calidad del agua resultante y análisis de costos y de los aspectos socio-culturales de sus potenciales usuarios. Con el propósito de comprender su potencial como sistema de reutilización y, si fuese el caso, proponer modificaciones.

ii. OBJETIVOS

A. Objetivo General

Evaluar el prototipo de sistema de reutilización de aguas grises lavamanos – inodoro AquaSalvis del Grupo IID6 C.A.

B. Objetivos específicos

- Verificar el funcionamiento y operación continua del prototipo AquaSalvis.
- Analizar los costos asociados al prototipo AquaSalvis.
- Analizar la percepción de los posibles usuarios en términos de aceptación y adquisición del producto AquaSalvis.

iii. AGUAS GRISES

Las aguas grises son las aguas residuales producto de actividades de aseo personal, higiene y preparación de alimentos, es decir, aquellas generadas por el uso de bañeras, duchas, fregaderos de cocina y baño, lavadoras de ropa, tinas de lavanderías y lavaplatos, excluyendo las aguas empleadas para la deposición de orina y excretas (inodoros y urinarios). Sin embargo, su definición varía según los autores, siendo su diferencia fundamental la inclusión o no de las aguas del lavaplatos y vajillas [10].

Mientras algunos consideran el agua residual del lavaplatos como aguas negras [11], otros autores sub-clasifican las aguas grises en aguas grises oscuras (preparación de

alimentos), y al resto la clasifican como aguas grises claras (aseo e higiene personal). En promedio, las aguas grises claras corresponde entre el 70-85% del total de aguas grises [12].

Inclusive, ciertos autores han llegado a considerar las aguas de lavandería como aguas grises oscuras [5]. Sin embargo, independiente de las clasificaciones, el origen del agua gris establece una variación en sus constituyentes, especialmente en términos de sólidos suspendidos y microorganismos.

iv. GENERACIÓN DE AGUAS GRISES

La producción de aguas grises está influenciada por múltiples factores que incluyen el destino de la edificación [13]. En las viviendas, se estima una generación de 50 – 100 L/persona-d [14], que depende de las actividades diarias y cultura de sus habitantes, mientras que la producción por fuente es variable y dispersa según su uso, época del año y cantidad de residentes [15].

Las aguas grises pueden representar entre el 50% al 80% del consumo total del agua [15] y el 60% al 70% del total de agua residual producida [7]. En la Tabla 1, se presenta el consumo de agua por actividad, que como se muestra es muy variable entre sí.

Tabla I. Distribución porcentual del consumo de agua potable en viviendas

Actividad	Caracas	Mérida	OMS [3]	Otros países* [16]
	Venezuela [3]			
	275*	250*		
Descarga de inodoros	20%	36%	40%	28%
Ducha/Bañera	42%	31%	20%	28%
Lavado de ropa	7%	14%	24%	14%
Uso del lavamanos	12%	-	4%	6%
Comida y bebida	7%	4%	-	2%
Cocina	10%	7%	8%	15%
Otros usos	2%	8%	4%	7%

Nota: * = Promedio de estudios en China, Inglaterra, Japón, Alemania e Israel, + = Consumo de agua en litros/persona/día

Al dividir el consumo por zonas de la vivienda (cocina, cuarto de baño y lavandería), el baño presenta los mayores consumos de agua. En la Tabla 2, se presenta el consumo de agua potable en el cuarto de baño por pieza sanitaria.

Tabla II. Consumo de agua potable en baños de viviendas en litros/persona/día

Fuente de agua	1974 [12]	1998 [12]	1999 [12]		2008 [17]	2010 [3]	2015 [13]
	USA	UK	DK	NL	NSW, AU	VE	ES
LAV	8	25,5	-	5,4	4	33	10
Ducha	32	34,4	45	59,7	66	116	65
WC	75	61,2	40	30,5	41	55	60
Total	115	121	85	96	111	204	135

Nota: UK = Reino Unido, DK = Dinamarca, NL = Países Bajos, USA = Estados Unidos, NSW = Nueva Gales del Sur, AU = Australia, VE = Venezuela, ES = España, LAV = Lavamanos, WC = Inodoro

v. CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS GRISES

En la Tabla 3, se presentan intervalos de valores de diferentes parámetros de las aguas grises de múltiples procedencias (combinadas).

Se aprecia un intervalo muy amplio, por la cantidad y diversidad de fuentes consideradas, además de la incorporación o no de las aguas residuales del fregadero de la cocina [10] [18].

A. Caracterización Física

A menudo, la temperatura de las aguas grises es más alta que la del suministro de agua municipal, lo cual se atribuye al agua caliente para la higiene personal y/o cocina [19].

En cuanto al material sólido, algunos ejemplos son los restos de comida de la cocina y del suelo, pelo y fibras de las aguas de la lavandería; siendo estas partículas y las coloidales las causantes de la turbiedad del agua [19]. Las mayores concentraciones de sólidos se encuentran típicamente en las aguas grises de la cocina y el lavadero [15].

Tabla III. Intervalo de concentraciones de parámetros físicos, químicos y microbiológicos en aguas grises combinadas

Parámetro o Constituyente	Unidad	Intervalo
Físicos		
Temperatura	°C	21,6 – 28,2
Conductividad Específica	µS/cm	330 – 1480
SST	mg/L	20 – 1500
SDT	mg/L	420 – 1700
Turbiedad	UNT	20 – 200
Químicos		
Alcalinidad	mg/L CaCO ₃	149 – 382
DBO ₅	mg/L	26 – 550
DQO	mg/L	77 – 1135
Fósforo (P)	mg/L	0,28 – 27,3
Nitrógeno Total	mg/L	1,7 – 50
Nitrógeno Kjeldahl	mg/L	0,6 – 50
Nitrato (NO ₃ ⁻)	mg/L	0 – 11,5
Aceites y grasas	mg/L	7 – 230
pH		5 – 8,7
Microbiológicos		
Coliformes Fecales	UFC/100 ml	10 - 10 ⁷
Coliformes Totales	UFC/100 ml	10 ² - 8,03x10 ⁷
Escherichia coli	UFC/100 ml	< 1x10 ² – 1x10 ⁶

Nota: Estudios recopilados de [7] [15] [18].

SST = Sólidos Suspendidos Totales, SDT = Sólidos Disueltos Totales, DBO = Demanda Bioquímica de Oxígeno, DQO = Demanda Química de Oxígeno, UNT = Unidad Nefelométrica de Turbiedad, UFC = Unidades Formadoras de Colonia.

B. Caracterización Química

El agua gris es típicamente básica, debido al uso de jabones y detergentes, los cuales también contribuyen al contenido de sólidos disueltos y cuya concentración depende de la marca del detergente e inclusive del tipo de lavadora [20]. Este material disuelto inorgánico, contribuye a la conductividad específica, que mide indirectamente los iones disueltos y suele ser un poco superior.

Las concentraciones de materia orgánica en términos de DBO y DQO en aguas grises, se relacionan en gran medida con la cantidad de agua y los productos utilizados en el hogar

(detergentes, jabones, aceites y grasas). Cuando el consumo de agua es bajo, la DBO y DQO son típicamente altas [19].

Una diferencia significativa entre las aguas grises y negras radica en la tasa de descomposición, en donde la DBO de la gris alcanza aproximadamente un 90% de descomposición, mientras la negra solamente un 40% [20]. Además, ante altos niveles de DBO, el oxígeno se consume rápidamente, resultando en el crecimiento de bacterias anaeróbicas, que generan y liberan en el proceso H₂S, un gas mal oliente. Debido a la presencia de estos olores, no se recomienda un almacenamiento durante más de 24 horas [20].

Normalmente, las aguas grises contienen bajos niveles de nutrientes en comparación con las aguas residuales del inodoro [19]. Aproximadamente, las aguas grises presentan el 10% del nitrógeno, 21% del potasio y niveles variables del fósforo del total de aguas residuales domésticas [19] [7].

Otros compuestos o sustancias que pueden contener las aguas grises son: los surfactantes (provenientes de los productos de limpieza del hogar), metales pesados, compuestos orgánicos xenobióticos (derivados de los productos químicos utilizados en detergentes, jabones y perfumes para el hogar) y grasas y aceites [19] [21].

C. Caracterización Microbiológica

Las aguas grises pueden contener patógenos parasitarios virales, bacterianos, protozoarios y/o intestinales. En las aguas grises claras, la contaminación de las aguas con patógenos de origen fecal puede ocurrir por actividades como el lavado de manos, la higiene corporal en la ducha, lavado de bebés después de la defecación y/o lavado de pañales. Mientras que en las aguas grises oscuras, estos patógenos pueden originarse tanto de las heces, como de alimentos contaminados, que pueden resultar por el lavado de verduras y carne cruda [6] [19].

Los niveles de coliformes fecales y E. coli pueden aumentar significativamente en hogares con niños, con animales y aquellos que usan tanques de almacenamiento [18].

Los virus entéricos, conocido por ser el grupo más crítico de patógenos, pueden causar enfermedades incluso en dosis bajas y no pueden detectarse mediante ensayos microbiológicos de rutina. Los compuestos orgánicos favorecen el crecimiento de microorganismos que se encuentran típicamente en aguas grises oscuras [19].

vi. CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS GRISES SEGÚN SU ORIGEN

Cuando se evalúa independientemente el agua gris generada por pieza sanitaria, sus características cambian notablemente, tal como se muestra en la Tabla 4. Debido a esto, la caracterización de sus aguas es diferente a la que podría existir en aguas grises combinadas (múltiples fuentes), y, por lo tanto, llevando a decisiones que definirán el tipo de tratamiento necesario para su reúso.

Tabla IV. Caracterización Física, Química y Microbiológica de las Aguas Grises según su Origen

Parámetro	Intervalo			
	Lavavajillas/ Lavaplatos	Ducha/ Tina	Lavamanos	Lavadora
CE (µS/cm)	-	82 - 250	-	190 - 2500
SST (mg/L)	134 - 1300	48 - 470	36 - 153	70 - 665
Turbiedad (UNT)	111 - 168	20 - 539	102 - 164	14 - 494
pH	6,3 - 7,7	5 - 8,1	7,3 - 8,1	7,5 - 10
DBO5 (mg/L)	23 - 73	60 - 424	33 - 252	48 - 462
DQO (mg/L)	26 - 1600	72 - 695	95 - 587	76 - 1339
CF (UFC/100ml)	10 ⁶ - 10 ⁷	0 - 10 ³ (10 ^{6*})	0 - 10 ³	10 ¹ - 10 ⁴ (10 ^{7*})

Nota: Basado en los estudios de [5], [7], [18], [20], [22], [23] y [24]
 CE = Conductividad Específica, SST = Solidos Suspendidos Totales, DBO = Demanda Bioquímica de Oxígeno, DQO = Demanda Química de Oxígeno, CF = Coliformes Fecales, UNT = Unidad Nefelométrica de Turbiedad, UFC = Unidades Formadoras de Colonia, * = Valor atípico

vii. TRATAMIENTO DE AGUAS GRISES PARA LA REUTILIZACIÓN

El tratamiento de aguas grises busca remover las sustancias que puedan ser dañinas para las plantas, la salud, el ambiente en general y el sistema de agua gris [25]. El tratamiento necesario estará sujeto a la calidad del uso del agua, que se puede dividir en aplicaciones potables y no potables. En las viviendas, se estima que 14-16% del agua está destinada para el consumo humano directo y usos alimenticios (agua potable), el 32% para la higiene corporal y lavado de vajillas y el 52-54% para usos que no implique contacto potencial con el ser humano [13].

Los tratamientos de agua gris se pueden clasificar en cinco categorías: simple (tamizado y desinfección), físico (filtro de arena, adsorción y membrana), biológico (filtro biológico aireado, contacto biológico rotativo y biorreactor de membrana), extenso (humedales) y químico (fotocatálisis, electro-coagulación y coagulación-floculación). La mayoría de los sistemas operan con una etapa cribado o desbaste y/o sedimentación inicial y una etapa de desinfección final (rayos UV, cloración, etc.) [26].

Los sistemas de tratamiento simple constan de dos etapas: filtración con malla gruesa (tipo desbaste o tamizado) o sedimentación para la remoción de sólidos grandes, seguido de desinfección. El proceso emplea un tiempo de retención corto, por lo que las aguas grises permanecen inalteradas y con un mínimo tratamiento. Sin embargo, el tratamiento presentan poca o ninguna remoción de constituyentes químicos y altos niveles de turbiedad, pudiendo además presentar fallas en el proceso de desinfección [26] [27].

Los tratamientos físicos también presentan limitaciones, aunque las membranas, dependiendo del tipo, presentan una mejor remoción de sólidos disueltos y suspendidos. Por otra parte, los biológicos y extensos, han

demostrado un buen tratamiento general de las aguas grises, especialmente en la remoción de constituyentes orgánicos. Sin embargo, se ha encontrado una mayor efectividad al combinar diferentes tipos de tratamiento [26]. Evidentemente, un tratamiento más intenso implica un sistema de mayores dimensiones.

viii. SISTEMAS DE REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES

Recientemente, la aplicación más comúnmente descrita y prometedor para la reutilización de aguas grises es la descarga de inodoros y urinarios, que puede reducir en un 10-30% la demanda de agua [16].

Los sistemas de agua gris se pueden clasificar según el número de fuentes de agua en locales o individuales (una sola fuente) y centralizados (múltiples fuentes) o de acuerdo al número de viviendas que suministra, es decir, unifamiliares (restringida a una vivienda unifamiliar privada) y colectivos (múltiples viviendas u hogares) [14].

Aunque el sistema puede incluir o no un sistema de tratamiento, dependiendo de su aplicación [28], todas las aguas recuperadas (agua gris tratada) usadas para la descarga de inodoros y urinarios deben ser desinfectadas [8] [29].

Los métodos de reutilización pueden enmarcar tratamientos de bajo costo, como los descritos en los sistemas de tratamiento simple, por lo que la elección del sistema estará influenciada por una serie de factores que incluyen: la disposición de los propietarios para operar y mantener la instalación, las fuentes de agua gris a reusar y el propósito del agua recuperada [8].

Sin embargo, el reúso de aguas grises es una práctica relativamente nueva, existiendo pocos sistemas que estén disponibles comercialmente y aún menos que se hayan probado a gran escala durante largos periodos de tiempo [16].

ix. CALIDAD DEL AGUA PARA LA REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES EN DESCARGAS DE INODOROS

En las descargas en inodoros o urinarios, la exposición se espera que sea baja, pero los posibles efectos asociados a la salud son lo suficientemente graves como para justificar un enfoque precautorio [29]. En las tablas 5 a la 8, se presentan los límites de algunos países.

Tal como se observa, la mayoría de los países y regiones controlan el valor de pH (corrosión de las tuberías y otros equipos), la turbiedad y olor (aceptación) y el cloro residual (restringe el crecimiento bacteriano) [8] [16].

Existen otros parámetros, pero depende de la normativa que aplique, como por ejemplo: el color [38], aceites y grasas [32], sólidos totales disueltos, surfactantes aniónicos, NH₄-N [30], e inclusive otros indicadores microbiológicos como: huevos de helmitos [7] [32], Legionella pneumophila [28], entre otros.

Tabla V. Parámetros y límites físico-químicos de las aguas recuperadas para el reúso urbano no restringido

País	Turbiedad (UNT)	SST (mg/L)	DBO (mg/L)	pH	Cloro residual (mg/L)
Alemania [12]	1 – 2	-	≤ 20	6,0 – 9,0	-
China [30]	≤ 5	-	≤ 10	6,0 – 9,0	≥ 1 después 30min ≥ 0,2 en uso
Costa Rica [31]	-	-	-	-	-
EEUU [9]	≤ 2	-	≤ 10	6,0 – 9,0	≥ 1
México [32]	-	≤ 30	≤ 30	-	-

Nota. UNT = Unidades Nefelométricas de Turbiedad, SST = Sólidos Suspendidos Totales, DBO = Demanda Bioquímica de Oxígeno, min = Minutos

Tabla VI. Parámetros y límites microbiológicos de las aguas recuperadas para el reúso urbano no restringido

País	CT (org/ml)	CF (org/ml)	E. coli (org/ml)
Alemania [12]	≤ 100	10 – 500	-
China [30]	≤ 3	-	-
Costa Rica [31]	-	≤ 1000	-
EEUU [9]	-	ND	-
México [32]	-	≤ 1000	-

Nota: org = organismos, ND = No Detectable, CT = Coliformes Totales, CF = Coliformes Fecales, E. coli = *Escherichia coli*

Tabla VII. Parámetros y límites físico-químicos de las aguas recuperadas para la descarga de inodoros

País	Turbiedad (UNT)	SST (mg/L)	DBO (mg/L)	pH	Cloro residual (mg/L)
Australia Occidental+ [33]	< 2 (5 máx)	< 10	< 10	6,5 – 8,5	0,2 – 2,0
Brasil [34]	< 10	-	-	-	-
Canadá [29]	≤ 2 (5 máx)	≤ 10 (20 máx)	≤ 10 (20 máx)	-	≥ 0,5
Chile^ [7]	≤ 5	≤ 10	≤ 10	6 – 9	1,0 – 2,0
Colombia* [35]	-	-	-	6 – 9	-
España [36]	< 2	-	-	7 – 8	0,5 – 2
Japón [37]	2	-	-	5,8 – 8,6	≥ 0,1 libre ó 0,4 comb
Jordania [8]	-	≤ 10	≤ 10	-	-
Reino Unido [28]	< 10	-	-	5 – 9,5	< 2
Singapur [38]	< 2	-	< 5	6 – 9	0,5 – 2,0

Nota. * = Valido para el área industrial, ^ = Propuesta de norma, + = Valido para sistemas comunitarios, UNT = Unidades Nefelométricas de Turbiedad, SST = Sólidos Suspendidos Totales, DBO = Demanda Bioquímica de Oxígeno, Comb. = Combinado, Máx = Máximo

Tabla VIII. Parámetros y límites microbiológicos de las aguas recuperadas para la descarga de inodoros

País	CT (org/ml)	CF (org/ml)	E. coli (org/ml)
Australia Occidental+ [33]	-	-	< 1
Brasil [34]	-	< 500	-
Canadá [29]	-	ND (≤ 200)	ND (≤ 200)
Chile^ [7]	-	≤ 10	≤ 1
Colombia* [35]	-	≤ 10000	-
España [36]	-	-	ND
Japón [37]	-	-	ND
Jordania [8]	-	≤ 10	-
Reino Unido [28]	≤ 1000	-	≤ 250
Singapur [38]	< 10	-	ND

Nota: * = Valido para el área industrial, ^ = Propuesta de norma, + = Valido para sistemas comunitarios, org = organismos, ND = No Detectable, CT = Coliformes Totales, CF = Coliformes Fecales, E. coli = *Escherichia coli*

X. LOS USUARIOS Y LA REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES PARA DESCARGAS DE INODOROS

La implementación de los sistemas de reutilización de aguas grises se ve influenciada por la opinión pública, la cual varía de acuerdo al uso del agua recuperada. Sin embargo, estudios confirman que existe un mayor grado de aceptación especialmente para la descarga de inodoros, lo cual atribuyen a la percepción de los usuarios de un menor riesgo de contacto [16] [28] [39] [40].

A pesar de su alta aceptación, se han expuesto razones en contra de la reutilización de aguas grises en los inodoros, tales como aguas turbias y/o espumosas, olores desagradables, corrosión de tuberías y riesgos potenciales para la salud

[16] [39]. Aun así, un estudio demostró que la percepción de los usuarios no cambió en gran medida antes y después de la implementación de un sistema piloto en un edificio académico y una residencia de la Universidad de Johannesburgo en Sur África [39].

Otros estudios confirman que los usuarios prefieren reusar sus propias aguas grises en lugar de las aguas de otras personas, es decir, rechazan la implementación de sistemas comunitarios y fomentan las unifamiliares. Sin embargo, también existen aquellos que optan por la implementación de esquemas más grandes donde la fuente de agua es anónima y desconocen a las personas involucradas [28].

xi. COSTOS DE LOS SISTEMAS PARA REUTILIZACIÓN DE LAS AGUAS GRISES

A menudo, es difícil obtener una contabilidad real de los sistemas de reutilización de aguas grises, por lo que se recomienda que cualquier proyecto de reúso se evalúe individualmente. Entre algunos de los costos asociados se encuentran los relacionados con el sistema de tratamiento, almacenamiento y plomería, operación y mantenimiento (electricidad, reparación, consumibles y monitoreo) y tarifas por permisos e inspecciones [29].

La variabilidad de los costos se debe a la complejidad y capacidad del sistema. En la Tabla 9, se ejemplifica los costos de los sistemas según diferentes referencias.

Los tratamientos de los sistemas de reutilización de agua gris son menos costosos y requieren de menos energía que los tratamientos estándar de agua residual, debido a su baja tasa de carga de sólidos, carga de DBO y niveles de microorganismos [22].

Los sistemas simples han sido comercializados y promovidos por su uso sencillo y bajos costos operacionales, aunque han existidos casos donde no son capaces de cubrir los costos operacionales y de mantenimiento [26].

Tabla IX. Costos de los Sistemas de Reutilización de Aguas Grises según diferentes referencias

Tipo de Sistema	Referencia	Costo
SRAG locales sin instalación profesional	Cuidad de los Ángeles (1992) [18]	400 \$
SRAG centralizados de todas las fuentes de agua gris y automatizados		5000 \$
Adaptación de SRAG en Viviendas Existentes (sin contar el sistema de riego)	Water CASA [18]	135 - 1250\$
Instalación de SRAG en Construcciones Nuevas		50% de adaptación
SRAG con Sistemas de Tratamiento		5000\$ o más
SRAG para la Descarga de Inodoros a Nivel Comercial	Profile Smart de Caroma [41]	640\$ (sin tratamiento)
	Aquaserve 300 de Roth [42]	9235 € (MBR)

Nota: SRAG = Sistemas de Reutilización de Aguas Grises, MBR = Reactor Biológicos de Membrana

La rentabilidad o el atractivo de estos sistemas de reúso están asociados a las tarifas del agua potable; razón por la cual en Venezuela puede ser una limitación para su implantación. De acuerdo a Transparencia Venezuela, el costo medio de la tarifa de agua potable venezolana es de 0,000036 dólares/m³ [43].

En la Tabla 10, se comparan los costos del agua recuperada y el agua potable en diferentes localidades.

Tabla X. Comparación de los costos del agua recuperada y potable en diferentes localidades

Localidad	Costo del agua recuperada	Costo del agua potable
Fukuoka, Japón [44]	2,0 \$/m ³ (producción)	1,9 \$/m ³ (producción)
	3,0 \$/m ³ (precio al consumidor)	3,7 \$/m ³ (precio al consumidor)
Rouse Hill, Sydney, Australia [45]	0,2 AU\$/m ³ (inicial)	0,67 AU\$/m ³ (inicial)
	1,29 AU\$/m ³ (2009)	1,61 AU\$/m ³ (2009)
Pimpama-Goomera, Gold Coast, Australia [45]	1,34 AU\$/m ³	2,23 AU\$/m ³
México [46]	1,5 a 5,0 \$/m ³	4,0 a 14,0 \$/m ³

Nota: AU\$ = Dólar australiano, \$ = Dólar americano

En una encuesta de la Universidad de Flinders, Australia, se determinó la voluntad de los encuestados de pagar por el uso de agua recuperada planteando dos escenarios: pagar el doble de la tarifa para obtener agua adicional de nuevos reservorios o pagar el mismo precio usando agua recuperada o agua pluvial. El 79,1% de los encuestados estaba dispuesto al uso de fuentes alternativas de agua [40].

Otros costos, como la electricidad, dependerán del consumo eléctrico del sistema de reutilización y de las tarifas eléctricas que son aplicadas en la región, según el sector (residencial, industrial o comercial) y el consumo mensual de la zona. En Venezuela, la tarifa eléctrica tiene un costo promedio de 3,1 centavos de dólar/kw*h (2013) según datos del Estado [47], aunque, en el 2002, la mayor tarifa residencial reportada fue de 8 centavos de dólar/kw*h aproximadamente [48].

Los sistemas de aguas grises tienen largos periodos de recuperación de la inversión, lo cual varía de acuerdo a la demanda de agua no potable y los cargos locales de agua. El retorno de inversión puede ser más corto si los sistemas son menos costosos y aumentan los cargos por agua potable. En realidad, los periodos de recuperación pueden ser más largos que la vida operativa del dispositivo [28].

xii. PROTOTIPO AQUASALVIS

Es un Sistema Unifamiliar de Reutilización de Aguas Grises del Lavamanos, desarrollado por la empresa Grupo IID6 C.A., rif. J-40928006-3, con la capacidad de captar, acondicionar y bombear agua recuperada al tanque de los inodoros, creada con el fin de generar un ahorro entre el 40 y 100% del agua potable usada en inodoros residenciales o industriales (Figura 1).

El dispositivo consiste en un tanque de almacenamiento de corta retención (menor de 24 horas), que tiene integrado: una bomba sumergida para el bombeo de agua recuperada al tanque del inodoro, una tubería de desborde

para conducir el exceso de agua captada a la red cloacal y una estructura de tratamiento para el acondicionamiento del agua gris.

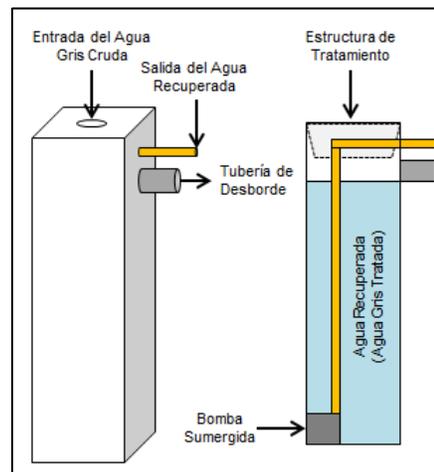


Figura 1. Prototipo AquaSalvis

Mientras el inodoro y el lavamanos permanece conectado a la red de agua potable de la edificación, la tubería de desagüe del lavamanos es conectada al prototipo (manteniendo el sifón), la tubería de rebose a la red cloacal del sitio y tubería de salida del agua recuperada al tanque del inodoro.

Bajo este esquema, el prototipo capta el agua gris del lavamanos y el suministro de agua del inodoro (agua gris + potable) se efectúa según lo descrito en la Figura 2 (Sistema Dual).

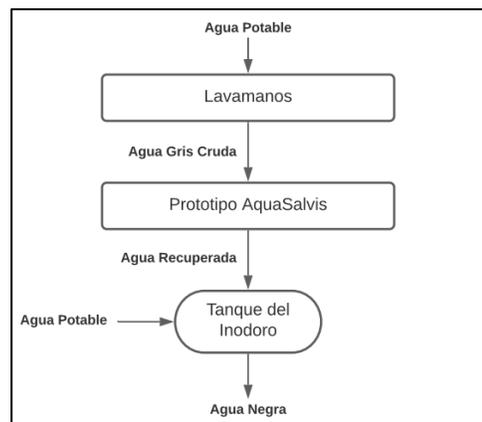


Figura 2. Suministro de agua del inodoro con el prototipo AquaSalvis

Fuente: Elaboración propia

La forma de suministro de agua es posible gracias a un sensor dentro del inodoro, que detecta el descenso de nivel de agua dentro del tanque de dicha pieza. Cuando se descarga el inodoro, el sensor activa la bomba y el agua recuperada llena simultáneamente con el agua potable de la edificación la cisterna del inodoro.

El agua gris captada es sometida a un sistema de tratamiento simple: tamizado o debaste y desinfección por hipoclorito de calcio ($\text{Ca}(\text{ClO})_2$). Como se muestra en la Figura 3, el agua gris cruda (afluente) se divide en dos: una fracción pasa a través del tamiz #1 y la otra parte tiene contacto con el $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ antes de pasar por el tamiz #2. Dentro del tanque, ambas fracciones se combinan hasta que son bombeadas al inodoro (efluente).

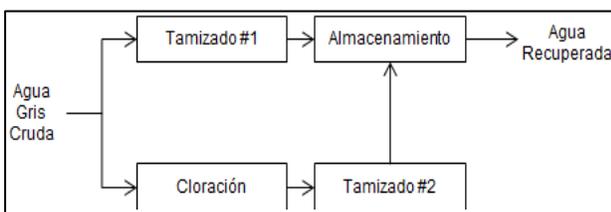


Figura 3. Proceso de tratamiento del Prototipo AquaSalvis
Fuente: Elaboración propia

Debido al diseño del prototipo, el cloro debe ser añadido por el usuario cada cierto tiempo para el funcionamiento del sistema según lo previsto.

xiii. METODOLOGÍA

La investigación es de tipo descriptiva y el diseño fue: Experimental y Documental. Para el cumplimiento de los objetivos, el procedimiento fue dividido en diferentes fases:

A. Fase I: Recopilación de información documental relacionada con la investigación

Previamente identificado los componentes que se relacionan e integran al objeto de estudio, se recopiló, consultó, estudió y organizó fuentes bibliográficas físicas y digitales, tanto regionales como internacionales, para el desarrollo de un

marco teórico que soporte y fundamente la investigación ejecutada. Con base a la información recolectada, fue definido el procedimiento más idóneo para el trabajo.

B. Fase II: Instalación del prototipo AquaSalvis

El prototipo fue instalado en el cuarto de baño de la residencia del investigador, ubicada en Bello Monte, Municipio Baruta, Distrito Capital. El prototipo era usado principalmente por el investigador (El Usuario o Residente), aunque también llegó a ser usado por un “Visitante Temporal”, que se alojaba en la vivienda por un cierto número de días.

La selección del sitio fue basada bajo la premisa de una ubicación accesible para el investigador, que facilitara las mediciones, captación de muestra y observación del funcionamiento del prototipo.

C. Fase III: Descripción del prototipo AquaSalvis

A través de la medición de sus dimensiones, la identificación de sus componentes y la observación preliminar de su funcionamiento, se determinaron detalles básicos del prototipo, tales como su capacidad de almacenamiento, caudal de bombeo y tamaño de los poros de la malla de tamizado, haciendo uso de un microscopio digital electrónico 20x-800x.

D. Fase IV: Mediciones y análisis hidráulico

Durante el tiempo de operación del dispositivo (3 meses), se recolectaron datos relacionados con los volúmenes de agua manejados por el prototipo en función del sitio de estudio y la bibliografía revisada.

1. Fase IV-1: Consumo de agua de las piezas sanitarias en el sitio de estudio.

Durante el tiempo de operación del sistema, se registraron todas las actividades que involucraban el uso del lavamanos y del inodoro, por lo cual se contabilizó el tiempo de

uso del lavamanos en cada actividad y el número de veces que el inodoro era descargado durante el día.

Conociendo las características de las piezas sanitarias (caudal del lavamanos y el volumen de descarga, así como el caudal de entrada de agua potable del inodoro), se determinó el volumen de agua consumido por ambas piezas en cada día usando las Ecuaciones I y II.

$$V_{lav} = \frac{\bar{T} \cdot Q_{lav}}{np} \quad (I)$$

$$V_{ind} = \frac{n \cdot V_{descarga}}{np} \quad (II)$$

Siendo:

- V_{lav} = Consumo de agua en el lavamanos (litros/persona/día)
- \bar{T} = Tiempo de uso del lavamanos (segundos)
- Q_{lav} = Caudal de agua del lavamanos (litros/segundo)
- V_{ind} = Consumo de agua en el inodoro (litros/persona/día)
- n = Número de descargas del inodoro
- $V_{descarga}$ = Volumen de agua por descarga del inodoro (litros)
- np = Número de usuarios en el día

El consumo de agua del lavamanos fue registrado y dividido según su actividad e intervalo de hora, para determinar la actividad de mayor peso y las horas de mayor consumo de las piezas sanitarias.

2. Fase IV-2: Generación de agua gris y capacidad de ahorro del prototipo.

Además del registro de actividades, se midieron en sitio los niveles de agua captada en el prototipo, para determinar si la totalidad del agua potable consumida en el lavamanos se transforma en agua gris. A su vez, al existir dos entradas de agua (gris y potable) al inodoro, el prototipo puede bombear un máximo volumen de agua antes de llenarse el inodoro, lo cual fue determinado con la Ecuación III.

$$MVB = \frac{V_{descarga} \cdot Q_b}{Q_b + Q_{ind}} \quad (III)$$

Siendo:

- MVB = Máximo volumen bombeado por el prototipo en el sitio de estudio (litros)
- $V_{descarga}$ = Volumen de descarga del inodoro (litros)
- Q_{ind} = Caudal de entrada de agua potable del inodoro (litros/segundo)
- Q_b = Caudal de bombeo del prototipo (litros/segundo)

Posteriormente, el porcentaje de ahorro de agua generado en cada día durante el tiempo de operación se determinó con la Ecuación IV, la cual determina el ahorro generado en dicho día, es decir, incluye el agua gris almacenada de un día anterior y se excluye el agua que se usará para el día posterior (consumo de agua del lavamanos después de la última descarga del inodoro del día). Con todos los ahorros de cada día, se determinó su promedio, máximo y mínimo ahorro en el sitio de estudio.

$$Ahorro = \frac{V_{lav} + V_{ant} - V_{pos}}{V_{ind}} * 100 \quad (IV)$$

Siendo:

- Ahorro = Porcentaje de ahorro con respecto al consumo total de agua en el inodoro (%)
- V_{lav} = Consumo de agua del lavamanos (litros)
- V_{ind} = Consumo de agua del inodoro (litros)
- V_{ant} = Volumen de agua almacenado del día anterior (litros)
- V_{pos} = Volumen de agua almacenado para el día posterior (litros)

Además, con el fin de no limitar al trabajo solamente a los datos reales obtenidos en el sitio de estudio, se determinó la variabilidad del ahorro según el número de usuarios, el consumo de agua y otras piezas sanitarias.

Para el cálculo del ahorro con base a otros consumos de agua y otras opciones de piezas se usó la Ecuación V (expresión simplificada de la Ecuación IV).

$$Ahorro = \frac{V_{lav}}{V_{ind}} * 100 \quad (V)$$

Siendo:

- Ahorro = Porcentaje de ahorro con respecto al consumo total de agua en el inodoro (%)
- V_{lav} = Consumo de agua del lavamanos (litros)
- V_{ind} = Consumo de agua del inodoro (litros)

3. Fase IV-3: Generación de agua gris y capacidad de ahorro del prototipo.

A partir de los registros de los niveles de agua del prototipo, se determinó el volumen de agua captado y aprovechable (excluyendo el volumen mínimo de operación de la bomba) y su probabilidad de ocurrencia, es decir, la probabilidad de que el volumen sea superado o igualado. Dicha probabilidad se obtuvo ordenando los datos de orden decreciente, se les asignó un orden de valor (siendo el nivel más alto de agua el orden de 1) y se le aplicó la Ecuación V. Los datos obtenidos fueron graficados y, a partir de la misma se determinó el volumen de agua más favorable (10%) y la ocurrencia con la cual llega al máximo de almacenamiento y de bombeo (ver figura 4).

$$p = \frac{m}{nd+1} * 100 (V)$$

Siendo:

- Probabilidad de ocurrencia (%)
- m = orden de valor de la medida
- nd = cantidad de datos disponibles

4. Fase IV-4: Verificación de la Capacidad de Almacenamiento y de Ahorro del Prototipo

Con base en los resultados obtenidos de las sub-fases de las mediciones hidráulicas, el investigador seleccionó el criterio para determinar la capacidad de almacenamiento de agua, necesario para el mayor aprovechamiento del agua gris captada para su reutilización a diferentes consumos de agua en el lavamanos, siendo comparado con su capacidad actual. Además, se determinó el rango de ahorro promedio de agua basado en los casos más usuales o “estándares”, con el fin de determinar si se encontraba en el intervalo de ahorro que se buscaba cuando fue diseñado.

E. Fase V: Caracterización del agua gris cruda y el agua recuperada

Esta fase se realizó en simultaneidad con la Fase IV, en donde se probaron los diferentes

esquemas de tratamiento o acondicionamiento del agua gris, con el fin de generar la mejor propuesta en base a las necesidades, propósito y diseño del sistema. Debido a esto, se tomaron muestras de agua a la salida de la tubería de bombeo y se realizaron las respectivas pruebas de acuerdo a los Métodos Estándar para Análisis de Agua y Agua Residual (1998).

A excepción de las pruebas de cloro residual y las pruebas microbiológicas, los ensayos fueron realizados en la Planta Experimental de Tratamiento de Aguas (PETA) de la Universidad Central de Venezuela (UCV). El Cloro Residual fue medido en el sitio por el usuario (previas indicaciones por los técnicos del laboratorio) y las Pruebas Microbiológicas se ejecutaron en el Laboratorio Sanitario Ambiental (LABSAM) de la Universidad Católica Andrés Bello (UCAB).

El sistema de tratamiento simple del prototipo (tamizado + desinfección) fue diseñado sin tener en cuenta el tipo de malla de filtración más adecuada para la remoción de turbiedad o la dosificación de cloro necesaria. Debido a esto, su caracterización fue realizada en tres etapas: preliminar, sin tratamiento y con tratamiento.

En la etapa preliminar, se operó el prototipo con su respectivo tratamiento, usando la máxima cantidad de cloro permitida, para generar un menor tiempo de reposición del material por parte del usuario. Bajo este esquema, se determinó la concentración de cloro residual y se comparó con los rangos de la bibliografía. Según los resultados, se concluiría si esta condición era adecuada y si requería un análisis completo.

En la etapa sin tratamiento, el agua gris captada por el prototipo no era sometido a ningún tratamiento, únicamente con el fin de facilitar la captación y posterior caracterización del agua gris cruda, la cual sería el afluente no solo de la etapa anterior sino también de la siguiente.

Por último, la etapa de tratamiento, consistió en la caracterización del agua gris sometida al

tratamiento simple, definiendo previamente una dosificación de cloro para generar una concentración de cloro residual no mayor a 2 mg/L. Con base a esto, se realizaron pruebas con diferentes cantidades de cloro añadido y se determinó su concentración. Una vez determinado la cantidad de cloro adecuado, se calculó su tasa de consumo con la ecuación VI y su dosificación unitaria con la ecuación VII.

$$TC = \frac{\Delta Cl}{np \cdot \Delta d} \text{ (VI)}$$

Siendo:

- TC = Tasa de consumo del cloro (mg/L/persona/día)
- ΔCl = Variación de concentración del cloro (mg/L)
- np = Número de personas
- Δd = Número de días transcurridos entre cada lectura (días)

$$DCl = \frac{\text{Cantidad Cl}}{Q_{lav}} \text{ (VII)}$$

Siendo:

- DCl = Dosificación de cloro unitaria (gramos/litros de agua gris del lavamanos)
- Cantidad Cl = Cantidad necesaria para la desinfección en el sitio de estudio (gramos/persona/día)
- Q_{lav} = Consumo promedio de agua en el lavamanos del sitio de estudio (litros/persona/día)

Para la exploración de una malla de filtración diferente a la existente, en el laboratorio, se probaron filtros de diferentes tamaños de poros para determinar el necesario para el cumplimiento de los requerimientos de calidad, específicamente, los relacionados a la turbiedad. Una vez seleccionado la otra opción de malla, se incorporó sus resultados en la caracterización de la muestra de agua recuperada, es decir, con la malla existente y con la opción seleccionada.

F. Fase VI: Análisis de costos asociados al prototipo

El análisis de costos fue realizado determinando los beneficios económicos y gastos asociados con el uso del prototipo (en dólares), con el fin de determinar el tiempo o periodo de retorno (TR) del usuario por la compra y uso del prototipo, a través de la Ecuación VIII. Además

del TR del sitio de estudio, se analizaron las condiciones que garanticen un TR más corto, variando el número de usuarios, tarifas y tipo de piezas sanitarias.

$$TR = \frac{\text{Inversión}}{(\text{Ingresos} - \text{Costos de Operación}) \cdot np} \text{ (VIII)}$$

Siendo:

- TR = Tiempo o Periodo de Retorno de la Inversión (años)
- Inversión = Costo de Fabricación e Instalación del Prototipo (\$)
- Ingresos = Ingresos por ahorro monetario de agua (\$/persona*año)
- CO = Costos de Operación o Consumibles (\$/persona*año)
- np = Número de personas

Los ingresos y gastos implicados se detallan a continuación:

- Inversión: El costo de fabricación del prototipo y su instalación, es decir, la sumatoria de cada una de las piezas del prototipo más el trabajo de plomería, incluyendo un costo por imprevistos.
- Ingresos: El único ingreso considerado fue el ahorro monetario por reducción del consumo de agua en el inodoro, el cual fue calculado con la Ecuación IX.

$$\text{Ingresos} = Pa * \frac{V_{ind}}{1000} * \frac{\text{Ahorro}}{100} * 365 \text{ (IX)}$$

Siendo:

- Ingresos = Ingresos por ahorro monetario de agua (\$/persona*año)
- Pa = Tarifa de agua (\$/m³)
- V_{ind} = Consumo promedio de agua del inodoro (litros/persona/día)
- Ahorro = Porcentaje de ahorro con respecto al consumo total de agua en el inodoro (%)

- Costos de Operación o Consumibles: Son los gastos que corresponden al consumo de cloro y electricidad necesarios para el funcionamiento del sistema, los cuales fueron calculados con la ecuación X y XIII, respectivamente.

$$Gasto_{Cl} = P_{Cl} * \frac{D_{Cl}}{1000} * Q_{lav} * 365 \text{ (X)}$$

$$T_b = \frac{\overline{V_{ind}} * Ahorro}{Q_b * 100} \text{ (XI)}$$

$$C_e = T_b * \frac{P_b}{1000} \text{ (XII)}$$

$$Gasto_{luz} = \frac{P_{luz}}{100} * C_e * 365 \text{ (XIII)}$$

$$CO = Gasto_{Cl} + Gasto_{luz} \text{ (XIV)}$$

Siendo:

- $Gasto_{Cl}$ = Gasto por consumo de cloro (\$/persona*año)
- P_{Cl} = Precio del cloro en el mercado (\$/kg)
- D_{Cl} = Dosificación de cloro (gramos/litros de agua gris del lavamanos)
- Q_{lav} = Consumo promedio de agua del lavamanos (litros/persona/día)
- T_b = Tiempo de encendido de la bomba (hora)
- $\overline{V_{ind}}$ = Consumo promedio de agua del inodoro (litros)
- Ahorro = Porcentaje de ahorro con respecto al consumo total de agua en el inodoro (%)
- Q_b = Caudal de la bomba (litros/hora)
- C_e = Consumo eléctrico (Kw*h/día*persona)
- P_b = Potencia eléctrica de la bomba (w)
- $Gasto_{luz}$ = Gasto por consumo eléctrico (\$/persona*año)
- P_{luz} = Tarifa eléctrica (c\$/kw*h)
- CO = Costos de Operación o Consumibles (\$/persona*año)

Los costos asociados a la vida útil (repuestos y reposición del prototipo) no fueron considerados por su condición de prototipo.

G. Fase VII: Análisis de la percepción de los posibles usuarios

A partir de la información recolectada, se diseñó una encuesta dicotómica (dos opciones de respuesta: "Sí" y "No"), previamente validada por un grupo piloto para verificación la comprensión de cada pregunta. Las preguntas buscaban conocer las opiniones de potenciales usuarios en términos de aceptación y adquisición del prototipo.

La encuesta fue distribuida al mayor número de personas posibles durante un periodo de dos semanas, atendiendo a la técnica de muestreo por conveniencia, no probabilístico ni aleatorio,

ya que responde con la finalidad de explorar la percepción de los posibles usuarios del AquaSalvis.

Los resultados fueron analizados grupal e individualmente, con respecto al sexo y edad de los participantes, con el fin de detectar particularidades (ver tabla 25 y figuras 5 y 6). En la Tabla 11, se presentan las preguntas realizadas en la encuesta y el aspecto que buscaba estudiar dicha pregunta.

Tabla XI. Preguntas de la Encuesta de Percepción Social y los aspectos estudiados

#	Pregunta de la Encuesta	Aspecto Estudiado
1	¿Estaría de acuerdo con el uso de dispositivos como AquaSalvis en edificaciones residenciales?	Aceptación en Edificaciones Residenciales
2	¿Estaría de acuerdo con el uso de dispositivos como AquaSalvis en edificios comerciales, administrativos y/o hoteles?	Aceptación en Edificaciones No Residenciales
3	¿Adquiriría AquaSalvis como una medida de ahorro de agua?	Adquisición de AquaSalvis
4	Sabiendo que la tarifa de agua venezolana es muy baja, ¿Adquiriría AquaSalvis teniendo en cuenta que puede ahorrar como máximo un 22% del consumo total del inodoro en un día?	Adquisición de AquaSalvis Caso Venezolano
5	¿Adquiriría AquaSalvis a un precio de 100 dólares, incluyendo su instalación?	Adquisición de AquaSalvis a 100\$
6	Usando una tarifa internacional de agua, el costo por el uso único del inodoro sería de 26 \$/mes en una vivienda de cuatro personas. Bajo este escenario, ¿Adquiriría AquaSalvis teniendo en cuenta su precio y que el ahorro sería de 6\$ mensuales?	Adquisición de AquaSalvis Caso Internacional
7	¿Le preocuparía que AquaSalvis represente un peligro de salud o sea poco higiénico?	Preocupaciones de Higiene
8	¿Le preocuparía que AquaSalvis modifique la estética del cuarto de baño?	Preocupaciones en la Estética del Baño

Nota: Elaboración propia

xiv. DESCRIPCIÓN DEL PROTOTIPO: CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES

En la Tabla 12, se presenta las características del tanque de almacenamiento y la bomba del prototipo AquaSalvis

Tabla XII. Características del tanque de almacenamiento y la bomba del prototipo AquaSalvis

Característica	Valor
Capacidad de Almacenamiento de Agua	9,5 Litros
Volumen mínimo de operación de la bomba	0,3 Litros
Máximo Volumen de Agua (MVA)	9,2 Litros
Caudal de bombeo medido en sitio	86,4 litros/hora
Potencia eléctrica de la bomba	9 Watts

Nota: Elaboración propia

Aunque el prototipo puede almacenar un total de 9,5 litros de agua gris, solo puede usar o aprovechar 9,2 litros (MVA), ya que la diferencia de 0,3 litros corresponde al volumen necesario para la operación de la bomba.

Con respecto a los detalles de tratamiento, el tamaño de los poros de las mallas de tamizado son de 521 micras (Tamiz #1) y 1 mm (Tamiz #2). Además, como máximo, el prototipo puede ser abastecido con 98 gramos de $\text{Ca}(\text{ClO})_2$.

xv. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A. Consumo de Agua del Lavamanos e Inodoro del Sitio de Estudio

Para la caracterización hidráulica del prototipo, se determinaron las propiedades y capacidades de las piezas sanitarias involucradas, que son los datos iniciales para la investigación, los cuales son descritos en la Tabla 13.

Tabla XIII. Información básica del inodoro y lavamanos del sitio de estudio

Pieza Sanitaria	Parámetro o característica	Dato o Valor
Inodoro	Tipo de inodoro	Inodoro de tanque de descarga completa
	Volumen del tanque	15,0 litros/uso
	Caudal del llenado	4,02 litros/minuto
Lavamanos	Caudal	4,3 litros/minuto
	Abertura de la llave/grifo	100% todo el tiempo

Nota: Elaboración propia

Con base en los datos iniciales y al registro de actividades realizadas en las piezas, se determinó su consumo, como se resume en la Tabla 14.

Tabla XIV. Consumo de agua potable del lavamanos e inodoro del sitio de estudio

Pieza Sanitaria	Característica	Valor Promedio [Máximo – Mínimo]
Inodoro	Número de descargas (usos/persona/día)	4 [7 – 1]
	Consumo de agua (litros/persona/día)	57,2 [105,0 – 15,0]
Lavamanos	Tiempo de uso (segundos/persona/día)	53 [183,5 - 9]
	Consumo de agua (litros/persona/día)	3,8 [13,03 – 0,6]

Nota: Elaboración propia

El consumo de agua del lavamanos estaba en el límite inferior de los valores reportados de otros estudios (4 – 33 litros/persona/día), y cuyo resultado fue producto de las prácticas de uso racional del residente, es decir, cierra la llave cuando no requiere agua durante sus actividades. Mientras que, en el inodoro, su consumo estaba dentro del intervalo (30 – 75 litros/persona/día).

Al igual que otros estudios, el consumo del lavamanos siempre es menor al del inodoro. Ambas piezas son usadas a lo largo del día, pero el consumo en cada uso es diferente. El mayor consumo de agua, en un intervalo de una hora, fue de 0,5 litros/persona en el lavamanos y 4,7 litros/persona en el inodoro; ambas entre las 7 - 8:00 AM. En el sitio de estudio, el consumo del lavamanos, según sus actividades, se dividió en: lavado de dientes (55,9%), lavado de manos (27,6%), lavado de cara (12,4%), limpieza del lavamanos (3,9%) y limpieza después de afeitarse (0,2%).

B. Ahorro de Agua del Prototipo AquaSalvis

De acuerdo a las mediciones en sitio y los cálculos teóricos, el consumo de agua potable del lavamanos es equivalente a su producción de agua gris, existiendo una diferencia de solo el 2%, la cual fue considerada poco significativa.

El máximo volumen bombeado (MVB) por el prototipo como sistema dual es de 4 litros, es decir, puede generar como máximo un ahorro del 27% por descarga en el sitio de estudio. El

MVB puede ser mayor si el caudal de la bomba es superior o el caudal de llenado de agua potable del inodoro es menor.

En la Tabla 15, se resume el ahorro durante su operación en el sitio de estudio. El máximo ahorro fue alcanzado con dos usuarios en el sitio de estudio, mientras que su caso opuesto ocurrió cuando hubo poca actividad por parte del residente. Es importante destacar que en algunos no hay ahorro, ya que esto depende de la generación del agua gris y el uso del inodoro.

Tabla XV. Capacidad de ahorro del prototipo AquaSalvis en el sitio de estudio

Ahorro	Valor (%)
Promedio	6,9
Máximo	22,3
Mínimo	2,0 (0,00*)

Nota: Elaboración propia. * = El agua gris generada en dicho día no fue usada en el inodoro

La variabilidad del ahorro es como consecuencia de múltiples factores que incluyen: uso del agua, tipo de piezas sanitarias y número de personas. Debido a esto, se analizó la variación del ahorro con respecto al número de usuarios del sitio y el uso del agua de los estudios considerados en la Tabla 2, en específico, el menor y mayor valor reportado, como se muestra en la Tabla 16.

Tabla XVI. Capacidad de ahorro teórica según el número de usuarios del sitio de estudio y el uso del agua de otros estudios

Datos Base	Caso Inicial	Variación			
		Número de Usuarios		Uso del agua	
	SE	R (Excluyendo días con VT)	R + VT (Excluyendo días con solo con R)	NSW [17]	VE [3]
LAV*	3,8	3,3	6,01	4	33
WC*	57,2	59,0	49,0	41	55
Ahorro (%)	6,9	5,6	12,6	9,8	60

Nota: SE = Sitio de Estudio (Periodo de Operación Completa), R = Residente, VT = Visitante Temporal, NSW = Nueva Gales del Sur, VE = Venezuela, LAV = Lavamanos, WC = Inodoro, * = Consumo promedio de la pieza sanitaria en litros/persona/día

Con un mayor número de usuarios, existen probabilidades de un mayor porcentaje de ahorro, porque no todos los usuarios tendrán los mismos hábitos, como en el caso presentando, donde el residente presentaba hábitos de ahorro en el lavamanos y el visitante no.

Mientras que, al comparar el ahorro teórico con otros consumos de agua reportados, el generado por el prototipo en el sitio de estudio es menor, es decir, inferior al 9,8%. Como el consumo del inodoro es mayor al del lavamanos, mientras más alto sea el consumo del lavamanos el porcentaje de ahorro será mayor.

También se analizó la variación del ahorro con otras opciones de piezas sanitarias, como se demuestra en la Tabla 17, en donde se usó como base el caso de estudio.

Tabla XVII. Capacidad de ahorro teórica según las capacidades de las piezas sanitarias

Datos Base	Caso Inicial	Variación					
	SE	WC		LAV		WC y LAV	
Caudal del LAV (L/min)	4,3	4,3		1,7	12,0	1,7	12,0
Consumo del LAV (L/persona/día)	3,8	3,8		1,5	10,6	1,5	10,6
Descarga del WC (L/descarga)	15,0	3,5	20,0	15,0		20,0	3,5
Consumo del WC (L/persona/día)	57,2	14,0	80,0	57,2		80,0	14,0
Ahorro (%)	6,9	26,8	4,7	2,6	18,5	1,9	75,6

Nota: SE = Sitio de Estudio (Periodo de Operación Completa), LAV = Lavamanos, WC = Inodoro

El porcentaje de ahorro aumenta con inodoros de menor capacidad de descarga y lavamanos de caudales elevados. Si se posee ambos, se podría alcanzar un ahorro del 75%, pero se debe únicamente a que el consumo de agua del inodoro es bajo. El caso contrario (inodoros convencionales y lavamanos ahorrativos) genera un ahorro de apenas el 2%.

Posiblemente, no es justificable la adquisición del prototipo, teniendo un lavamanos ahorrativo, ya que el ahorro del dispositivo depende del uso

del agua de dicha pieza. Debido a esto, la compra del prototipo o la sustitución del lavamanos puede estar más basado en la capacidad de adquisición de las piezas y de las limitaciones de instalación.

C. Operaciones de llenado y vaciado del prototipo AquaSalvis

El nivel de agua del prototipo y por consiguiente su volumen almacenado, variaba durante el día, generando un ahorro diferente en cada descarga del inodoro. La probabilidad de ocurrencia de que el volumen almacenado fuera excedido fue representando en la Figura 4, permitiendo determinar el nivel de certeza de superar un determinado volumen.

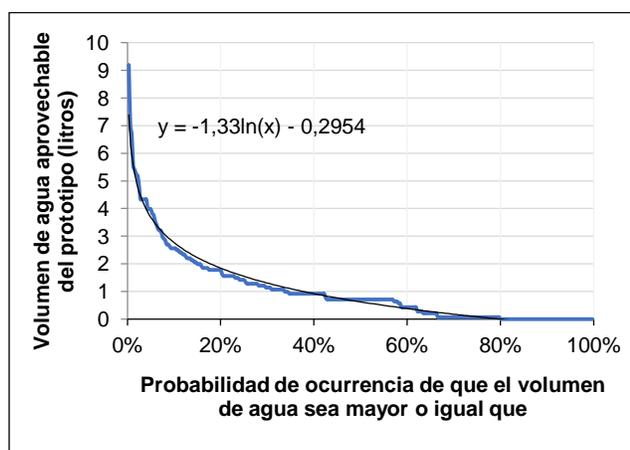


Figura 4. Curva de duración de volumen de agua en el prototipo AquaSalvis

Nota: Elaboración propia

Volumen de Agua Aprovechable = Volumen de agua captado por el prototipo excluyendo el Mínimo Volumen de Operación.

Como se puede observar, el 80% de las veces el dispositivo tenía un volumen de agua aprovechable, mientras que el otro 20% el prototipo no tenía agua gris que bombear y por lo tanto la bomba trabajaba en vacío. Sin embargo, en el mejor de los casos, considerándolo como el 10% de las veces, el volumen de agua es de 2,6 litros. Mientras que el MVB (4 litros) y el MVA (9,2 litros) se alcanzaban rara vez (menos del 10% de las veces), específicamente, el 5,9% y el 0,3%, respectivamente.

Cabe destacar que, con un solo usuario, no se recolectó el MVA y, en cambio, se captó 3,7 litros de agua gris. En el caso de los dos usuarios, se recolectó tanto el MVB como el MVA en más ocasiones. Con un mayor número de usuarios, el prototipo captará mayores volúmenes de agua, al existir una mayor frecuencia de uso de las piezas sanitarias.

Si el volumen de agua era mayor al MVB, el remanente de agua sería para la siguiente descarga del inodoro. Como consecuencia, el MVB puede limitar el ahorro que puede existir al final del día.

D. Verificación de la Capacidad de Almacenamiento y de Ahorro del Prototipo AquaSalvis

Con base en los resultados de los puntos anteriores (resumidos en la Tabla 18), se procedió a verificar si la capacidad de almacenamiento de AquaSalvis satisface las necesidades de los usuarios, es decir, si el diseño del prototipo permite la recolección adecuada de agua para su reutilización.

Tabla XVIII. Consumo y volumen de agua generado en el lavamanos en diferentes escenarios

Escenario	Consumo y/o volumen
Consumo mínimo en el lavamanos (Referencia de NSW [17] y sitio de estudio)	4 litros/persona/día
Consumo máximo en el lavamanos [3]	33 litros/persona/día
Consumo promedio en el lavamanos de los estudios considerados en la Tabla 2	14,3 litros/persona/día
Mayor volumen de agua generado en un intervalo de 1 hora con un consumo de 4 litros/persona/día	0,5 litros
Mayor volumen de agua captado por el prototipo más favorable (ocurrencia del 10%) con un consumo de 4 litros/persona/día	2,6 litros

Nota: Elaboración propia. NSW = Nueva Gales del Sur

Como el prototipo bombea agua recuperada cada vez que se descarga del inodoro, el volumen de almacenamiento no puede estar basado en el escenario más extremo, es decir, la recolección del volumen total de agua del lavamanos de un día completo. El lavamanos e

inodoro operan frecuentemente en conjunto, por lo que el uso único del lavamanos durante todo un día sin el inodoro es poco probable.

Tampoco puede estar basado en el mayor volumen generado en un momento específico del día, porque no compensaría las veces que el consumo de agua generado en diferentes momentos o actividades puede ir acumulándose antes de descargar el inodoro.

Debido a esto, el criterio más idóneo de diseño es el mayor volumen de agua que puede ser captado con mayor ocurrencia (caso más favorable), es decir, el 10% de las veces (2,6 litros), para evitar diseñarlo para un caso que rara vez ocurra.

Incluyendo el Mínimo Volumen de Operación y un 10% del volumen (factor de seguridad), la capacidad de almacenamiento es de, aproximadamente, 3 litros. Con base en esto, la capacidad de almacenamiento del dispositivo debe ser aproximadamente el 75% del consumo de agua del lavamanos.

Sin embargo, la capacidad de almacenamiento de 3 litros solo se adecúa a consumos de lavamanos de ≤ 4 litros/persona/día. Para cumplir con todos los casos, se usó el consumo promedio de los estudios de la Tabla 2 (14,3 litros/persona/día), obteniéndose un dispositivo capaz de captar 10,7 (≈ 11) litros de agua gris. La capacidad actual de AquaSalvis (≈ 10 litros) satisface estos requerimientos, aunque no debe ser descartada la posibilidad de crear otros modelos con diferentes capacidades.

Con respecto a la capacidad de ahorro, teniendo en cuenta que fue creado para generar un ahorro de agua en el inodoro entre el 40 – 100%, se determinó el intervalo de ahorro promedio generado por AquaSalvis, a pesar de ser sumamente variable. Debido a la variabilidad de piezas, que a su vez influyen directamente en el ahorro, se estableció el intervalo para inodoros entre 6 - 16 litros/usos y lavamanos con caudales entre 2- 6 litros/minuto.

En la Tabla 19, se resumen los escenarios considerados para el análisis de la capacidad de ahorro del prototipo.

Tabla XIX. Capacidad de Ahorro del prototipo AquaSalvis en diferentes escenarios

Caso	Tipo de Ahorro	%
1	Ahorro con el consumo mínimo del lavamanos (Sitio de Estudio)	7
2	Ahorro con el consumo máximo del lavamanos [3]	60
3	Ahorro con inodoros de 16 litros/usos y lavamanos con caudal de 2 litros/minuto*	3
4	Ahorro con inodoros de 6 litros/usos y lavamanos con caudal de 6 litros/minuto*	22
5	Ahorro con inodoros de 6 litros/usos y consumo máximo del lavamanos	100

Nota: Elaboración propia, * = Se usaron como base el tiempo del lavamanos y el número de descargas del sitio de estudio

El mínimo ahorro de agua se consideró de 7% (caso 1), ya que, como fue mencionado, el uso del prototipo con lavamanos ahorrativos (caso 3) puede no ser justificable. Además, el consumo del sitio de estudio fue igual al menor consumo reportado de la Tabla 2.

Aunque existe la posibilidad de abarcar toda la demanda de agua del inodoro e incluso obtener agua adicional (caso 5), es un escenario poco razonable o muy extremo, porque se satisface la demanda con un consumo excesivo de agua del lavamanos. Es decir, va en contra de la premisa de reducir el consumo de agua de la vivienda.

Tomando en cuenta lo mencionado y el desconocimiento de la prevalencia de inodoros de ≤ 6 litros/usos en viviendas (caso 4), el mayor ahorro se estableció en 60% (caso 2). Debido a esto, el potencial ahorro del prototipo, en teoría, puede ser entre 7 – 60%.

D. Calidad del Afluente y Efluente del Prototipo AquaSalvis

1. Etapa Exploratoria

En esta fase, se operó el prototipo con la máxima cantidad de cloro añadido (98 gramos), en donde se detectó una concentración de cloro

en el agua recuperada de 180 y 200 mg/L, excediendo las concentraciones recomendadas (0,2 - 2 mg/L).

Debido a esto, no se procedió a la caracterización completa del agua bajo este esquema; ya que ese exceso de cloro, no solo se deriva en un gasto excesivo de la sustancia química, sino en posibilidades del deterioro de los herrajes y piezas del sistema (prototipo + inodoro).

2. Caracterización del Agua Gris Cruda o sin Tratamiento (Afluente)

En la Tabla 20, se muestra los parámetros físicos, químicos y microbiológicos del agua gris sin tratamiento.

Tabla XX. Parámetros físicos, químicos y microbiológicos del agua gris cruda (sin tratamiento)

Parámetro	Unidad	Promedio	Mínimo	Máximo
Color aparente	UC	5		
Turbiedad	UNT	68	24	165
pH		7,1	6,7	7,4
Conductividad específica	$\mu\text{S/cm}$	358	313	422
Cloro residual	mg/L	Indetectable		
DBO _{5,20}	mg/L	12	9	14
DQO	mg/L	54	50	58
Coliformes totales	NMP/100ml	$> 1,6 \cdot 10^6$		
Coliformes fecales	NMP/100ml	$1,02 \cdot 10^5$ *	$9,40 \cdot 10^4$	$> 1,6 \cdot 10^6$
<i>Escherichia. coli</i>	UFC/ml	SD		

Nota: Elaboración propia. SD = Sin determinar

* El promedio de coliformes no incluye los valores que exceden el límite, es decir, "mayor a", porque se desconoce la proximidad del resultado real

El color aparente (sin filtración del agua gris cruda) permaneció constante, ya que la tonalidad del agua no se asemejaba a las soluciones de platino cobalto de la prueba (que simulan el color de las aguas naturales), como consecuencia de la turbiedad ocasionada por las sustancias o sólidos contenidos productos de las actividades del lavamanos. Debido a esto, este parámetro fue descartado.

El rango de niveles de turbiedad era amplio, pero sus valores fueron en su mayoría menores a los reportados en otros estudios (102 – 164 UNT). Aun así, no cumple con los límites exigidos por las normas de otros países, que como máximo permiten 5 o 10 UNT.

El agua gris era ligeramente básica y cumplía, en términos de pH, con las normativas consideradas sin la necesidad de tratamiento. La Conductividad Específica, que refleja los iones disueltos, no es un parámetro regulado y no fue determinado en los otros estudios considerados. Cabe destacar que, los iones disueltos provienen del agua potable antes de transformarse y de los productos utilizados durante las actividades en el lavamanos.

No se encontró presencia de cloro residual, la cual, en este caso, solo podría provenir del agua potable antes de transformarse en agua gris, indicando una inapreciable o poca presencia de cloro residual en el suministro de agua potable de la edificación.

El contenido de materia orgánica, en términos de DBO, era inferior al mínimo valor reportado (33 mg/L). Sin tratamiento, el agua gris del sitio de estudio cumplía con las normas que aceptan un máximo de 20 mg/L o más, entre ellas: Canadá, Alemania y México; pero no con las normas de China, EEUU y Singapur (10 o 5 mg/L). Con respecto a la DQO, también su concentración era inferior a los valores reportados y, a diferencia de la DBO, no es regulado.

Mientras que los coliformes totales están cercanos a las concentraciones de las aguas grises combinadas (10^7), los niveles de coliformes fecales excedieron todos los valores reportados en otros estudios. La presencia de estos coliformes está ligada a las actividades desarrolladas en el lavamanos, la calidad de agua potable suministrada y/o la presencia de puntos para el desarrollo de colonias dentro del sistema hidráulico, como el sifón del sistema o el propio dispositivo.

Tal como lo demuestra la bibliografía y los resultados obtenidos, la calidad del agua gris, y en general del agua residual, depende de un gran número de condiciones, razón por la cual suelen haber diferencias.

3. Caracterización del Agua Recuperada o con Tratamiento (Efluente)

En esta etapa, el Color Aparente fue descartado como parámetro una vez determinado que la técnica analítica no se ajusta a las muestras de agua gris. Además, se determinaron dos turbiedades: la turbiedad con las mallas de tamizado existentes del prototipo y la "Turbiedad Filtrada" usando un filtro de 5 micras, la cual fue seleccionada como una posible alternativa o sustituto de la malla del sistema, después de realizar pruebas con filtros de diferentes tamaños de poros.

En la Tabla 21, se muestra los parámetros físicos, químicos y microbiológicos del agua recuperada, es decir, con el tratamiento simple (tamizado o desbaste + cloración).

Tabla XXI. Parámetros físicos, químicos y microbiológicos del agua recuperada (tratamiento simple)

Parámetro	Unidad	Promedio	Mínimo	Máximo
Turbiedad	UNT	75	31	163
Turbiedad Filtrada	UNT	16	8	36
pH		7,2	6,6	7,7
Conductividad específica	$\mu\text{S/cm}$	385	341	462
Cloro residual	mg/L	Variable (Tabla 22)		
DBO _{5,20}	mg/L	9	7	10
DQO	mg/L	19	15	26
Coliformes totales	NMP/100ml	Variable (Tabla 22)		
Coliformes fecales	NMP/100ml	Variable (Tabla 22)		
<i>Escherichia. coli</i>	UFC/ml	Variable (Tabla 22)		

Nota: Elaboración propia. SD = Sin determinar
Filtrada a través de un filtro de 5 micras.

La turbiedad, después del tratamiento, permanece inalterada, por lo que sigue sin

cumplir con los límites exigidos, ya que los sólidos suspendidos contenidos causantes de la misma son generalmente inferiores a las 532 micras de la malla del tamizado. En cambio, con un filtro de 5 micras, se logra la remoción del 78,7% de la turbiedad. Aun así, sigue sin cumplir con los límites, con algunas excepciones, como por ejemplo con la norma Británica, cuando la turbiedad fue menor de 10 UNT.

El pH permanece inalterado, mientras que la Conductividad Específica incremento ligeramente, posiblemente por la adición de cloro en el proceso de desinfección, cambios en los productos usados en las actividades del lavamanos o cambios en la procedencia o fuente del suministro de agua potable.

Con el tratamiento simple, la DBO permanece prácticamente igual al afluente del prototipo, mientras que la DQO se redujo notablemente, con una remoción del 64,8%, posiblemente por la oxidación de ciertos compuestos orgánicos carbonáceos no biodegradables con el cloro.

Debido al esquema de tratamiento y diseño del prototipo, el cloro residual del agua gris no es constante en el tiempo. A medida que se usa el lavamanos, el cloro añadido se va consumiendo y, como consecuencia, el cloro residual en el agua recuperada disminuye en el tiempo.

Con base en esto, se realizó pruebas con diferentes cantidades de cloro para garantizar la desinfección continua del agua. En el sitio de estudio, se seleccionó la cantidad de 2 gramos/semana/persona de cloro, ya que, según su tasa de consumo (0,25 mg/L/día/persona), tendría una concentración de 1 mg/L al final de la semana, garantizando la remoción del 99,99% de los microorganismos, como se muestra en la Tabla 22. Sin embargo, la cantidad de cloro añadido está sujeta al consumo de agua del lavamanos, por lo que su dosificación será de 0,076 gramos de hipoclorito de calcio por cada litro de agua gris producida.

Tabla XXII. Parámetros microbiológicos del agua recuperada a diferentes concentraciones de cloro residual

Parámetro	Unidad	Cloro residual (mg/L)		
		1,0	2,5	0,2
CT	NMP/100ml	< 2	< 2	345
CF	NMP/100 ml	< 2	< 2	46
<i>E. coli</i>	UFC/ml	ND	ND	61

Nota: Elaboración propia. CT = Coliformes Totales, CF = Coliformes Fecales, *E. coli* = *Escherichia coli*, ND = No Detectable

Con una concentración de cloro residual de 1 mg/L, la concentración de coliformes totales, coliformes fecales y *E. coli* cumple con los límites de todas las normas consideradas. En cambio, con una concentración de 0,2 mg/L, se detecta la presencia de coliformes, incumpliendo con las normas más restrictivas ("NO DETECTABLE"). Mientras que, con respecto a las normas que permiten una cierta densidad de microorganismos, la concentración de Coliformes Totales solo cumplía con la norma de Reino Unido, la de Coliformes Fecales cumplía con todos, con excepción de Chile y Jordania, y la de *E. coli* entraba en el rango permitido por Canadá y Reino Unido.

Cabe destacar que hay que considerar que el agua recuperada del AquaSalvis se mezclaba con el agua potable del suministro de agua de la edificación, por lo que los niveles de turbiedad y DBO disminuyen, siendo lo más importante asegurar la concentración de 1 mg/L de cloro residual para garantizar la calidad microbiológica.

4. Análisis de costos asociados al prototipo

El costo del dispositivo, incluyendo su instalación (20% de instalación profesional + 10% de imprevistos), es de 95,98\$ (≈100\$). Al ser un prototipo, el precio corresponde a la construcción de una sola unidad, por lo que su costo puede disminuir con su fabricación a gran escala, por la compra sus piezas al mayoreo (si se concluye que el prototipo es el producto final para la venta). A su vez, el costo del dispositivo no incluye el porcentaje o ganancia esperada por la empresa con la venta del dispositivo. Sin

embargo, su costo total es inferior al precio de ventas de dispositivos similares (Tabla 9).

Con relación a los gastos por consumibles, el precio del cloro fue establecido en 7,95 \$/kg y, basado en una dosificación de 76 mg/litros, su costo fue de 0,83 \$/persona-año para el sitio de estudio. En cuanto a la electricidad, el tiempo de encendido promedio de la bomba fue de 0,05 horas/persona/día (máximo de 0,15), pudiendo ser su costo despreciable. Aun así, fue considerado en el análisis y se usó la mayor tarifa reportada en Venezuela de 8 centavos/kw*h.

En la Tabla 23, se presenta un resumen del ingreso, gasto y tiempo de retorno de la inversión en el sitio de estudio.

Tabla XXIII. Resumen de ingresos, gastos y tiempo de retorno de la inversión para el sitio de estudio

Caso	Personas	Tarifa (\$/m ³)	Ingresos		Gastos		TR (años)
			Ahorro (\$/año)	Cloro (\$/año)	Luz (\$/año)		
Sitio de Estudio – Ahorro del 6,89%							
1	4		5,75	0,83	0,01	20	
1	9		12,94				
1	14		20,14				
2	4		11,51	1,66	0,02	10	
3	4		17,26	2,49	0,04	7	
4	4		23,01	3,32	0,05	5	
4	14		80,54				
1		0,000036*	5,18*10 ⁵	0,83	0,01	SR	
Casos individuales del sitio de estudio							
1	Ahorro del 5,6%	4	4,86	0,72	0,01	> 20	
2	Ahorro del 12,6%	4	17,99	2,66	0,04	7	

Nota: Elaboración propia. TR = Tiempo de retorno, SR = Sin retorno, * = Tarifa de agua promedio venezolana [43]

De acuerdo a los resultados obtenidos, el periodo o tiempo de retorno (TR) disminuye a una mayor tarifa de agua, debido a que el volumen de agua ahorrada posee un mayor valor monetario. También, el TR disminuye con un mayor número de usuarios, ya que incrementa el consumo de agua del lavamanos, que se traduce en una mayor ganancia para los beneficiados, lo cual fue comprobado al analizar el caso de estudio en sus casos individuales (un

solo usuario y dos usuarios). Como se puede observar, con la tarifa de agua venezolana, no se recupera la inversión, porque el ingreso es prácticamente nulo.

En la Tabla 24, se presenta un resumen del ingreso, gasto y tiempo de retorno de la inversión usando los mínimos y máximos consumos de agua reportados y el uso de otras piezas sanitarias.

Tabla XXIV. Resumen de ingresos, gastos y tiempo de retorno de la inversión según casos teóricos

Caso	Ingresos	Gastos		TR (años)
	Ahorro (\$/año)	Cloro (\$/año)	Luz (\$/año)	
Casos Teóricos (1 Usuario y Tarifa de 4 \$/m³)				
Ahorro del 9,8% (Referencia del NSW [17])	5,84	0,88	0,01	20
Ahorro del 60% (Referencia de VEN [3])	48,18	7,30	0,10	3
WC-A + LAV-NA Ahorro del 75,6%	15,44	2,34	0,03	8
WC-NA + LAV-A Ahorro del 1,9%	2,18	0,33	0,00	>> 20

Nota: Elaboración propia. TR = Tiempo de Retorno, NSW = Nueva Gales del Sur, VEN = Venezuela, WC = Inodoro, LAV = Lavamanos, A = Ahorrativo, NA = No Ahorrativo

A un mayor consumo de agua en el lavamanos, se reduce el retorno de la inversión, es por eso que, con los valores de la referencia de Venezuela, el TR disminuye considerablemente con un solo usuario, porque el consumo es mayor en comparación con el caso de estudio. Sin embargo, un mayor consumo implica un gasto superior de cloro, siendo el más grande de todos. Mientras que, con la referencia de Nueva Gales del Sur, los resultados fueron prácticamente los mismos del caso de estudio.

Finalmente, usando inodoros de baja capacidad de descarga y lavamanos no ahorrativos, se genera también un periodo de retorno bajo, pero, al final, lo importante es el volumen de agua que puede ser ahorrado/reutilizado. Debido a esto, aunque exista un mayor porcentaje de ahorro, el caso con la referencia venezolana genera la mayor ganancia por su alto consumo en el lavamanos. En el caso

contrario (inodoros convencionales y lavamanos no ahorrativos), el periodo de retorno es superior por el bajo volumen de agua.

5. Análisis de la percepción de los usuarios

El análisis de la percepción de los usuarios fue llevado a cabo a través de una encuesta digital, distribuido a un total de 485 personas y respondido por un total de 179 personas, constituido por 102 hombres y 77 mujeres del Área Metropolitana de Caracas y conformado en su mayoría por estudiantes universitarios y profesionales de diferentes carreras.

En la Tabla 25, se presenta los resultados de la encuesta digital.

Tabla XXV. Resultados de la encuesta de la percepción de los usuarios del prototipo AquaSalvis

#	Pregunta Simplificada	Respuesta			
		Si	%	No	%
1	¿Estaría de acuerdo con el uso de dispositivos como AquaSalvis en edificaciones residenciales?	170	95,0	9	5,0
2	¿Estaría de acuerdo con el uso de dispositivos como AquaSalvis en edificios comerciales, administrativos y/o hoteles?	168	93,9	11	6,1
3	¿Adquiriría AquaSalvis como una medida de ahorro de agua?	164	91,6	15	8,4
4	Sabiendo que la tarifa de agua venezolana es muy baja, ¿Adquiriría AquaSalvis...?	145	81,0	34	19,0
5	¿Adquiriría AquaSalvis a un precio de 100 dólares, incluyendo su instalación?	91	50,8	88	49,2
6	Usando una tarifa internacional de agua... ¿Adquiriría AquaSalvis...?	149	83,2	30	16,8
7	¿Le preocuparía que AquaSalvis represente un peligro de salud o sea poco higiénico?	92	51,4	87	48,6
8	¿Le preocuparía que AquaSalvis modifique la estética del cuarto de baño?	107	59,8	72	40,2

Nota: Elaboración propia

De acuerdo a los resultados obtenidos, los encuestados presentan un gran grado de aceptación (mayor al 90%) con dispositivos de reutilización para la descarga de inodoros

(indiferente del tipo de edificación) e inclusive un gran grado de disposición de adquirir el prototipo como medida de ahorro. Sin embargo, la disposición disminuye en cierta medida al informar la capacidad máxima de ahorro, el precio del dispositivo y el beneficio monetario por su uso.

En el escenario venezolano, la mayor parte de los encuestados están dispuestos a adquirir el prototipo, a pesar de dar a conocer que la tarifa de agua es muy baja y posiblemente el beneficio monetario no sea representativo. Probablemente, los encuestados consideran que los beneficios medioambientales tienen un mayor peso que la ganancia o ahorro financiero que pueda proporcionar.

La disposición baja en gran medida al dar a conocer su precio, existiendo opiniones divididas (aproximadamente 50-50%). Aunque el dispositivo es una tecnología de bajo costo, el resultado está influenciado por el tipo de grupo socio-económico al cual pertenece el participante, significado que no todos pueden invertir en la compra del mismo. Sin embargo, con una tarifa de agua internacional, aun teniendo en cuenta el precio del dispositivo, tuvo un buen grado de aceptación, al igual que el caso venezolano.

Con relación a las principales preocupaciones, la mitad de los encuestados presenta inquietudes de usar el prototipo con respecto a los riesgos potenciales para la salud. Sin embargo, un mayor porcentaje (aproximadamente 60%) tiene una mayor preocupación acerca de los cambios estéticos que pueda generar en el cuarto de baño.

Posteriormente, se separó a los encuestados según su género para determinar si existe un cambio de opinión acerca de las preguntas efectuadas, como se muestra en la Figura 5, donde se comparan los porcentajes de respuestas afirmativas entre los dos grupos.

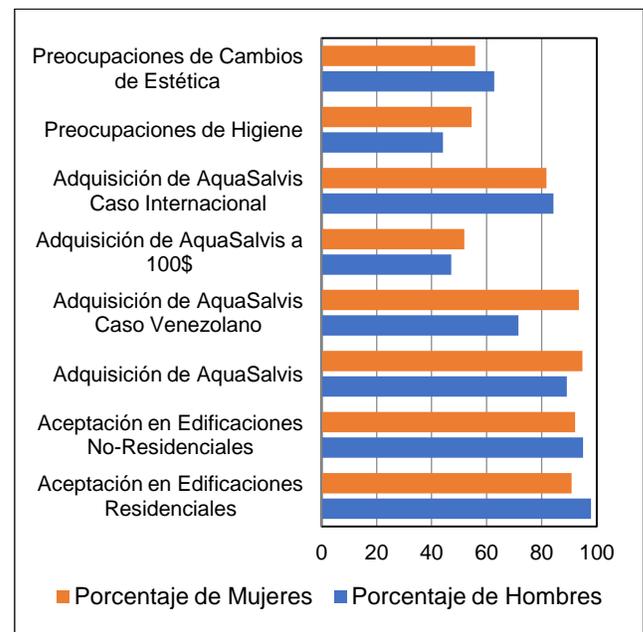


Figura 5. Porcentaje de Respuestas Afirmativas (“Sí”) según el género de los encuestados.

Nota: Elaboración propia

De acuerdo al género de los encuestados, no existió un cambio de opinión entre los grupos, a excepción de la disposición de adquisición del dispositivo en el escenario venezolano, donde las mujeres se encuentran más dispuestas que los hombres a comprar el prototipo, a pesar del bajo o nulo beneficio monetario con la tarifa de agua existente en Venezuela, generando una diferencia de aproximadamente del 22%.

Con respecto a las otras preguntas, aunque las diferencias no eran sustanciales, los encuestados masculinos presentaban mayor aceptación en el uso de sistemas de reutilización (indiferente del tipo de edificación), en la adquisición de AquaSalvis con una tarifa internacional de agua y estaban menos preocupados por los posibles riesgos a la salud. Mientras que las participantes femeninas estaban más dispuestas a adquirir el prototipo como una medida de ahorro y con menos preocupaciones en los posibles cambios en la estética del cuarto de baño.

También, se clasificó a los encuestados según su edad, estando distribuidos por intervalo de edad en: 117 (18 – 25 años), 20 (26 – 35 años), 11 (36 – 45 años) y 31 (>45 años) personas.

En la Figura 6, se comparan los porcentajes de respuestas positivas según los intervalos de edades.

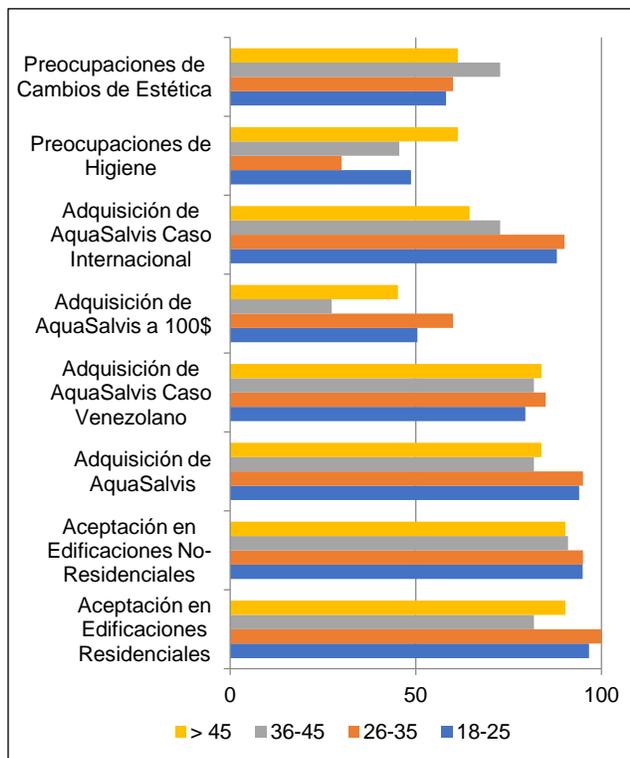


Figura 6. Porcentaje de Respuestas Afirmativas (“Si”) según la edad de los encuestados.

Nota: Elaboración propia

De acuerdo a las edades, no existió un cambio sustancial en la opinión de los encuestados con respecto a la aceptación de dispositivos de reutilización en edificios comerciales, administrativos y hoteles, en la adquisición de AquaSalvis como una medida de ahorro de agua y su adquisición en el escenario venezolano. Sin embargo, las personas entre 36 – 45 años de edad aceptaban menos el uso de sistemas de reutilización en los edificios

residenciales y aún menos en la compra del dispositivo al precio de 100 \$.

Los encuestados entre 26 – 35 años se encontraban menos preocupados por los riesgos a la salud que podría presentar AquaSalvis y aquellos entre 18 – 25 años menos preocupados por los cambios en la estética del cuarto de baño.

xvi. CONCLUSIONES

En cuanto al funcionamiento y operación

1. La capacidad de almacenamiento de agua del Prototipo de 9,5 litros, se considera suficiente para satisfacer el volumen promedio necesario para la captación del agua gris del lavamanos.
2. La capacidad de ahorro promedio del prototipo, está entre 7 – 60%, lo cual difiere del 40 a 100% previsto en el diseño.
3. El prototipo tiene un ahorro mayor al 40%, a altos consumos de agua en el lavamanos, con el mayor número de usuarios posible y/o cuando el inodoro posea un volumen de descarga bajo.
4. La calidad de agua gris recuperada cumple con los parámetros microbiológicos de las normas, cuando se asegura un cloro residual de 1 mg/L, que se garantiza con una dosificación de cloro de 76 miligramos por cada litro de agua gris.
5. El prototipo produce un agua con alta turbiedad (31 a 163 UNT), y su contenido orgánico (DBO entre 7 a 10 mg/L), excede los límites de calidad de algunas de las normativas.

En cuanto a los costos asociados

6. El prototipo AquaSalvis es una tecnología de bajo costo en comparación con los dispositivos similares y disponibles comercialmente, pero con un periodo de retorno de la inversión de 2 años en el mejor de los casos.

7. La recuperación por la compra del prototipo ocurre con mayor efectividad a una mayor tarifa de agua, razón por la cual, en el escenario actual venezolano, no es posible recuperar la inversión.

En cuanto a la percepción de los usuarios

8. El prototipo AquaSalvis presenta buena aceptación y disposición de adquisición por los encuestados (mayor al 90%), aunque hay opiniones divididas con relación al precio y a los potenciales riesgos a la salud.
9. La mayoría de los posibles usuarios manifestaron su disposición a adquirir el AquaSalvis, tanto con la tarifa de agua venezolana (81%) como con la internacional (83,2%).
10. Los encuestados presentaron más preocupación por los cambios en la estética del cuarto de baño (59,8%), que por los posibles riesgos a la salud (51,4%).
11. No hubo diferencia notable en la aceptación y adquisición del prototipo entre hombres y mujeres, aunque estas últimas manifestaron mayor disposición de adquirir AquaSalvis con la tarifa de agua venezolana (93,5% mujeres y 71,6% hombres).
12. El grupo de encuestados con edades entre 26 – 35 años, presentaron los mayores porcentajes en adquisición de AquaSalvis como medida de ahorro (95%), al precio de 100\$ (60%), en el escenario venezolano (85%) e internacional (90%) y menos preocupaciones por la higiene (70%).

Finalmente, se concluye que el AquaSalvis tiene limitaciones importantes para producir un agua reciclada con la calidad requerida, y su implantación como sistema de reúso, depende del balance de costos, porcentaje de ahorro obtenido y aspecto estético en el cuarto de baño.

REFERENCIAS

- [1] WWAP (2017). Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2017. Aguas Residuales El Recurso Desaprovechado. París: UNESCO.
- [2] Dautant, R. (2016). El Uso Seguro del Agua Residual Tratada: Aspecto Fundamental en la Nueva Cultura del Agua. En Tello, P., Mijailova, P. & Chamy, R. (Eds.), *Uso seguro del agua* (pp. 17 - 30). AIDIS.
- [3] Blanco, H., Lara, M., Velezmoro, A., Aguilar, V. (2014). Consumo de agua en actividades domésticas. Caso de estudio: Estudiantes de la asignatura saneamiento ambiental de la UCV. *Revista de la Facultad de Ingeniería U.C.V.*, 29(1) 51-56.
- [4] Daigger, G. T. (2012). Designing and implementing urban water and resource management systems which recover water, energy, and nutrients. En Lazarova, V., Choo, K. & Cornel, P. (Eds.), *Water-Energy Interactions in Water Reuse* (pp. 3 - 19). UK: IWA Publishing.
- [5] Lazarova, V., Hills, S. & Birks, R. (2003). Using recycled water for non-potable, urban uses: a review with particular reference to toilet flushing. *Water Science and Technology: Water Supply*, 3(4), 69 – 77.
- [6] Herrera, C. (2015). *Análisis de Factibilidad para la reutilización de aguas residuales para nuevos urbanismos en Cúa – Estado Miranda* (tesis de grado). Universidad Católica Andrés Bello, Venezuela, Caracas.
- [7] Franco, M. (2007). *Tratamiento y reutilización de aguas grises con aplicación a caso en Chile* (trabajo de grado). Universidad de Chile, Santiago de Chile.
- [8] WHO (2006). *Overview of greywater management, Health considerations*. Eco Design Ideal.
- [9] EPA (2012). *Guidelines for Water Reuse*. Washington, D.C, Estados Unidos de América. USAID.
- [10] Timaure, E., Sánchez, C. (2011). *Reúso de aguas grises en la posada El Zaguán, ubicada en la Península de Paraguaná Estado Falcón* (trabajo especial de grado). Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela.

- [11] Allen, L. (2015). *Manual de diseño para manejo de aguas grises para riego exterior*. Greywater Action.
- [12] Ilemobade, A., Olanrewaju, O. & Griffioen, M. (2012). *Greywater Reuse for Toilet Flushing in high-density urban buildings in South Africa: A Pilot Study*. Water Research Commission.
- [13] Castro, M. (2015). *Un uso eficiente del agua doméstica: Tratamiento de las aguas grises* (trabajo de fin de grado). Universidad de Sevilla, España.
- [14] Grupo de trabajo de la Comisión Sectorial de Aguas Grises (2011). *Guía Técnica Española de Recomendaciones para el Reciclaje de Aguas Grises en Edificios*. Barcelona, España: AQUA España.
- [15] Niño, E. & Martínez, M. (2013). *Estudio de las aguas grises domésticas en tres niveles socioeconómicos de la ciudad de Bogotá* (trabajo de grado). Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá.
- [16] Zhu, J; Wagner, M; Cornel, P.; Chen, H. & Dai, X. (2017). Feasibility of on-site grey-water reuse for toilet flushing in China. *Journal of Water Reuse and Desalination*. Pág. 1-13
- [17] NSW Department of Water & Energy (2008). *NSW Guidelines for greywater reuse in sewerred, single household residential premises*. Water for Life.
- [18] Crook, J. (2009). Technical Memorandum on GrayWater. BLACK & VEATCH
- [19] Olanrewaju, O. & Ilemobade, A. (2015). Greywater Reuse Review and Framework for Assessing Greywater Treatment and Technologies for Toilet Flushing. *Advances in Research*, 5(4), 1-25. doi: 10.9734/AIR/2015/19117
- [20] Schneider, L. (2009). *Rule Development Committee Issue Research Report Final – Greywater Reuse in Washington State*. Wastewater Management Program. Washington State Department of Health.
- [21] Parra, D., Carrillo, L., Velandia, E. (2015). Estudio de alternativas para el aprovechamiento y reúso del agua doméstica. *Epsilon*, 24, 123-142.
- [22] Killion, S. (2011). *Design and Modeling of Infrastructure for Residential and Community Water Reuse* (tesis de grado). Universidad de Nebraska-Lincoln, EEUU.
- [23] Jefferson, B., Palmer, A., Jeffrey, P., Stuetz, R. & Judd, S. (2004). Grey water characterisation and its impact on the selection and operation of technologies for urban reuse. *Water Science and Technology*, 50(2), 157 – 164. doi: 10.2166/wst.2004.0113
- [24] Jefferson, B., Laine, A., Parsons, S., Stephenson, T. & Judd, S. (1999). Technologies for domestic wastewater recycling. *Urban Water*, 1, 285 – 292.
- [25] CSBE (2003). *Greywater Reuse in Other Countries and its Applicability to Jordan*. Jordán: Ministry of Planning Enhanced Productivity Program.
- [26] Pidou, M, Memon, F. A., Stephenson, T., Jefferson, B. & Jeffrey, P. (2007). Greywater recycling: treatment options and applications. *Institution of Civil Engineers. Proceedings. Engineering Sustainability: 160*, 119 – 131.
- [27] Jefferson, B., Laine, A., Parsons, S., Stephenson, T. & Judd, S. (1999). Technologies for domestic wastewater recycling. *Urban Water*, 1, 285 – 292.
- [28] UK Environment Agency (2011). *Greywater for domestic users: an information guide*. Bristol, Inglaterra: Environment Agency.
- [29] Working Group on Domestic Reclaimed Water of the Federal-Provincial-Territorial Committee on Health and the Environment (2010). *Canadian Guidelines for Domestic Reclaimed Water for Use in Toilet and Urinal Flushing*. Canada: Department of Health.
- [30] Chang, Y. (2010). *Greywater treatment within semi-centralised supply and treatment systems by the example of the People's Republic of China*. Darmstadt, Alemania: Institut IWAR
- [31] Reglamento de Vertido y Reúso de Aguas Residuales. Decreto N° 33601-MINAE-S, Costa Rica. 19 de marzo de 2007.
- [32] Norma Oficial Mexicana NOM-003-ECOL-1997, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas tratadas que se reusen servicios público. Diario Oficial de la Federación, México. 14 de enero de 1998.
- [33] Healthy WA (2011). *Guidelines for the Non-potable Uses of Recycled Water in Western Australia, Australia Occidental*
- [34] NBR 13969 - Tanques sépticos – Unidades de tratamento complementar e disposição

- final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação. Brasil. 30 de agosto de 1997.
- [35] Resolución 1207 de 2014 (Julio 25) por la cual se adoptan disposiciones relacionadas con el uso de aguas residuales tratadas. Diario Oficial 49242, Colombia. 13 de agosto de 2014.
- [36] Real Decreto 1620/2007, de 7 de diciembre, por el que establece el régimen jurídico de la reutilización de las aguas depuradas. Boletín Oficial del Estado n° 294, España. 8 de diciembre de 2007.
- [37] Tajima, A., Yoshizawa, M., Sakurai, K. y Minamiyama, M. (Enero, 2007). Establishment of guidelines for the reuse of treated wastewater. *4th Japan – U.S. Drinking Water Quality Management and Wastewater Control*. Conferencia llevada a cabo en el 4ta Conferencia Gubernamental de Japón-Estados Unidos, Okinawa.
- [38] PUB (2014). *Technical Guide for Greywater Recycling*. Singapur.
- [39] Ilemobade, A., Olanrewaju, O. & Griffioen, M. (2013). Greywater reuse for toilet flushing at university academic and residential building. *Water SA*. Vol. 39, Nro. 3, pág. 351-360.
- [40] Marks, J., Martin, B., Zadoroznyj, M. (2006). *Acceptance of Water Recycling in Australia: National Baseline Data*. *Water*, pág. 151 – 157.
- [41] Caroma (2018). Price List. USA.
- [42] Roth (2015). Tarifa / Catálogo 2015. España.
- [43] Bausson, N. (2018). *Sector Servicio de Agua Potable y Saneamiento*. Venezuela: Transparencia Venezuela.
- [44] Asano, T. (2001). Water from (waste)water – The dependable water resource. *2001 Stockholm Water Prize Laureate Lecture*. Simposio llevado a cabo en el 11th Simposio de Agua en Stockholm, Suecia.
- [45] Lazarova, V. & Asano, T. (2013). Milestones in water reuse: main challenges, keys to success and trends of development. An overview. En Lazarova, V., Asano, T., Bahri, A. & Anderson, J. (Eds), *Milestones in Water Reuse The Best Success Stories* (pp. 1 - 22).: UK: IWA Publishing.
- [46] Escalante, V., Cardoso, L., Ramírez, E., Moeller, G., Mantilla, G., Montecillos, J., Servín, C. & Villavicencio, F. (2014). *Seminario Internacional sobre Métodos Naturales para el Tratamiento de Aguas Residuales*. Seminario llevado a cabo en la Universidad del Valle/Instituto Cinara, Colombia.
- [47] Agencia Venezolana de Noticias (2013, 2 de Julio). Nuevo esquema tarifario del servicio eléctrico se aplicará en 2014. *Finanzas Digital*. Recuperado el 17 de Marzo del 2021, de <https://www.finanzasdigital.com/2013/07/nuevo-esquema-tarifario-del-servicio-electrico-se-aplicara-a-partir-de-2014/>
- [48] Montenegro, J., Flores, R. & Urdaneta A. (2007). *Comparación de Tarifas Eléctricas Residenciales a Nivel Mundial*. I Congreso Venezolano de Redes y Energía Eléctrica. Comité Nacional Venezolano, Venezuela.