

**EVALUACIÓN DE LA VIABILIDAD SOCIAL, TÉCNICA Y ECONÓMICA DE LA  
IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE RECOLECCIÓN, TRATAMIENTO Y  
APROVECHAMIENTO DE AGUAS LLUVIAS Y AGUAS GRISES EN UN  
PROYECTO DE VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL**

**JOSE GABRIEL MENDOZA SANTOS**

**CARLOS IVÁN RINCÓN MÉNDEZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERIA FÍSICO-MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
BUCARAMANGA**

**2016**

**EVALUACIÓN DE LA VIABILIDAD SOCIAL, TÉCNICA Y ECONÓMICA DE LA  
IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE RECOLECCIÓN, TRATAMIENTO Y  
APROVECHAMIENTO DE AGUAS LLUVIAS Y AGUAS GRISES EN UN  
PROYECTO DE VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL**

**JOSE GABRIEL MENDOZA SANTOS  
CARLOS IVÁN RINCÓN MÉNDEZ**

**Trabajo de Grado para optar al título de  
Ingeniero Civil**

**Directores:**

**ISABEL CRISTINA DOMÍNGUEZ RIVERA  
Ingeniera, MSc., PhD.**

**EDGAR RICARDO OVIEDO OCAÑA  
Ingeniero, MSc., PhD.**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERIA FÍSICO-MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL  
BUCARAMANGA**

**2016**

*A mi Madre, que, con todo su sacrificio y esfuerzo, hizo posible que fuera el primer Ingeniero de la familia, a mi familia que fue un apoyo incondicional durante estos cinco años de estudio y a mis amigos que siempre estuvieron ahí en los momentos difíciles.*

*Jose Gabriel Mendoza Santos*

*A Dios por darme la fuerza, la sabiduría y guiarme en todo momento hacia el camino correcto. Hasta aquí Dios me ha ayudado. A Él sea la gloria por los siglos de los siglos.*

*A la memoria de mi Abuela Teresa de Jesús Pico, quien con su infinito amor y paciencia estuvo apoyándome hasta su último día en esta tierra.*

*A mi Madre Mercedes Méndez Pico, por su amor, cariño, comprensión y apoyo incondicional en todos los momentos. A ella quien fue mi motor para alcanzar este sueño.*

*A mi Padre Alejandro Rincón Becerra, quien me enseñó las labores de la construcción y estuvo presente en este gran logro.*

*A mi Tío Ariosto Méndez Pico, mi segundo papá quien con su apoyo absoluto y sus consejos hizo parte de este sueño hecho realidad.*

*A mi familia, Tíos, Tías, Primos, Primas, quienes siempre estuvieron presentes con una palabra de ánimo y aportaron un granito de arena para la realización de este sueño.*

*A todos mis amigos de la universidad que estuvieron en el proceso de formación como ingenieros, a aquellos que estuvieron trasnochando y con ojeras luchando por este deseado sueño.*

*A mis amigos de la iglesia Movimiento Misionero Mundial, que con sus consejos y oraciones estuvieron presentes.*

*Carlos Iván Rincón Méndez*

## **AGRADECIMIENTOS**

A los profesores Isabel Cristina Domínguez Rivera y Edgar Ricardo Oviedo Ocaña por la orientación, colaboración y apoyo incondicional otorgado en todo el desarrollo del proyecto.

A la Arquitecta Fanny Quintero Salazar funcionaria de la Oficina Asesora de Vivienda de la Alcaldía de Girón, que nos facilitó planos e información de la urbanización Ciudadela Nuevo Girón, seleccionada como caso de estudio.

Al Ingeniero Civil y docente William Ibáñez por su constante asesoría.

A los compañeros Iván Fernando Bayona Gómez y Andrés Mauricio Ariza Picón, por su apoyo durante la realización de las encuestas.

A los Ingenieros Civiles Julián Zaraza y Myriam Rivera por todos los consejos y ayuda recibida.

En general a o todos los que hicieron posible la realización de este proyecto.

JOSE GABRIEL MENDOZA SANTOS

CARLOS IVÁN RINCÓN MÉNDEZ

## TABLA DE CONTENIDO

1	PLANTEAMIENTO Y JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.....	18
2	OBJETIVOS .....	19
2.1	Objetivo General.....	19
2.2	Objetivos Específicos .....	19
3	Caso de Estudio .....	20
3.1	Precipitaciones del lugar .....	21
3.2	Superficie y área de captación.....	21
3.3	Consumo de agua neto de la vivienda.....	21
3.4	Consumo de agua en actividades domésticas .....	22
3.5	Ocupación de la vivienda .....	22
3.6	Posibles fuentes de aguas grises y posibles usos para el agua tratada.....	22
3.7	Caracterización del agua de reúso.....	22
3.8	Opciones de tratamiento.....	23
3.8.1	Agua lluvia.....	24
3.8.2	Agua Gris.....	25
3.9	Tecnologías de reúso .....	26
3.9.1	Aguas Lluvias .....	27
3.9.2	Agua Gris.....	27
3.10	Estudios de viabilidad.....	28
3.10.1	Viabilidad social.....	28
3.10.2	Viabilidad Técnica.....	28
3.10.3	Viabilidad económica.....	29
4	METODOLOGÍA.....	30
4.1	Obtención de los Parámetros de diseño .....	30
4.1.1	Precipitaciones del lugar .....	31
4.1.2	Superficie y área de captación.....	31
4.2	Selección y dimensionamiento de los sistemas de reúso .....	31
4.2.1	Sistema de aguas lluvias .....	32

4.2.2	Sistema de aguas grises.....	33
4.2.3	Sistema de reúso de agua gris y agua lluvia .....	33
4.3	Selección de los tratamientos para el agua lluvia y gris .....	34
4.4	Determinación del ahorro y gastos por mantenimiento.....	34
4.4.1	Ahorro de agua .....	34
4.4.2	Ahorro de dinero por conceptos de acueducto y alcantarillado .....	35
4.4.3	Gastos por mantenimiento.....	35
4.5	Costos .....	35
4.6	Selección del diseño.....	35
4.7	Evaluación de la viabilidad social, técnica y económica del sistema.....	36
4.7.1	Viabilidad social.....	36
4.7.2	Viabilidad Técnica.....	36
4.7.3	Viabilidad Económica .....	36
5	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	37
5.1	Obtención de parámetros de diseño .....	37
5.1.1	Análisis de resultados de la encuesta.....	37
5.2	Selección y dimensionamiento de los sistemas .....	39
5.2.1	Sistema de reúso de aguas lluvias.....	39
5.2.2	Sistema de reúso de aguas grises .....	40
5.2.3	Sistema de reúso de agua gris y agua lluvia .....	42
5.3	Selección de los tratamientos para el agua lluvia y gris .....	42
5.3.1	Agua lluvia.....	43
5.3.2	Agua gris.....	43
5.4	Determinación del ahorro y gastos por mantenimiento.....	44
5.4.1	Ahorro de agua .....	44
5.4.2	Ahorro de dinero por conceptos de acueducto y alcantarillado .....	45
5.4.3	Gastos por mantenimiento.....	45
5.5	Costos .....	45
5.6	Selección del diseño.....	45
5.6.1	Análisis de resultados de la encuesta.....	46
5.7	Evaluación de la viabilidad social, técnica y económica.....	47
5.7.1	Viabilidad Social .....	47

5.7.2	Viabilidad Técnica .....	47
5.7.3	Viabilidad Económica .....	48
6	CONCLUSIONES.....	50
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	51
	BIBLIOGRAFÍA.....	53
	ANEXOS.....	61

## LISTA DE TABLAS

<i>Tabla 1. Revisión de la calidad del agua lluvia en Colombia.....</i>	<i>23</i>
<i>Tabla 2. Revisión de la calidad del agua gris en Colombia .....</i>	<i>24</i>
<i>Tabla 3. Resultados de evaluaciones económicas en otras investigaciones.....</i>	<i>29</i>
<i>Tabla 4. Dimensionamiento del tanque de aguas lluvias.....</i>	<i>40</i>
<i>Tabla 5. Ahorro de dinero por conceptos de acueducto y alcantarillado de los tres sistemas propuestos.....</i>	<i>45</i>
<i>Tabla 6. Ahorro y costo de la inversión de los sistemas propuestos. ....</i>	<i>47</i>
<i>Tabla 7. Criterios de la evaluación de viabilidad técnica .....</i>	<i>47</i>
<i>Tabla 8. Resultados evaluación financiera.....</i>	<i>48</i>

## LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1. Fotografías de Ciudadela Nuevo Girón.....</i>	<i>21</i>
<i>Figura 2. Tanque de Aguas Lluvias con grifo. ....</i>	<i>27</i>
<i>Figura 3. Usos aceptados para el reúso en diferentes estudios.....</i>	<i>38</i>
<i>Figura 4. Esquema del sistema de aprovechamiento de aguas lluvias propuesto.....</i>	<i>39</i>
<i>Figura 5. Esquema del sistema de reúso de aguas grises propuesto.....</i>	<i>41</i>
<i>Figura 6. Disposición a usar agua gris de mala calidad estética.....</i>	<i>44</i>
<i>Figura 7. Resultado de la selección del sistema.....</i>	<i>46</i>

## LISTA DE ANEXOS

<b>Anexo A.</b> Encuesta: Aprovechamiento de Aguas Lluvias y Aguas Domésticas.....	61
<b>Anexo B.</b> Encuesta reúso de aguas lluvias y aguas grises.....	63
<b>Anexo C.</b> Diseño de la red de distribución de aguas grises.....	68
<b>Anexo D.</b> Especificaciones Técnicas del tanque de aguas grises.....	68
<b>Anexo E.</b> Especificaciones del tren de tratamiento de aguas lluvias: Malla antiplagas.....	69
<b>Anexo F.</b> Especificaciones del tren de tratamiento de aguas lluvias: Filtro autolimpiante y filtro de hojas.....	70
<b>Anexo G.</b> Especificaciones del tren de tratamiento de aguas lluvias: Desviador del primer flujo.....	71
<b>Anexo H.</b> Gastos por mantenimiento de los tres sistemas propuestos.....	72
<b>Anexo I.</b> Resumen de costos por capítulos de los tres sistemas propuestos.....	73
<b>Anexo J.</b> Presupuestos de construcción de los sistemas propuestos.....	74
<b>Anexo K.</b> Flujo de caja de los sistemas propuestos.....	81

## RESUMEN

**TITULO:** EVALUACIÓN DE LA VIABILIDAD SOCIAL, TÉCNICA Y ECONÓMICA DE LA IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE RECOLECCIÓN, TRATAMIENTO Y APROVECHAMIENTO DE AGUAS LLUVIAS Y AGUAS GRISES EN UN PROYECTO DE VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL

**AUTORES:** JOSE GABRIEL MENDOZA SANTOS

CARLOS IVÁN RINCÓN MÉNDEZ

**PALABRAS CLAVE:** AGUAS LLUVIAS, AGUAS GRISES, VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL, REÚSO.

### DESCRIPCIÓN:

Actualmente se ha podido evidenciar como la escasez del recurso hídrico ha generado un gran impacto en la sociedad debido a la importancia que tiene para su desarrollo. Con el objetivo de contribuir a la disminución de la demanda doméstica de agua potable, se evaluó la viabilidad social, técnica y económica, de implementar un sistema de reúso de agua gris y de captación de aguas lluvias en una urbanización de viviendas de interés social de bajo consumo (130 lit/hab/día) en Girón, Santander, seleccionada como caso de estudio. Para lograrlo, se identificaron las condiciones socioeconómicas y ambientales que condicionan el diseño, se propusieron y diseñaron tres sistemas y se determinaron sus costos de construcción, operación y mantenimiento. En el caso de estudio, se obtuvo una aceptación del reúso del 91 y 78% para aguas lluvias y aguas grises, respectivamente. El sistema seleccionado ahorra el 25% del consumo total de una vivienda ( $59 m^3$  anuales) y tiene un tiempo de retorno de la inversión de 26 años, una tasa interna de retorno de 4.61% y una relación beneficio costo de 1.31. Resultados similares a los evidenciados en investigaciones realizadas en viviendas unifamiliares de distintos países como Brasil, España y en vivienda de estrato 6 en Colombia.

---

\*Trabajo de grado

\*\*Facultad de ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de ingeniería civil. Directores: Isabel Cristina Domínguez Rivera, ingeniera, msc., phd.; Edgar Ricardo Oviedo Ocaña, ingeniero, msc., phd.

## ABSTRACT

**TITLE:** ASSESSMENT OF THE SOCIAL, TECHNICAL AND ECONOMIC VIABILITY OF THE IMPLEMENTATION OF A COLLECTION, TREATMENT AND UTILIZATION SYSTEM OF RAIN WATER AND GREY WATER IN A SOCIAL INTEREST HOUSING PROJECT

**AUTHORS:** JOSE GABRIEL MENDOZA SANTOS

CARLOS IVÁN RINCÓN MÉNDEZ

**KEYWORDS:** RAINWATER, GREYWATER, LOW-INCOME HOUSEHOLDS, REUSE.

### DESCRIPCIÓN:

Currently it has been evident how the scarcity of water resources has generated a great impact on society because of the importance for its development. With the aim of contributing to reduce domestic drinking water demand, the social, technical and economic feasibility of implementing a greywater reuse and rainwater harvesting system was evaluated. For this, a case study in a social housing neighborhood, located in Girón, Santander (Colombia), with low water consumption (130 liters per capita per day) was selected. To achieve this, socioeconomic and environmental conditions that determine design were identified, three systems were proposed and designed, and their construction, operation and maintenance costs were determined. The results include a reuse acceptance of 91 and 78% for rainwater and gray water respectively. The selected system saves 25% of the total house consumption (annually  $59 m^3$ ) and has a return time of the investment of 26 years, an internal rate of return of 4.61% and a benefit-cost relationship of 1.31. This results were similar to the obtained in research conducted in single family houses of different countries like Brazil, Spain and high-income housing in Colombia.

---

\*Grade Project

\*\*UIS Physicomecanic Engineering Faculty, Civil Engineering School, Directors: Isabel Cristina Domínguez Rivera, engineer, msc., phd.; Edgar Ricardo Oviedo Ocaña, engineer, msc., phd.

## INTRODUCCIÓN

La importancia del agua para la humanidad radica en que prácticamente todas las actividades relacionadas con el hombre dependen de ella [1]. Alrededor del mundo hay señales de que el uso del agua por parte de la humanidad ha sobrepasado los niveles sostenibles, el agotamiento del agua subterránea, ríos secos o con muy poco caudal [2]. Todas las evidencias parecen indicar que la crisis está empeorando y que continuará así, a no ser que se tomen medidas correctivas [3].

Debido a esta problemática, han surgido diversas estrategias para garantizar un óptimo uso de este recurso. Entre estas se encuentran los sistemas de reúso de aguas grises y de aprovechamiento de aguas lluvias, los cuales dependiendo de su complejidad, representan tecnologías de bajas inversiones y que están al alcance de cualquier tipo de comunidad.

Según un artículo publicado en la revista Portafolio (2015), cerca del 45% de los colombianos pertenecen a los estratos uno y dos, estratos que usualmente son los favorecidos con viviendas de interés social. Lo que implica que la implementación de sistemas de reúso, en este tipo de vivienda puede tener una repercusión bastante importante en la disminución de la demanda de agua potable en el país.

Teniendo esto en cuenta, y con el objetivo de aportar y promover soluciones para el ahorro de agua en el país, el propósito de la presente investigación es garantizar la aplicabilidad de sistemas de reúso de aguas grises y de aprovechamiento de aguas lluvias en viviendas de interés social, mediante la evaluación de la viabilidad social, técnica y económica de un sistema propuesto en una urbanización caso de estudio con estas características.

## 1 PLANTEAMIENTO Y JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

El no contar con una fuente de agua potable adecuada puede incidir en la aparición de enfermedades, falta de alimento para la población, puede afectar el desarrollo económico, los ecosistemas, etc. [1]. Lejos está Colombia hoy de ser el cuarto país con más abundancia de agua del mundo como lo fue entre 1970-1980 [4]. Aunque actualmente Colombia tiene el potencial para cubrir las demandas de agua de la población, y para conservar una parte importante del recurso hídrico destinado a mantener la salud de los ecosistemas en buenas condiciones, el tomar medidas apropiadas para regular la demanda de agua es necesario para mantener su buena posición frente a la escasez global del recurso [5].

El plan de desarrollo de Santander 2012-2015 (Gobernación de Santander, 2012) [6], está enmarcado en el concepto de desarrollo sostenible: *“Satisfacer las necesidades de las generaciones presentes, sin comprometer las posibilidades de las del futuro para atender sus propias necesidades”* [7]. Ya que el agua es un recurso vital para la supervivencia humana, este es el eje principal del desarrollo sostenible de cualquier ciudad [8], y teniendo en cuenta que el agua es un recurso renovable pero finito, el buscar estrategias para garantizar un óptimo uso de este recurso es una necesidad prioritaria para todos los habitantes de la sociedad [2].

Por otro lado, con el objetivo de disminuir el déficit cuantitativo de vivienda estimado en 554,087 unidades residenciales (medido en el año 2012), el Gobierno Nacional en 2014 se propuso la meta de construir 400,000 viviendas de interés social en los próximos cuatro años [9]. Esta gran cantidad de edificaciones a construir significa el uso de una considerable cantidad de recursos naturales, debido no solo a la ejecución de la construcción sino también al consumo de recursos que tendrán las viviendas durante su vida útil (DING, 2006) [10]. En aras de tratar de contribuir a una coexistencia más amigable con la naturaleza, la implementación de sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias, y de reciclaje de aguas grises en esta gran cantidad de viviendas de interés social, es una buena opción para contribuir al cuidado del recurso hídrico en Colombia.

En este contexto, este trabajo de grado evaluará la viabilidad social, técnica y económica de la implementación de un sistema de recolección, tratamiento y aprovechamiento de aguas lluvias y aguas grises en un proyecto de vivienda de interés social. La realización de estudios de viabilidad antes de poner en marcha cualquier proyecto es de suma importancia, pues a través de estos estudios se puede obtener información como la rentabilidad económica, el impacto social, la viabilidad técnica, ayudando a concluir sobre la idoneidad o no de llevar a cabo el proyecto y a identificar aspectos que deban revisarse antes de iniciar el proyecto [11].

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo General**

- Evaluar la viabilidad social, técnica y económica de la implementación de un sistema de recolección, tratamiento y aprovechamiento de aguas lluvias y aguas grises en un proyecto de vivienda de interés social.

### **2.2 Objetivos Específicos**

- Identificar las condiciones socioeconómicas y naturales que condicionan el diseño y la implementación de un sistema de recolección, tratamiento y aprovechamiento de aguas lluvias y aguas grises en un proyecto de vivienda de interés social.
- Proponer y diseñar un sistema de recolección, tratamiento y aprovechamiento de aguas lluvias y aguas grises, para un proyecto de vivienda de interés social.
- Determinar los costos de construcción, mantenimiento y operación que este sistema supondría en una vivienda nueva, así como los beneficios económicos y ambientales.
- Evaluar la viabilidad social, técnica y económica del sistema de recolección, tratamiento y aprovechamiento de aguas lluvias y aguas grises propuesto.

### 3 Caso de Estudio

Para este proyecto se seleccionó como caso de estudio un conjunto de 1,593 viviendas de interés social construido en el barrio Ciudadela Nuevo Girón, el cual está ubicado en la vía Girón-Zapatoca. Este conjunto de viviendas de interés social es de estrato uno, y fue realizado con el fin de reubicar a los damnificados de la ola invernal de febrero de 2005, ocurrida en este municipio.

Las razones por las que se seleccionó este proyecto son primero que este es un lugar de fácil acceso con varias rutas de buses de transporte público, segundo que gracias a la Oficina Asesora de Vivienda de la Alcaldía de Girón se dispone de planos arquitectónicos, estructurales, de instalaciones eléctricas, hidráulicas y sanitarias de este proyecto; y por último que a menos de 500 metros del barrio Ciudadela Nuevo Girón se cuenta con una estación meteorológica del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM, lo que permite tener la información necesaria acerca de las precipitaciones en la zona. Según el IDEAM, en este lugar la precipitación promedio anual de los últimos 25 años es de *974mm*.

En la Ciudadela Nuevo Girón, las viviendas fueron entregadas en obra gris, con los pisos hechos de mortero, las paredes sin acabados y el techo con tejas de fibrocemento. Cada casa tiene un lote de 12x4 metros, en el cual se construyó la mitad de la casa, y se dejó un espacio en el patio trasero para su posterior ampliación, para la cual las personas cuentan con todos los planos necesarios. Estas viviendas fueron entregadas con una habitación, un baño, sala, cocina y lavadero. Realizando la ampliación de la vivienda, se tendrían adicionalmente dos habitaciones y dos baños más.

Uno de los aspectos que sobresale al revisar los planos de las viviendas entregados por la Alcaldía de Girón, es que no se contempla la utilización de un tanque de almacenamiento de agua potable, situación que va en contra de las normativas de diseño de nuestro país, en las cuales se expresa la obligatoriedad de almacenar por lo menos el consumo de agua de un día de la vivienda.

En esta urbanización, el servicio de acueducto es prestado por la empresa de servicios públicos Ruitoque S.A. ESP y el servicio de alcantarillado por la Empresa Pública de Alcantarillado de Santander S.A. E.SP. EMPAS.



*Figura 1. Fotografías de Ciudadela Nuevo Girón. Fuente: Vanguardia.com*

### **3.1 Precipitaciones del lugar**

El diseño del sistema de aprovechamiento de aguas lluvias se debe realizar a partir de los datos de las precipitaciones diarias del lugar donde se piensa implementar el sistema para que este pueda ser dimensionado correctamente. Es óptimo que el periodo de tiempo del que se tenga información, sea lo más grande posible, con un valor mínimo de entre diez y quince años.

### **3.2 Superficie y área de captación**

Conocer el tamaño del área de captación es importante a la hora del diseño, pues a través de este parámetro, se puede conocer la cantidad de agua lluvia que puede ser recolectada y posteriormente aprovechada (oferta). El agua lluvia se puede captar en diversas superficies como pisos, techos, recipientes, etc. aunque por economía y calidad del agua, se recomienda la captación mediante techos.

### **3.3 Consumo de agua neto de la vivienda**

El consumo de agua de una vivienda es importante para conocer la demanda total de agua y posteriormente calcular el consumo promedio por persona por día. Este consumo varía regionalmente y entre viviendas, dependiendo de los usos que se le dé al agua y de que tan eficientemente ésta sea usada. Este consumo total de agua de una vivienda se puede obtener de la factura del servicio de acueducto, alcantarillado y aseo tal como lo hicieron Ghisi y Mengotti de Oliveira (2007) y Rivera y Zaraza (2015). Este dato puede ser suministrado por los propietarios de cada vivienda.

### **3.4 Consumo de agua en actividades domésticas**

Conocer las actividades en las que se consume el agua potable en la vivienda a diseñar permite determinar la cantidad de agua gris que se puede recolectar, y la que se requiere para cierta actividad, información que es útil a la hora de dimensionar el tanque de aguas grises y calcular la demanda de agua lluvia.

Para Colombia, de acuerdo con la Comisión Reguladora del agua (CRA), el 27% del agua potable es usada para el lavado de ropa, el 20% para la descarga del inodoro, el 21% para la ducha, el 16% para el lavado de platos, el 5% para el aseo de la vivienda, el 4% para el consumo propio, el 4% para el lavado de manos, el 2% para el lavado de vehículos y el 3% para el riego de plantas.

### **3.5 Ocupación de la vivienda**

Conocer la cantidad de ocupantes de las casas sirve para, a partir del consumo neto de la vivienda, establecer cuál es el consumo promedio de agua por habitante por día y también para posteriormente obtener el número de habitantes promedio en estas viviendas, parámetros importantes a la hora del diseño.

### **3.6 Posibles fuentes de aguas grises y posibles usos para el agua tratada**

Las principales fuentes de aguas grises en una vivienda son normalmente: duchas, lavamanos, lavadoras y lavaplatos. Debido a que el sistema de aprovechamiento de aguas lluvias y de reciclaje de aguas grises se va a diseñar para ser usado por personas pertenecientes al estrato uno, estas mismas personas son las que deben decidir cuáles son las fuentes de aguas grises para ellos aceptables, y también los usos que estarían dispuestos a darle al agua tratada para que el sistema sea socialmente aprobado.

### **3.7 Caracterización del agua de reúso**

Es importante caracterizar el agua del lugar donde se piensa implementar un sistema de reúso, en este caso, el agua lluvia y el agua gris, debido a que a partir de los parámetros observados se selecciona la complejidad del tratamiento a usar, para así alcanzar los estándares de calidad requeridos.

La calidad del agua lluvia recolectada por un sistema de aprovechamiento de aguas lluvias, depende de una gran cantidad de factores, entre ellos, la duración de los periodos secos, el material del techo, las condiciones de almacenamiento; depende

también del diseño y buen mantenimiento del sistema y de la polución atmosférica de la zona, ya que esta puede afectar el pH del agua.

Respecto a las aguas grises, su calidad varía de fuente a fuente. Esta depende de la calidad del suministro de agua, el tipo de actividad en la que ha sido usada y las diferentes costumbres de los usuarios. Así, por ejemplo, según Allen, Smith y Palaniappan (2010) el agua usada en la ducha tendrá unas características fisicoquímicas y microbiológicas diferentes a la que se usa en el lavaplatos, teniendo este último una mayor cantidad de materia orgánica y grasas que el agua de la ducha.

*Tabla 1. Revisión de la calidad del agua lluvia en Colombia.*

	pH	SST	Turb	DBO	CT
	-	mg/l	NTU	mg/l	UFC/100ml
Agua lluvia limpia (La Bocana) <sup>1</sup>	6.8	N	1.2	N	0
Agua que cae al techo (La Bocana) <sup>1</sup>	7.0	N	1.2	N	44
Agua que cae al techo (techo de fibrocemento) <sup>2</sup>	8.3	104	24.0	N	N
Agua que cae al techo (Soacha) <sup>2</sup>	7.4	149	17.0	N	N
Agua que cae al techo (Kennedy) <sup>2</sup>	8.0	124	21.0	20	N
Agua que cae al piso <sup>3</sup>	5.7	N	2.2	N	132
Normativa de reúso urbano no potable <sup>4</sup>	6-9		<2	<10	0

SST: Sólidos suspendidos totales, Turb: Turbiedad, DBO: Demanda biológica de Oxígeno, CT: Coliformes totales, N: Parámetro no medido.

<sup>1</sup> Sánchez y Caicedo (2002), <sup>2</sup> Torres et al. (2011), <sup>3</sup> Ospina y Ramírez (2014), <sup>4</sup> USEPA (2012).

En la Tabla 1 y Tabla 2, se pueden observar algunos estudios de la calidad del agua lluvia y del agua gris doméstica respectivamente, realizados en Colombia, junto con algunas normativas internacionales que regulan el reúso de estas.

### 3.8 Opciones de tratamiento

Para conocer las opciones de tratamiento que se usan en la actualidad, se realizó una revisión de literatura, la cual, tuvo como objetivo identificar los tratamientos más económicos y a la vez efectivos para tratar las aguas grises y las aguas lluvias. También se tuvo en cuenta en la revisión, el buscar sistemas de tratamiento que ocupen poco espacio, pues el área que se tiene para la ubicación de los

componentes del sistema es bastante pequeña. Algunas de las palabras clave utilizadas fueron: Treatment, technologies, low-cost systems, recycling.

Tabla 2. Revisión de la calidad del agua gris en Colombia

Fuente de Agua gris	pH	SS mg/l	SST mg/l	Turb UNT	DBO mg/l O <sub>2</sub>	CT UFC/100ml	Cl. Residual mg/l
DU, LM, LA, LP <sup>1</sup>	6.99	398	850	150	936	N	-
DU, LM, LA <sup>2</sup>	7	88.4	N	130	N	N	-
DU, LM, LA, LP <sup>3</sup>	7.5	244	2380	167	N	155000	-
Promedio	7	243	1615	149	936	155000	-
Normativas							
E.E. U.U. <sup>4</sup>	6-9	-	-	<2	<10	0	>0,5
Canadá <sup>5</sup>	-	-	<10	<2	<10	<1	-
Australia <sup>6</sup>	6-9	<5	-	<2	<10	<10	>1

SS: Sólidos suspendidos, SST: Sólidos suspendidos totales, Turb: Turbiedad, DBO: Demanda biológica de Oxígeno, CT: Coliformes totales, Cl. Residual: Cloro residual. N: Parámetro no medido. DU: Ducha, LM: Lavamanos, LA: Lavadora, LP: Lavaplatos. <sup>1</sup> Parra, Carrillo y Velandia (2015), <sup>2</sup> Ardila (2013), <sup>3</sup> Moreno y Quintero (2014), <sup>4</sup> USEPA (2012), <sup>5</sup> CMHC (2013), <sup>6</sup> VEPA (2003).

### 3.8.1 Agua lluvia

Las opciones de tratamiento de las aguas lluvias, van desde el uso sin tratar del agua, hasta complejos sistemas de tratamiento que mejoran su calidad hasta el punto de volverla potable. En esta revisión, se tuvieron en cuenta únicamente sistemas económicos que puedan ser implementados en viviendas de escasos recursos, como las del caso de estudio.

Una de las opciones más usadas a nivel global para mejorar la calidad del agua lluvia, y de las más económicas, son los dispositivos desviadores del primer flujo. Se ha demostrado que el uso de estos dispositivos, mejora la calidad microbiológica y fisicoquímica del agua recolectada, y tiene un bajo impacto en el costo del sistema de aprovechamiento de agua lluvia (aproximadamente el 5%).

Otra de las opciones, usada en muchas de las comunidades pobres del pacífico colombiano, es la de hervir el agua, cuando se requiere para consumo humano.

Moreira et al. (2012), reportan el uso de un sistema de filtros lentos de arena, seguido por una etapa de cloración, con un resultado aceptable de la calidad del agua. La etapa de cloración se usa únicamente por seguridad, pues elimina

microorganismos en caso de que el agua entre en contacto con personas durante su uso.

Amin y Alazba (2011), afirman que una adecuada selección del material del techo, inspecciones regulares y limpieza de las canaletas, es suficiente para mejorar la calidad del agua recolectada de manera importante, al igual que el lavado del tanque.

Por otro lado, Silva Vieira, Weeber y Ghisi (2013) afirman que un sistema de filtro auto limpiante de aguas lluvias ideado por ellos, es suficiente para disminuir considerablemente los niveles de turbiedad y sólidos suspendidos del agua lluvia. Sistema que es bastante atractivo, debido a su independencia y falta de necesidad de manipulación por parte de los usuarios y además con un costo total incluyendo la instalación de \$178,000. Según Leggett et al. (2001), para usos no potables del agua lluvia, es suficiente una etapa de filtración, como la anterior, antes de que el agua sea almacenada.

### **3.8.2 Agua Gris**

Principalmente, hay dos tipos de sistemas de reúso de aguas grises, aquellos que reciclan el agua sin ningún tratamiento, y aquellos que tratan el agua antes de usarla. La calidad del agua gris depende en gran medida de las fuentes escogidas para su captación. Algunos autores recomiendan evitar la recolección del agua de la lavadora y del lavadero, pues tienden a estar contaminadas con coliformes fecales.

Li, Boyle y Reynolds (2010), sugieren un sistema de dos etapas de filtro de carbón junto con desinfección. Aunque dicho sistema no cumple con las normativas internacionales de calidad del agua gris pues los niveles de turbiedad y materia orgánica permanecen altos. Esta es una tecnología ampliamente usada en Irlanda. Otro tipo de sistema que proponen estos autores, es un sistema de filtración con membrana, sistema que, aunque elimina la turbiedad, gasta una cantidad considerable de energía y requiere mantenimiento constante.

Parra, Carrillo y Velandia (2015) proponen un tren de tratamiento compuesto por una trampa de grasas, un filtro de arena y una etapa de desinfección, sistema que es efectivo en la erradicación de microorganismos, pero no para disminuir lo suficiente los niveles de turbiedad.

Una opción viable a la hora de hablar de tipos de tratamiento de aguas grises, es hablar de la posibilidad de no hacerle ningún tratamiento. Los sistemas de reúso que no tratan el agua gris, son económicos, duran más, requieren menos

mantenimiento y cuestan menos dinero, aunque, su utilización debe hacerse de forma cuidadosa para evitar el contagio de enfermedades y la aparición de olores fétidos.

En algunas guías de diseño de sistemas de reúso hechas por el gobierno de Australia, se dan algunas recomendaciones para el uso seguro de agua gris sin tratar, como el lavado de manos posterior al uso del agua gris captada, evitar el reúso cuando haya alguna persona en casa con una enfermedad infecciosa como la diarrea y por último limitar el almacenaje del agua gris a un tiempo no mayor a 24 horas. Aunque, autores como Mustow, establecen como límite superior un almacenaje de hasta por 48 horas, alegando que este es aceptable y no influye en el desmejoramiento de la calidad del agua, al igual que Dixon, quien condujo una investigación que monitoreó las propiedades de agua gris almacenada sin tratar.

Aunque en estos sistemas el agua no recibe ningún tratamiento, si se siguen las recomendaciones mencionadas anteriormente, se puede tener un sistema de reúso eficiente y seguro, pues a primera vista, no se encuentran reportes oficiales de enfermedades o muertes causadas por reusar de forma responsable agua gris.

El agua gris sin tratar puede ser usada para el riego de plantas o para la descarga del inodoro y es una práctica ampliamente utilizada en países con problemas de escases de agua como Australia. En una investigación realizada por Pinto y Maheshwari (2003), en la que se encuestó a 275 habitantes del Oeste de Australia, se obtuvo como resultado que el 28% de los encuestados usaban agua gris no tratada en sus hogares, lo que evidencia la magnitud de este tipo de reúso en este país.

### **3.9 Tecnologías de reúso**

Con el fin de conocer las tecnologías para el reúso de agua en la actualidad, se realizó una revisión de literatura. Uno de los objetivos de esta revisión, fue el de evitar sistemas que requirieran el uso de bombas que demandaran electricidad y por lo tanto pudieran encarecer la inversión inicial y los gastos mensuales de operación del sistema. Algunas de las palabras clave usadas en esta revisión fueron: Rainwater, harvesting, greywater, graywater, reuse, low-cost, technologies, system y low-income.

### 3.9.1 Aguas Lluvias

Básicamente todos los sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias ya sean sofisticados o tradicionales realizan la captación, y la recolección de la misma manera, a través del techo de la vivienda y el uso de canaletas y bajantes; y en lo que se diferencian es en la forma de distribución del agua almacenada.

Una de las formas más económicas de distribuir el agua lluvia captada es de forma manual, almacenando el agua en un tanque o pileta y a través de tazas o diferentes recipientes extraer el agua para las actividades requeridas. Una opción bastante similar e igualmente económica, es almacenar el agua en un tanque y adaptarle a este un grifo para así poder extraer el agua de una forma un poco más cómoda que la anterior, y usarla en las actividades del hogar. Ver Figura 2.



*Figura 2. Tanque de Aguas Lluvias con grifo. Fuente: Ecotenda.net*

Por último, está la opción de distribuir el agua a través de tuberías a presión, pero para hacer esto, es necesario el uso de bombas y electricidad, lo que hace que el costo de la inversión y de los gastos mensuales se incremente de una forma considerable.

### 3.9.2 Agua Gris

Teniendo en cuenta las condiciones mencionadas, se encontraron dos posibles tipos de sistemas de reúso de agua gris, los cuales, se describen a continuación.

Debido a la imposibilidad de usar cualquier tipo de bombas, por su alto impacto en el costo del sistema, se consideró la opción de que el agua gris fuera distribuida por gravedad. Para esto, el agua gris del segundo piso puede ser recolectada y transportada a un tanque elevado, para ser finalmente dirigida a través de tuberías a los aparatos del primer piso donde se desee usar el agua recolectada.

La otra opción, es el reúso de agua gris por baldeo manual. En este tipo de sistema se recolecta el agua gris de todos los aparatos de la casa, y se lleva a un tanque al

nivel del suelo en el que el agua gris a usar debe ser extraída de forma manual a través de baldes o recipientes similares, y transportada hasta el lugar donde se piensa reusar el agua. Aunque esta segunda opción permite reusar una mayor cantidad de agua, es un sistema un poco incómodo para los usuarios.

### **3.10 Estudios de viabilidad.**

La evaluación de la viabilidad de un proyecto tiene como objetivo realizar una proyección del éxito o fracaso de dicho proyecto. En la actualidad, hay varios tipos de estudios de viabilidad, pero por ser considerados los estudios más concluyentes, en este caso se evaluó la viabilidad social, técnica y económica del sistema propuesto.

#### **3.10.1 Viabilidad social**

Los estudios de viabilidad social de un proyecto de reúso de agua, como el presente, tienen como objetivo, verificar que las tecnologías y el funcionamiento propuesto sea el apropiado para los usuarios, que estos estén interesados, que tengan la disponibilidad o la capacidad para poder costearlo y que los sistemas sean aceptados culturalmente, y en caso de que no, sugerir cambios.

#### **3.10.2 Viabilidad Técnica**

Un estudio de viabilidad técnica evalúa las restricciones que se presentan al llevar a cabo un proyecto, y que pueden afectar la consecución de un resultado aceptable, así como la disponibilidad de recursos y conocimientos técnicos necesarios. Éste, solo puede realizarse después de terminar la fase de diseño, y después de resolver todas las cuestiones técnicas.

Para proyectos similares, generalmente los criterios a tener en cuenta son los siguientes, facilidad de consecución de los materiales, facilidad de consecución de mano de obra calificada, espacio disponible y resultado final. La importancia del estudio de viabilidad técnica radica en que si en su evaluación, se encuentran obstáculos insalvables, se debe renunciar a la ejecución del proyecto.

### 3.10.3 Viabilidad económica

La evaluación de la viabilidad económica busca definir, mediante la comparación de los beneficios y costos estimados de un proyecto, si es rentable la inversión que demanda su implementación.

Para realizar la evaluación de la viabilidad económica de un proyecto existen una gran cantidad de índices financieros entre los cuales, los más usados son: la Tasa Interna de Retorno TIR, el Tiempo de Retorno TR y el Valor Presente Neto VPN, índices recomendados por la normativa internacional ISO 14040 (2006).

Tabla 3. Resultados de evaluaciones económicas en otras investigaciones. Adaptada de Rivera y Zaraza (2015)

País	Referencia	Esc	Ocupación	Fuente	Descripción	Resultados
CO	Rivera y Zaraza (2015)	C	Una casa, 4 habitantes	AG Y ALL	ALL: filtración, AG: Trampa grasas, filtros de arena st: tren de filtración,	tr: 22 años, tir(50):6.8%, B/C: 2.04
CO	Galvis (2013)	E	300 unidades, 4 hab/unid	AG	clarifloculador, tanques st: filtración,	tr: 11 años, tir(15): 5.75%,
CO	Estupiñán y Zapata (2011)	U	Cubiertas y cancha	ALL	decantación, carbón act., ta: 435m3 st: humedal, ta: 750 L,	tr: 22 años, tir(33): 3.7%,
BR	Ghisi y Oliveira (2007)	C	Una casa, 3 habitantes	AG Y ALL	c: 202m2 , uso: in y lav	tr: 29 años
ES	Morales-Pinzón, Lurueña, et al. (2014)	GC	Dos casas, cuatro hab/casa	ALL	st: no hay, ta: 3m, c: 80m, uso sólo en lavadoras	tr: 44 años, tir(50): - 0.4%,
ES	Domènech y Saurí (2011)	C	Una casa, 3 habitantes	ALL	st: no hay, ta: 5m3, c: 80m2, uso: in y lav	tr:37 años,
IN	Ward, Memon y Butler (2012)	O	300 personas (actual: 111)	ALL	st: no hay, ta: 25m3 , c: 1500m2 , uso: inodoros (in)	tr: 11 años
AU	Gurung y Sharma (2014)	GC	192 casas, 2.6 habitantes/casa	ALL	st: filtración, UV y Cloro, ta: 192m3 , uso: potable	vpn(50): 1'948.800 AUD, o 10.150 AUD/casa5

(CO) Colombia, (BR) Brasil, (ES) España, (IN) Inglaterra, (AU) Australia. (Esc) Escala: (C) Casa, (GC) Grupo de casas, (E) Edificio residencial, (GE) Grupo de edificios residenciales, (O) Oficinas, (U) Universidad. (AG) Aguas grises, (ALL) Aguas lluvia. (st) Sistema de tratamiento, (ta) Taque almacenamiento, (c,) Área cubierta, (in) Inodoros, (lav) Lavadora. Moneda al año: 5 2011

Además de estos, el índice Beneficio costo B/C es uno de los indicadores de mayor aceptación para este tipo de evaluaciones. Este índice es usado y recomendado en investigaciones similares. En la Tabla 3, se recopila una serie de estudios similares en los que se evalúa la viabilidad económica de diferentes sistemas de reúso de agua, incluida en la investigación realizada por Rivera y Zaraza (2015).

En proyectos sociales y ambientales como el presente, los índices mencionados anteriormente, sirven únicamente para medir la viabilidad financiera. Para poder llegar a una conclusión sobre la viabilidad económica de un sistema como el presente, se hace necesario tener en cuenta, factores ambientales como el agua gris que se deja de verter en los ríos y el aumento en el nivel de los ríos debido a que se usaría menos agua; también factores sociales como la toma de conciencia de los ciudadanos y la mejor calidad de vida de las personas con difícil acceso al agua; y factores económicos globales como la disminución en la cantidad de dinero que se debe invertir en acueductos, plantas de tratamiento, y la disminución de medidas drásticas como el racionamiento de agua y luz. Incluir estas externalidades relevantes puede tener un fuerte impacto en los resultados de la evaluación de la viabilidad económica.

#### **4 METODOLOGÍA**

La metodología de este artículo es la de “Caso de estudio”, y es similar a la establecida en “Factibilidad técnica y económica de la implementación de un sistema hidrosanitario para la reutilización de aguas grises y pluviales, caso de estudio en vivienda de alto consumo del A.M. de Bucaramanga” investigación realizada por Rivera y Zaraza (2015) que aunque es similar a la presente investigación, tiene un contexto totalmente diferente, pues en el caso de Rivera y Zaraza (2015) se realizó en viviendas estrato 6 de alto consumo de agua, mientras que, en este caso se hizo en viviendas de interés social de bajo consumo.

##### **4.1 Obtención de los Parámetros de diseño**

La obtención de los parámetros de diseño mencionados en 2, se hizo a través de la realización de encuestas y a través de instituciones oficiales como el IDEAM.

A través de las encuestas, se obtuvieron algunos parámetros necesarios para el diseño del sistema, como el consumo de agua promedio o los usos aceptados para el agua tratada por parte de los habitantes de estas viviendas de interés social. También, se obtuvo información relevante para concluir acerca de la viabilidad social del proyecto, como la aceptación del reúso y la disposición para realizar labores de operación y mantenimiento.

El tipo de encuesta realizado fue cara a cara y se realizó en el proyecto seleccionado como caso de estudio, Ciudadela Nuevo Girón. El tipo de muestreo fue aleatorio-simple, pues debido a la gran cantidad de viviendas disponibles (más de mil), se

seleccionaron los entrevistados de forma totalmente al azar. El tamaño de la muestra calculado fue de 65 encuestas, esto teniendo en cuenta que la población objeto del estudio fue de 1,593 viviendas, tomando además un nivel de confianza de 90%, un error del 10% y una proporción del 50%, usando la fórmula para poblaciones finitas incluida en (Fernández 1996).

Básicamente la estructura de la encuesta estuvo dividida en cuatro partes: la primera trató sobre el consumo de agua en la vivienda, la segunda sobre agua lluvia, la tercera sobre aguas grises y por último la aceptación del proyecto. Ver anexo A.

#### **4.1.1 Precipitaciones del lugar**

Para el presente caso de estudio, se recibió información acerca de las precipitaciones de los últimos 30 años por parte del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM. La estación a partir de la cual se obtuvo la información fue la “Llano grande [23195110]”. Algunos de estos años de información hidrológica que fueron recibidos, se encontraban bastante incompletos ya sea por fallas técnicas en la estación u otros motivos. Debido a estas razones, sólo se usaron 25 de los 30 años para el análisis.

#### **4.1.2 Superficie y área de captación**

Teniendo en cuenta la revisión 2.2. y que el techo es la superficie de captación más comúnmente usada (Fewkes 2012), se escoge el techo de la vivienda para la función de captación. Para el presente caso de estudio, la magnitud del área de captación es de  $30.5 m^2$  y su coeficiente de escorrentía de 0.9 (debido a que el techo está hecho con tejas de eternit y tiene una inclinación del 25%).

### **4.2 Selección y dimensionamiento de los sistemas de reúso**

Para seleccionar las tecnologías a emplear, se usó la revisión de tecnología reportada en 3.9, a partir de la cual se seleccionaron los sistemas de reúso que mejor se ajustaban a los requerimientos del caso de estudio, para posteriormente pasar a su dimensionamiento. Para seleccionar las fuentes de agua gris, las actividades en que esta sería usada y las actividades aceptadas para el uso de agua lluvia, se usaron los resultados de la encuesta mencionada en 3.1.

En esta etapa se diseñaron tres opciones de sistemas de reúso: el primero de reúso de aguas grises, el segundo, de reúso de aguas lluvias y por último el reúso simultaneo de aguas grises y aguas lluvias.

## 4.2.1 Sistema de aguas lluvias

### 4.2.1.1 Dimensionamiento de la red

El dimensionamiento de la red del sistema de aprovechamiento de aguas lluvias, se hizo conforme a lo estipulado en el Código Colombiano de Fontanería NTC1500.

### 4.2.1.2 Dimensionamiento del tanque de agua lluvia.

El factor más influyente en la eficiencia de un sistema de aprovechamiento de aguas lluvias es el correcto dimensionamiento del tanque. Si el tanque está sobrediseñado este acarreará sobrecostos y si este está subdiseñado, tendrá una baja eficiencia. El diseño del tanque es diferente en cada caso, y para su óptimo dimensionamiento se debe contar con datos locales de precipitación, demanda de agua potable, número de residentes y del área y material del techo.

Uno de los métodos de dimensionamiento de tanques para almacenamiento de agua lluvia más usado es el método simplificado, el cual, es eficiente y bastante fácil de usar. Normalmente hay dos enfoques a partir de los cuales se diseña el tanque, el enfoque de demanda y el enfoque de oferta. En el enfoque de demanda, se ignora la información de las precipitaciones y se diseña teniendo en cuenta las necesidades de los habitantes y los periodos de sequía.

En el enfoque de oferta ocurre lo contrario se tiene en cuenta únicamente la información de precipitaciones y se ignora la demanda.

En este caso el método usado para dimensionar el tanque es un método simplificado basado en la oferta. Con este método se suponen varios tamaños de tanque y a cada uno de estos se le calcula el volumen de agua que puede acumular anualmente. Teniendo en cuenta factores como la demanda de agua y la eficiencia en los costos, se procede a seleccionar el tanque adecuado para el caso de estudio. El cálculo del volumen anual se hace a partir de la siguiente ecuación:

$$V_{itx} = \frac{\sum_{j=m}^{j=n} (LjC + FjP)A}{1000(n - m + 1)} \quad [1]$$

En la que  $V_{itx}$  es el volumen de agua acumulado en el mes  $i$  para un tanque de tamaño  $X$ ,  $m$  es el año inicial con información hidrológica,  $n$  el último año con información hidrológica,  $A$  el área de captación,  $C$  el coeficiente de esorrentía de la superficie de captación,  $P$  la precipitación en milímetros necesaria para llenar el

tanque de almacenamiento de tamaño  $X \left( P = \frac{1000X}{A} \right)$ ,  $F$  el número de lluvias en el mes  $i$  con precipitación mayor a  $P$  y  $L$  la precipitación acumulada en el mes  $i$  cuyas precipitaciones diarias fueron inferiores a  $P$ .

## **4.2.2 Sistema de aguas grises**

### **4.2.2.1 Dimensionamiento de la red**

El dimensionamiento de la red del sistema de aprovechamiento de aguas grises está dividido en dos partes: la primera, comprende la recolección del agua gris y su transporte al tanque de almacenamiento, y la segunda, comprende la distribución a presión del agua gris almacenada hacia el inodoro del primer piso. La primera parte de la red, fue dimensionada conforme a lo establecido en el Código Colombiano de Fontanería NTC1500, y la segunda se hizo a través del método de Hunter modificado.

### **4.2.2.2 Dimensionamiento del tanque de aguas grises.**

El dimensionamiento del tanque de almacenamiento de aguas grises se hizo teniendo en cuenta el menor valor entre la demanda y la oferta diaria, con el fin de que el ciclo de reuso sea de un día.

La oferta está dada por la cantidad de agua que sale de los aparatos seleccionados para ser la fuente de aguas grises y la demanda depende de los usos que se le quiera dar al agua tratada.

### **4.2.2.3 Altura del tanque**

La altura mínima del tanque de almacenamiento se calculó teniendo en cuenta los requisitos de presión mínima de los aparatos sanitarios del Código Colombiano de Fontanería NTC1500, las pérdidas por fricción y por accesorios y las dimensiones de tanques comerciales.

## **4.2.3 Sistema de reuso de agua gris y agua lluvia**

Este sistema consiste en la utilización simultánea de los dos sistemas propuestos en 4.2.1. y 4.2.2.

### **4.3 Selección de los tratamientos para el agua lluvia y gris**

Cuando se quiere seleccionar un sistema de tratamiento para el reúso de agua, como en el presente caso, se deben tener en cuenta factores sociales, técnicos y económicos, para que el diseño realizado esté acorde a las necesidades y expectativas de los usuarios. De nada sirve proponer un sistema de tratamiento demasiado costoso, cuando el ahorro de agua mensual es muy bajo, incluso, el medio ambiente se vería más contaminado por los desperdicios de tubería, de electricidad, filtros, etc. que por el propio desperdicio de agua.

En este contexto socioeconómico, vivienda de interés social estrato 1, y teniendo en cuenta los parámetros de diseño encontrados con la encuesta de hogares y en la revisión de literatura 3.8, se seleccionaron las alternativas más económicas y a la vez eficientes para el tratamiento de las aguas grises y las aguas lluvias.

### **4.4 Determinación del ahorro y gastos por mantenimiento**

#### **4.4.1 Ahorro de agua**

Después de tener el sistema dimensionado y diseñado, se procedió a calcular el ahorro de agua que se obtiene a través de la implementación de cada uno los tres tipos de sistemas mencionados anteriormente.

##### **4.4.1.1 Ahorro por aprovechamiento de agua lluvia**

Debido a que la oferta de agua lluvia es variable en todos los meses del año, El ahorro de agua potable se puede calcular a partir de los resultados de 4.2.1. y teniendo en cuenta que, en caso de que las precipitaciones sean mayores que la demanda de agua lluvia en un mes  $i$ , la diferencia entre estos dos valores, debe ser sumada al siguiente mes, y así sucesivamente. De modo que la cantidad de agua que se ahorra en un mes se puede obtener del menor valor entre la demanda y la oferta acumulada.

##### **4.4.1.2 Ahorro por reúso de agua gris**

De forma similar el ahorro de agua potable debido al reúso de agua gris, está dado por el menor valor entre la oferta y la demanda. La oferta en este caso, corresponde a la cantidad de agua gris que puede ser recolectada, y la demanda a la cantidad de agua que requieren las actividades en las que se puede usar agua gris.

#### **4.4.2 Ahorro de dinero por conceptos de acueducto y alcantarillado**

Después de saber la cantidad de agua que se puede ahorrar con el uso de los sistemas propuestos, se procedió a calcular el ahorro de dinero por concepto de acueducto y alcantarillado para el año actual, teniendo en cuenta las tarifas vigentes de Ruitoque E.S.P. S.A. y EMPAS S.A. E.S.P. respectivamente y proyectándolas con una inflación del 4.16% de acuerdo con la variación del Índice de Precios al Consumidor de los últimos 10 años.

#### **4.4.3 Gastos por mantenimiento**

El costo de los gastos por mantenimiento se estimó a través del observatorio laboral colombiano, de acuerdo al tiempo y al valor que requiere un técnico especializado para llevar a cabo dicha labor tal y como lo hicieron Rivera y Zaraza (2015).

#### **4.5 Costos**

El costo de los tres sistemas propuestos se calculó mediante la realización de un presupuesto de construcción en el que se tuvieron en cuenta únicamente los ítems cuyo valor se vio alterado con la implementación de los sistemas de reúso. También se tuvo en cuenta en el presupuesto, el valor del diseño. La diferencia entre los costos de la red original y los costos de la red nueva es el valor total de los sistemas propuestos.

Para esta labor se usaron listas de precios de algunos proveedores como PAVCO y COLEMPAQUES, y algunos análisis de precios unitarios incluidos en “Factibilidad técnica y económica de la implementación de un sistema hidrosanitario para la reutilización de aguas grises y pluviales, caso de estudio en vivienda de alto consumo del A.M. de Bucaramanga” (Rivera y Zaraza 2015), los cuales fueron actualizados, teniendo en cuenta la inflación.

#### **4.6 Selección del diseño**

La selección del diseño se llevó a cabo a través de la realización de una segunda encuesta, en la cual los residentes de la urbanización del caso de estudio tuvieron la oportunidad de escoger entre los tres sistemas propuestos y una opción de no implementar nada, el de su conveniencia.

En esta encuesta se les entregó a los entrevistados, planos sencillos de los tres sistemas de reúso, información sobre los costos de la inversión y del mantenimiento, del ahorro de agua y del tiempo de recuperación de la inversión de cada sistema.

El tamaño de la muestra fue de 65 encuestas y las viviendas a visitar se seleccionaron de manera aleatoria. Ver anexo B.

La realización de esta segunda encuesta, permitió conocer las opiniones de los habitantes del caso de estudio, los aspectos positivos y negativos que vieron en los sistemas propuestos, y ayudó a concluir acerca de la viabilidad social del proyecto.

## **4.7 Evaluación de la viabilidad social, técnica y económica del sistema**

### **4.7.1 Viabilidad social**

Basados en la investigación “Social Feasibility Analysis in Low-Cost Sanitation Projects” conducida por Perret (1983), se obtuvieron una serie de pasos que se pueden seguir cuando se quiere evaluar la viabilidad social de un proyecto de estas características. Primero se debe establecer el interés de los potenciales usuarios del proyecto, en este caso si están o no están interesados en el ahorro de agua. Segundo, su capacidad e intención de pagar o no pagar por hacerlo. Por último, la aceptación de las tecnologías propuestas; saber si están de acuerdo o no con lo relativo a ubicación, funcionamiento, costos y tecnologías propuestas.

Para este caso, la segunda encuesta, sumada a los resultados de la primera encuesta, permitió la evaluación de la viabilidad social al abordar los temas anteriormente mencionados.

### **4.7.2 Viabilidad Técnica**

La viabilidad técnica fue evaluada, como se mencionó en 3.10.2, a través de la evaluación de los siguientes criterios: facilidad de consecución de los materiales, facilidad de consecución de mano de obra calificada, espacio disponible y resultado final.

### **4.7.3 Viabilidad Económica**

Esta evaluación se hizo a partir de los índices mencionados en 3.10.3: la TIR, el TR, el VPN y la relación B/C. Para la realización del flujo de caja, se tuvieron en cuenta los costos iniciales de la inversión en los sistemas propuestos, el ahorro de dinero por concepto de acueducto y alcantarillado, y los gastos por mantenimiento. El flujo de caja se proyectó a 50 años, tiempo recomendado por la normativa internacional ISO 14040 (2006), y se utilizó una inflación de 4.16% calculada a partir de la

variación de los últimos 10 años del Índice de Precios al Consumidor IPC, tal como lo hicieron (Rivera y Zaraza 2015).

Para el cálculo del VPN y de la relación B/C, fue necesario proponer una tasa de descuento, a través de la cual se actualizan los costos y los beneficios, y se evalúa la viabilidad financiera del proyecto. En este caso, se usó una tasa de descuento del 3.51%, valor propuesto para proyectos ambientales en Colombia evaluados a mediano plazo (entre 26 y 75 años). Valor que fue propuesto por Correa (2009).

## **5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **5.1 Obtención de parámetros de diseño**

#### **5.1.1 Análisis de resultados de la encuesta**

Con base en las respuestas obtenidas en las encuestas, se pudo estimar que el consumo promedio por habitante por día de la muestra fue de 130 litros, resultado acorde con CRA (2001), en donde el consumo estimado de agua para estratos 1 y 2 es de 124 Lit/hab/día, respecto a viviendas de estrato 5, se tiene un consumo por habitante por día 73 litros menor, según la investigación de Rivera y Zaraza (2015).

Este consumo promedio hallado, tuvo una desviación estándar de 61 litros, un coeficiente de variación de 0.47 y un rango muestral de 258 litros. Esto implica que hay una alta variación entre los consumos de las diferentes viviendas, esto puede deberse a la existencia de negocios que usan agua en las viviendas encuestadas, y posiblemente, a irregularidades en la medición del agua, pues en algunas viviendas se encontraron consumos de agua muy bajos (p.e. 25, 33, 39 y 44 Lit/hab/día). Por otro lado, la ocupación promedio de estas viviendas fue de 4 personas por vivienda, con una desviación típica de 2 personas.

En cuanto a la aceptación del reúso de aguas lluvias y de aguas grises, esta fue del 91 y del 78% respectivamente, resultado similar al de Rivera y Zaraza (2015), los cuales obtuvieron una aceptación del 97 y 86% respectivamente, por parte de habitantes de vivienda estrato 5 en Colombia. En Inglaterra, según Ward et al. (2013), la aceptación fue del 93 y 64% respectivamente. Y en Omán según Jamrah et al. (2008) la aceptación del reúso de aguas grises fue del 87%.

En el reúso de aguas lluvias el 93% de los que aceptaron estuvo de acuerdo con usarlas en la descarga del inodoro, el 82% con usarlas en el aseo del hogar, el 67% para el riego del jardín y el 49% para el lavado de ropa.

Respecto a las razones que tienen las personas para usar agua lluvia, el 66% lo haría por cuidar el medio ambiente y el 61% por ahorro de dinero. El 7.5% de las personas se negaron a su reúso alegando que esto no sería algo higiénico.

Respecto a las aguas grises, el 100% de los que aceptaron usar esta fuente de agua alternativa estuvo de acuerdo a reusarlas en la descarga del inodoro, el 43% de acuerdo en usarlas en el aseo del hogar y el 28% en el riego del jardín.

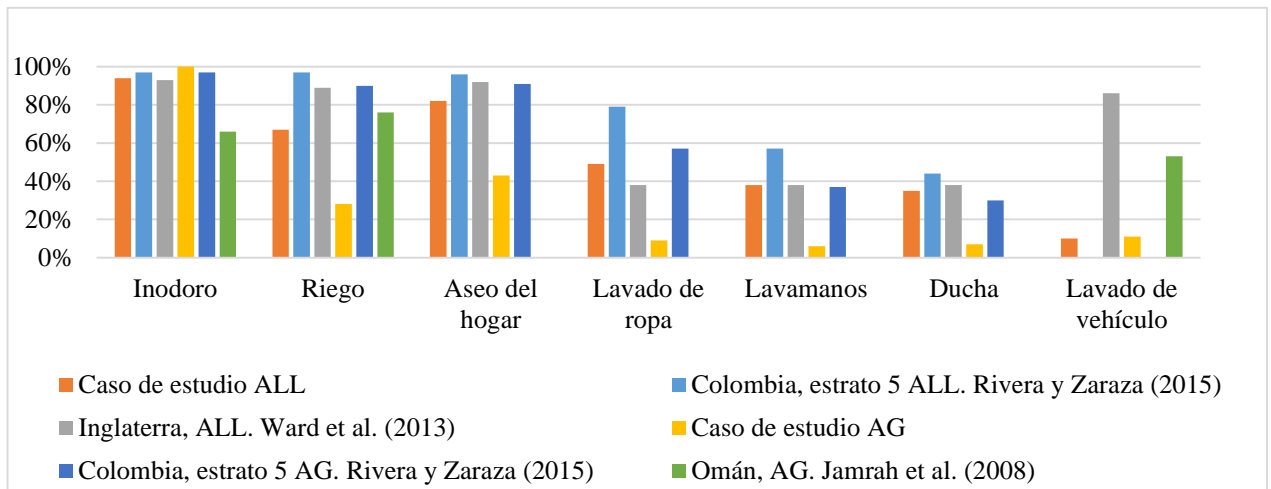


Figura 3. Usos aceptados para el reúso en diferentes estudios

Respecto a las razones para reusar aguas grises, el 70% lo haría por cuidar el medio ambiente y el 56% por ahorro de dinero. El 20.6% de los encuestados se niega a su reúso por razones de higiene. En la figura 3 se muestran los usos aceptados para el agua reciclada, en el presente caso de estudio y en algunos estudios de características similares.

Respecto a la disposición de realizar actividades de operación y mantenimiento, el 86% de los encuestados está dispuesto a realizarlas cada 15 días, el 69% dos veces por semana y el 33% de forma diaria.

Por otro lado, aunque no se hicieron preguntas sobre este tema, se pudo observar que un gran número de personas tiene ya una práctica habitual de reúso de agua. Algunas personas suelen recolectar agua lluvia a través de recipientes los cuales ubican al aire libre cuando empieza un evento de precipitación. Otras personas, suelen usar el agua descargada de las últimas lavadas de la lavadora para el aseo del hogar y para la descarga de la cisterna del inodoro.

Durante la realización de las encuestas se pudo identificar algunas circunstancias que pudieron ser fuentes de error en los resultados de las encuestas. En algunos casos debido al bajo nivel educativo, los encuestados no lograban entender el objetivo de la encuesta, y en algunos casos tenían ideas erradas, como, por

ejemplo, accedían a usar aguas grises, pero no aguas lluvias alegando que estas eran más limpias. En otros casos, las personas presentaban cierto grado de desconfianza hacia los encuestadores pues creían que el estudio tenía como objetivo subir el precio del agua.

## 5.2 Selección y dimensionamiento de los sistemas

### 5.2.1 Sistema de reúso de aguas lluvias

Con base en los resultados de 3.8.1, para el aprovechamiento de las aguas lluvias se propone el sistema mostrado en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** En él, el agua es captada por el techo de la vivienda, escurre hacia las canaletas y luego a los bajantes, para posteriormente ser conducida hacia un tanque de almacenamiento ubicado sobre una base en concreto ciclópeo de 20 cm al nivel del suelo del patio. Este tanque de almacenamiento tiene un grifo cerca a la parte inferior para permitir el aprovechamiento del agua lluvia en las actividades de la vivienda aceptadas por los usuarios en la encuesta mencionada en 4.1, las cuales son el riego del jardín, el aseo doméstico y en algunos casos el lavado de ropa.

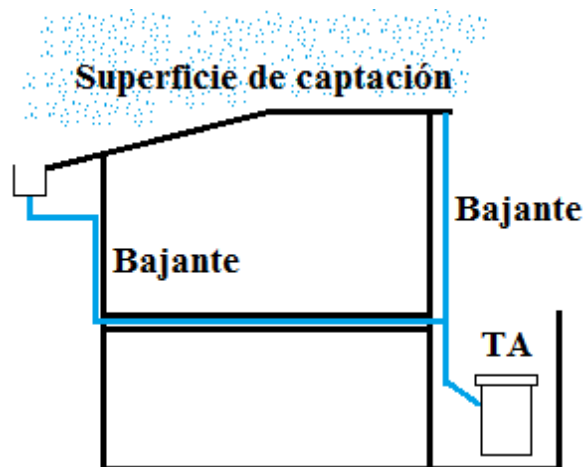


Figura 4. Esquema del sistema de aprovechamiento de aguas lluvias propuesto

#### 5.2.1.1 Dimensionamiento de la red

A partir de las Tablas 24, 25 y 26 del código colombiano de fontanería NTC 1500, se obtuvieron los diámetros requeridos para los elementos de la red de aguas lluvias, los cuales se muestran a continuación.

- ✓ Canaletas: 3"
- ✓ Bajantes: 3"
- ✓ Tubería horizontal: 3"

### 5.2.1.2 Dimensionamiento del tanque de agua lluvia.

Para el dimensionamiento del tanque de agua lluvia se propusieron seis tamaños de tanque, de 0.25, 0.5, 1, 1.5, 2 y 3 metros cúbicos. Se seleccionaron para el análisis los tamaños de tanque más pequeños del mercado debido a que el área de captación es pequeña (30.5 m<sup>2</sup>) y esto limita la cantidad de agua que pueda ser captada. Se hizo el análisis a través de la Fórmula [1] teniendo en cuenta los siguientes valores: coeficiente de escorrentía 0.9, área de captación 30.5m<sup>2</sup>, año inicial con información hidrológica 1985 y año final con información hidrológica 2009. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 4.

*Tabla 4. Dimensionamiento del tanque de aguas lluvias*

Volumen del tanque	Volumen recolectado anual	% de Aumento
V 0.25	15.4	---
V 0.5	20.7	34
V 1	24.6	19
V 1.5	25.8	5
V 2	26.4	2
V3	26.6	1

El tanque seleccionado fue el tanque de 500 litros, esto debido a que la diferencia de precios con el tanque de 1000 litros es de más de \$100,000, hay poca diferencia en la cantidad de agua que pueden recolectar y además ocupan el doble de espacio. Para ver las especificaciones del tanque seleccionado, ver anexo 4.

### 5.2.2 Sistema de reúso de aguas grises

Con base en los resultados de 3.8.2, para el presente caso de estudio, se propone el sistema mostrado en la Figura 5. En este sistema se capta el agua gris de las duchas y lavamanos del segundo piso, luego se conduce el agua hacia un tanque elevado donde se almacena para posteriormente alimentar la cisterna del baño del primer piso, donde se utiliza toda el agua gris. Para la propuesta de este sistema, se tuvieron en cuenta los resultados de la encuesta mencionada en 5.1. en los que el 100% de los encuestados que aceptó el reúso del agua gris, accedió a usar el agua gris en la descarga del inodoro.

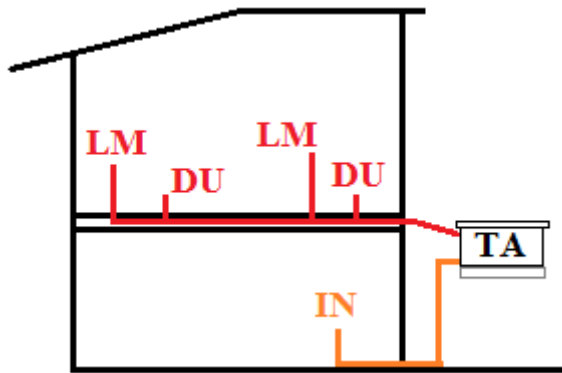


Figura 5. Esquema del sistema de reúso de aguas grises propuesto

### 5.2.2.1 Dimensionamiento de la red

- **Recolección del agua gris**

A partir de la Tabla 14 del código colombiano de fontanería NTC 1500, se obtuvo el diámetro requerido para la tubería horizontal encargada de recolectar el agua gris, el cual es  $\varnothing 2''$ .

- **Distribución del agua gris**

Para el dimensionamiento de esta red se usó el método de Hunter de caudales probables modificado. Ver anexo 3. Como resultado se obtuvo, que se puede usar un diámetro de  $\frac{1}{2}''$  o de  $\frac{3}{4}''$ , pero, teniendo en cuenta que el agua a transportar es agua gris, se selecciona el diámetro de  $\frac{3}{4}''$ .

### 5.2.2.2 Dimensionamiento del tanque de aguas grises.

Como se dijo en 4.2.2.3, el tamaño del tanque de agua gris está dado por el menor valor entre la oferta y la demanda.

De los resultados de la encuesta realizada, se tiene que el consumo promedio de estas viviendas es de 130 litros por habitante por día y debido a que se tienen 3 habitaciones por vivienda, se asume una ocupación de 5 personas por casa, lo que da un consumo total de 650 litros por día.

Teniendo en cuenta los porcentajes de consumo de agua presentados anteriormente, y que solo se va a recolectar agua de las duchas y lavamanos, se puede estimar que el 25% del agua es recolectable. Pero, teniendo en cuenta que solo se captará agua de dos de las tres duchas y lavamanos, solo se recolectará el 66.6% de esa cantidad, de esa forma se calcula la oferta de agua gris.

$$\text{Oferta AG} = 650 * 25\% * 66.6\% = 108.3 L$$

De forma similar, se puede calcular la demanda de agua gris. Teniendo en cuenta que se va a usar para la descarga del inodoro, lo que equivale al 20% del consumo, se tiene:

$$\text{Demanda AG} = 650 * 20\% = 130 L$$

Por lo que se concluye que el tamaño mínimo del tanque debe ser de 108 litros, pero debido a que este no es un tamaño de tanque comercial, se selecciona un tanque de 250 litros. Para ver las especificaciones del tanque seleccionado, ver anexo D.

### **5.2.2.3 Altura del tanque**

Según la Tabla 7 del Código Colombiano de Fontanería NTC1500, la presión mínima a la entrada de agua del inodoro debe ser de 0.71 *mca*. Teniendo en cuenta que la altura de la entrada está a 0.60 *m* del piso, y que, además, las pérdidas de la tubería y los accesorios son de 0.34 *m*, la presión al piso con la que debe llegar el agua gris es de 1.65 *mca*. Por esta razón, la altura mínima para el tanque de aguas grises es de 1.65 metros, pero teniendo en cuenta las dimensiones del tanque seleccionado, el tanque se ubicó a 1.7 metros.

### **5.2.3 Sistema de reúso de agua gris y agua lluvia**

Este sistema consiste en la utilización simultánea de los dos sistemas propuestos en 5.2.1. y 5.2.2.

### **5.3 Selección de los tratamientos para el agua lluvia y gris**

Según la revisión de la calidad de las aguas grises y las aguas lluvias en Colombia mencionada en 3.7., se puede observar que, en el caso de las aguas lluvias la calidad varía dependiendo de las condiciones del lugar donde esta sea captada, pues la calidad del agua que cae, cumple los requisitos de la normativa. Respecto al agua gris, aunque la calidad del agua varía de fuente a fuente, no se cumple en ningún caso con las normativas internacionales. Teniendo en cuenta esto, la revisión de sistemas de tratamiento realizada en 3.8. y las características particulares del caso de estudio, se procedió a seleccionar los esquemas de tratamiento para los sistemas de reúso propuestos.

### **5.3.1 Agua lluvia**

Debido a que el agua lluvia estará en contacto con los usuarios, el tratamiento de este sistema será importante para evitar enfermedades. El sistema de tratamiento propuesto comienza con la protección de los canales y bajantes con una malla antiplagas. Posteriormente el agua pasa por un filtro de hojas autolimpiante, luego por el filtro de aguas lluvias autolimpiante creado por Silva, Weeber y Ghisi (2013), que ayuda a eliminar la turbiedad y sólidos suspendidos, y finalmente por un desviador del primer flujo. Esquema similar al propuesto por Rivera y Zaraza (2015). Ver anexos del E al G.

### **5.3.2 Agua gris**

En una investigación llamada “Greywater recycling: treatment options and applications” se evaluó la efectividad de 64 diferentes tipos de esquemas de tratamiento de agua gris y se concluyó que, niveles de desempeño del sistema de tratamiento lo suficientemente buenos para cumplir con los estándares internacionales, solo se logran a través de esquemas que combinan diferentes tipos de tratamiento para asegurar la erradicación de materia orgánica, sólidos y microorganismos. Para la erradicación de materia orgánica una buena opción es, una etapa de tratamiento biológico, para la eliminación de sólidos un sistema de membranas y para la eliminación de microorganismos es necesario una etapa de desinfección.

Este tipo de esquemas de tratamiento debido a sus altos costos, serían difíciles de incluir en el presente caso de estudio. Además, sistemas más sencillos como los filtros de arena sólo tienen efecto limitado en el agua gris, no son suficientes para asegurar la calidad requerida y ocupan bastante espacio. Debido a estas razones, y teniendo en cuenta la revisión realizada en 3.8.2, se decide no hacer ningún tipo de tratamiento al agua gris y diseñar el sistema para un ciclo de reuso de agua gris de 24 horas.

Respecto a la disposición de las personas a usar aguas grises sin tratar, las cuales suelen tener altos niveles de color, turbiedad y sólidos suspendidos, se encontró, que según una encuesta realizada a 300 personas en Inglaterra, en la que se expusieron muestras de estos tipos de agua a los encuestados, los niveles de voluntad de reusar el agua en la descarga del inodoro, son de 87, 68 y 84% para aguas con color, turbiedad y sólidos suspendidos respectivamente. Estos resultados indican que el agua gris con el nivel de tratamiento seleccionado en el presente caso de estudio, tiene altas probabilidades de ser aceptado por la comunidad.

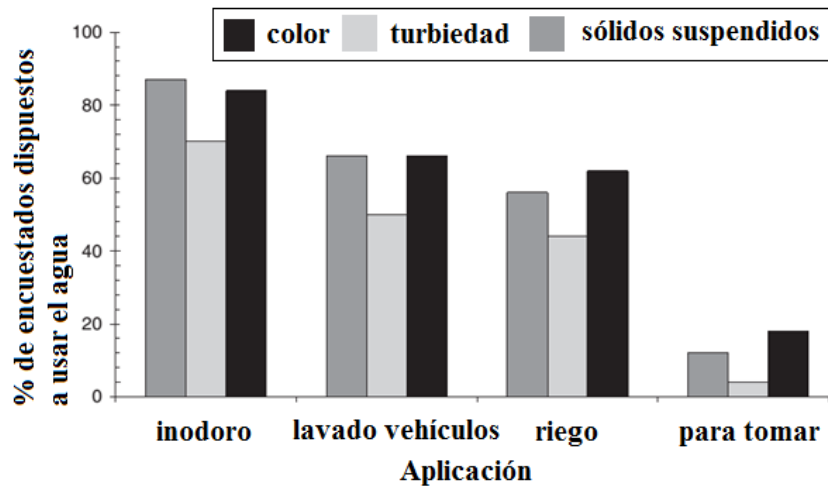


Figura 6. Disposición a usar agua gris de mala calidad estética. Adaptada de: Jefferson et al. (2004)

## 5.4 Determinación del ahorro y gastos por mantenimiento

### 5.4.1 Ahorro de agua

#### 5.4.1.1 Ahorro por aprovechamiento de agua lluvia

De acuerdo con lo mencionado en 4.4.1.1. se estimó que el volumen de agua potable que se ahorra anualmente con la implementación del sistema propuesto es de  $19.46 m^3$ , cantidad inferior a la capacidad total que puede recolectar el tanque de 500 litros que es de  $20.7 m^3$ , lo que quiere decir que, debido a la alta variabilidad de las precipitaciones, la oferta es mayor a la demanda en algún momento del año.

#### 5.4.1.2 Ahorro por reúso de agua gris

De forma similar el ahorro de agua potable debido al reúso de agua gris, está dado por el menor valor entre la oferta y la demanda como se mencionó en 4.4.1.2. Estas cantidades son constantes y solo varían mensualmente teniendo en cuenta el número de días del mes. Para este caso el ahorro de agua fue de  $39.54 m^3$  anuales.

De modo que el ahorro total de agua al año para el sistema de aguas grises y aguas lluvias es de  $59 m^3$ .

#### 5.4.2 Ahorro de dinero por conceptos de acueducto y alcantarillado

A partir de las tarifas vigentes de acueducto y alcantarillado de Ruitoque E.S.P. S.A. y EMPAS S.A. E.S.P. respectivamente se procede a calcular el ahorro de dinero en el año uno de operación para cada tipo de sistema de reúso.

La tarifa de acueducto para estrato uno y para la zona del caso de estudio en el año 2016, fue de 935.22 \$/m<sup>3</sup>, la tarifa de alcantarillado para este mismo estrato y año fue de 644.18 \$/m<sup>3</sup>. En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se muestran los resultados obtenidos.

Tabla 5. Ahorro de dinero por conceptos de acueducto y alcantarillado de los tres sistemas propuestos

Sistema	Ingresos		
	Acueducto	Alcantarillado	Total
A. Lluvia + A. Gris	\$55,178	\$38,007	\$93,185
A. Gris	\$36,979	\$25,471	\$62,449
A. Lluvia	\$18,199	\$12,536	\$30,735

#### 5.4.3 Gastos por mantenimiento

El mantenimiento de los tres sistemas de reúso propuesto consiste básicamente en la limpieza de los tanques y canaletas y su costo se calculó como se menciona en 4.4.3. En total, los gastos anuales por mantenimiento del sistema de uso simultáneo de agua lluvia y aguas grises fue de \$21,000, el de reúso de aguas grises un costo de \$6,000 y el de aguas lluvias un costo de \$15,000. Ver anexo 8.

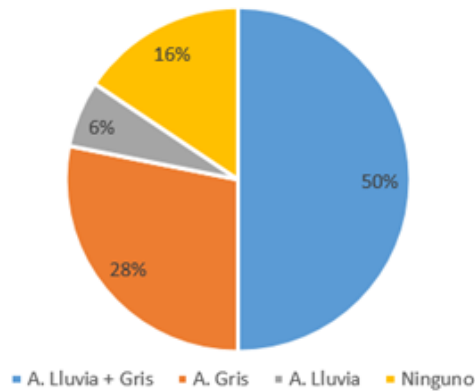
#### 5.5 Costos

El costo de los tres sistemas propuestos, se calculó, tal como se explicó en 3.5. El sistema de uso simultáneo de agua lluvia y aguas grises tiene un costo de \$3,109,083, el de reúso de aguas grises un costo de \$1,565,120 y el de aguas lluvias un costo de \$1,592,597. Para ver el presupuesto resumido por capítulos y el detallado de los tres sistemas, ver anexos 9 y 10 respectivamente.

#### 5.6 Selección del diseño

Como se mencionó en 3.6., a través de una segunda encuesta, se presentaron los tres sistemas diseñados, mencionados anteriormente, a los habitantes de la urbanización caso de estudio, luego se pidió suponer que iban a comprar una vivienda nueva, y que debían escoger entre las tres opciones de sistemas de reúso

y una cuarta opción de no implementar nada. Los resultados se muestran en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**



*Figura 7. Resultado de la selección del sistema*

Con base en estos resultados, se seleccionó el sistema de reúso simultáneo de agua gris y agua lluvia.

### **5.6.1 Análisis de resultados de la encuesta**

Durante la realización de la encuesta, se pudo observar una actitud muy favorable de las personas ante el reúso de agua, y los resultados lo confirman, pues en el 84% de los casos, aceptaron usar uno de los sistemas propuestos.

Muchas de las personas que eligieron el sistema de uso simultáneo de agua gris y agua lluvia, expresaron que lo hicieron debido a que les gustaría ahorrar la mayor cantidad de agua posible. Un porcentaje alto de las personas, aceptó usar el sistema de reúso de aguas grises, esto teniendo en cuenta que era el sistema con mejor relación de ahorro de agua y costo. Ver Tabla 6. Otras personas manifestaron que querían usar el sistema de aguas lluvias únicamente y no estaban de acuerdo con el reúso de agua gris y otros, que, aunque les interesa el ahorro, no implementarían ningún sistema debido a falta de dinero.

Tabla 6. Ahorro y costo de la inversión de los sistemas propuestos.

Sistema	Costo de la inversión	Ahorro de agua anual [m <sup>3</sup> ]
A. Lluvia + A. Gris	\$3,109,083	59.00
A. Lluvia	\$1,565,120	39.54
A. Gris	\$1,592,597	19.46

## 5.7 Evaluación de la viabilidad social, técnica y económica

### 5.7.1 Viabilidad Social

A través de los resultados de la primera encuesta, se estableció que la aceptación social del reúso de aguas grises y de aguas lluvias fue del 78 y 91%, respectivamente, resultados similares a los de otras investigaciones mencionadas en 5.1.1. De los resultados de la segunda encuesta, se estableció que el 100% de los encuestados están interesados en el ahorro de agua y que de ellos el 84% está dispuesto a invertir para lograrlo. Respecto a la aceptación de las tecnologías propuestas, se tuvo un nivel de aceptación bastante alto, pues el 84% de las personas aceptó usar alguno de los sistemas propuestos. Teniendo en cuenta estas razones se concluye que el sistema seleccionado es socialmente viable.

### 5.7.2 Viabilidad Técnica

Como se mencionó en 4.1.2. la viabilidad técnica fue evaluada a través de criterios de: facilidad de consecución de los materiales, facilidad de consecución de mano de obra calificada, espacio disponible y resultado final, criterios que se discutieron en la Tabla 7.

Tabla 7. Criterios de la evaluación de viabilidad técnica

Criterio	Descripción
Materiales	Los sistemas propuestos no presentan ningún tipo de material, accesorio o dispositivo de difícil consecución.
Mano de obra	Las labores constructivas del sistema consisten básicamente en la colocación de las tuberías, y en la ubicación de los tanques de almacenamiento, por lo que el personal técnico necesario es fácil de conseguir.
Espacio	El espacio usado es de menos de 2m <sup>2</sup> .
Resultado final	Cumple con los objetivos iniciales de ahorrar agua de forma eficiente, segura y atractiva para los habitantes del caso de estudio.

Algunas de las dificultades encontradas en la etapa de diseño que vale la pena mencionar, las cuales se fueron salvaguardando a lo largo del proceso, se ven reflejadas en el diseño final del sistema. Entre ellas están, la ubicación de los tanques para emplear el mínimo de espacio posible, la distribución del agua sin usar bombas ni electricidad, la simplicidad en los tratamientos y el tratar de usar la mínima cantidad de dinero posible, entre otras. Por estas razones y teniendo en cuenta el resultado final, el cual cumple con todas las metas iniciales, se considera que este sistema es viable técnicamente.

### 5.7.3 Viabilidad Económica

Para los tres sistemas diseñados, se calculó el flujo de caja a 50 años como se mencionó en 4.7.3, el cual se muestra en el anexo 10.

*Tabla 8. Resultados evaluación financiera*

Sistema	TIR	VPN	B/C	TR años
A. Lluvia + A. Gris	4.61%	\$ 939,355	1.31	26
A. Lluvia	6.67%	\$ 1,571,448	2.04	19
A. Gris	1.44%	<b>-\$ 679,077</b>	0.56	41

A partir de estos resultados, los cuales cabe aclarar que únicamente evalúan la parte financiera del proyecto, y no tienen en cuenta las externalidades sociales, ambientales y económicas a nivel global del proyecto, se puede observar que los sistemas de reúso simultaneo de aguas lluvias y aguas grises, y el de reúso de agua gris, tienen una TIR mayor a la de descuento, un VPN mayor a cero, y una relación B/C mayor a uno, lo que implica que, teniendo en cuenta todos estos índices, estos sistemas propuestos son financieramente, y por lo tanto, económicamente viables.

Respecto al sistema de aguas lluvias, debido a que se tiene una TIR menor a la tasa de descuento, un VPN menor a cero, y una relación B/C menor a uno, se puede concluir que este sistema no es viable financieramente, lo que no implica, que no sea viable económicamente, pues para llegar a esa conclusión, habría que cuantificar todas las externalidades que implica la implementación del sistema, y para este caso, las consecuencias de que el 84% de 1593 viviendas ahorraran  $19.46 m^3$  de agua al año en las condiciones de escasez actuales; y añadir todas las externalidades al análisis financiero realizado.

Comparando con las otras investigaciones mostradas en la Tabla 3, se puede observar, que, para sistemas similares implementados en casas unifamiliares, se obtuvieron resultados similares. En el caso de Rivera y Zaraza (2015), Ghisi y Oliveira (2007), y Domènech y Saurí (2011), se obtuvieron tiempos de retorno de la

inversión de 22, 29, y 37 años respectivamente, resultado similar al del presente caso de estudio de 26 años. En el caso de la TIR, Rivera y Zaraza (2015) obtuvieron un resultado de 6.8% contra un 4.61% del sistema propuesto en este estudio y una relación B/C de 2.04 contra un 1.31 en este caso. Para sistemas implementados en edificios y en oficinas, se obtuvo un tiempo de retorno de 11 años, bastante inferior a los resultados antes mencionados en viviendas independientes.

Por otro lado, en el caso hipotético, de que la implementación del sistema seleccionado se hiciera en toda la urbanización del caso de estudio, el costo de la inversión sería mucho menor, debido a que el valor del diseño sería dividido entre las 1,593 viviendas, teniéndose así para este sistema un valor de la inversión inicial de \$2,109,711, una tasa interna de retorno TIR de 6.4% y un tiempo de retorno de la inversión de 20 años, tiempo que es menor al de todos los estudios similares en viviendas unifamiliares reportados en la Tabla 3.

En conclusión, el sistema seleccionado es viable económicamente, teniendo en cuenta los índices financieros evaluados, y los resultados de investigaciones similares.

## 6 CONCLUSIONES

A partir de la evaluación de criterios sociales, técnicos y económicos, se puede concluir que la implementación de sistemas de reúso de aguas grises y de aprovechamiento de aguas lluvias en viviendas de interés social es viable.

En el caso del sistema seleccionado, este permite el ahorro del 25% del consumo total de agua potable de una vivienda del caso de estudio ( $59 m^3$  anuales) y tiene un tiempo de retorno de la inversión de 26 años. Aunque los beneficios económicos no son muy atractivos, los beneficios sociales y ambientales que representa el proyecto si lo son, pues si se ahorraran  $59 m^3$  anuales, en cada una de las 1593 viviendas del caso de estudio, se tendría un ahorro de agua importante, especialmente en las actuales condiciones de presión sobre el recurso hídrico y escasez.

Respecto a la percepción de la actitud de las personas del caso de estudio hacia los sistemas propuestos, se observó un resultado bastante positivo, pues en el 84% de los casos, seleccionaron uno de los sistemas, sin importar la difícil situación económica en que muchas de estas personas viven, las cuales, en muchos casos, realizaron la ampliación de sus viviendas a partir de tablas de madera, lona verde y plásticos, todo esto sobre tierra y césped. Se puede concluir entonces, que los habitantes de estas viviendas de interés social, están muy conscientes de la importancia del agua, y sin importar las carencias económicas, están dispuestas a invertir en tecnologías que permitan ahorrar agua.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] SHIKLOMANOV, I., 2000. Appraisal and Assessment of World Water Resources. IWRA, Water International, vol. 25, no. 1, pp. 11-32.

[2] POSTEL, S., 2000. Entering An Era Of Water Scarcity: The Challenges Ahead. Ecological Applications, vol. 10, no. 4, pp. 941-948.

[3] UNESCO, 2003. *Agua para todos, agua para la vida. Informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo*. [en línea]. 2003. S.l.: s.n. [Consulta: 18 julio 2015]. Disponible en: <http://www.un.org/esa/sustdev/sdissues/water/WWDR-spanish-129556s.pdf>

[4] MURTINHO et al. (2013). Water Scarcity in the Andes: A Comparison of Local Perceptions and Observed Climate, Land Use and Socioeconomic Changes. *Hum Ecol*, 41, 667-681.

[5] DOMÍNGUEZ et al. (2010). Water scarcity in a tropical country? – revisiting the Colombian waer resources. *Global Change: Facing Risks and Threats to Water Resources* (págs. 335-342). IAHS press.

[6] Gobernación de Santander. (23 de Abril de 2012). *Plan de Desarrollo, Santander en serio, el Gobierno de la Gente 2012-2015*. Recuperado el 07 de Agosto de 2015, de <http://www.santander.gov.co/plan/files/plan.pdf>

[7] BRUNDTLAND et al. (1987). Report of the World Commission on Environment and Development: "Our Common Future". United Nations.

[8] ONU-Agua. (27 de Enero de 2014). Un objetivo global para el agua post-2015. Síntesis de las principales conclusiones y recomendaciones de UN-Water. Recuperado el 18 de Julio de 2015, de [http://www.unwater.org/fileadmin/user\\_upload/unwater\\_new/docs/Un%20Objetivo%20Global%20para%20el%20Agua%20Post-2015.pdf](http://www.unwater.org/fileadmin/user_upload/unwater_new/docs/Un%20Objetivo%20Global%20para%20el%20Agua%20Post-2015.pdf)

[9] Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio de Colombia. (Abril de 2014). Deficit de vivienda en Colombia. Recuperado el 08 de Julio de 2015, de <http://www.minvivienda.gov.co>

[10] DING. (2006). Sustainable construction—The role of environmental assessment tools. *Journal of Environmental Management*, 86, 451–464.

[11] BEAUDOUX et al. (1993). Guía metodológica de apoyo a proyectos y acciones para el desarrollo. (M. Ménager, Trad.) La Paz: Huellas Srl.

## **BIBLIOGRAFÍA**

ALLEN, L., SMITH, J. y PALANIAPPAN, M., 2010. Overview of Greywater Reuse : The Potential of Greywater Systems to Aid Sustainable Water Management. California: s.n. ISBN 9781893790292.

AMIN, M.T. y ALAZBA, a. a., 2011. Probable Sources of Rainwater Contamination In A Rainwater Harvesting System and Remedial Options. Australian Journal of Basic and Applied Sciences, vol. 5, no. 12, pp. 1054-1064. ISSN 19918178.

AQUA ESPAÑA, 2011. Guía Técnica Española de Recomendaciones para el Reciclaje de Aguas Grises en Edificios [en línea]. 2011. Barcelona: AQUA España. Disponible en: [http://www.aquaespana.org/repositori/documents/actualitat/es/GUIA TECNICA ESPANOLA RECICLAJE AGUAS GRISES CS-AG AQUA ESPANA.PDF](http://www.aquaespana.org/repositori/documents/actualitat/es/GUIA%20TECNICA%20ESPANOLA%20RECICLAJE%20AGUAS%20GRISES%20CS-AG%20AQUA%20ESPANA.PDF).

AQUA, E., 2011. Guía Técnica de Aprovechamiento de Aguas Pluviales en Edificios. , pp. 16.

ARDILA, M., 2013. Viabilidad Técnica Y Económica Del Aprovechamiento De Aguas Grises Domésticas. Bogotá: Universidad Nacional De Colombia.

BLACK, C., 2015. Do's and don'ts when reusing grey water. Survivopedia [en línea]. Disponible en: <http://www.survivopedia.com/reusing-grey-water/>

CASAL, J. y MATEU, E., 2003. Tipos de muestreo. Revista Epidemiología y Medicina Preventiva [en línea], vol. 1, no. 1, pp. 3–7. Disponible en: [http://servicios.unach.mx/blogs/vicente\\_castro/files/2012/08/Tipos\\_Muestreo.pdf](http://servicios.unach.mx/blogs/vicente_castro/files/2012/08/Tipos_Muestreo.pdf)

CHAIN, N.S., 2001. Evaluación de proyectos de inversión en la empresa. 1. S.I.: Pearson Education S.A.

CMHC, 2013. Collecting and Using Rainwater at Home. 1. Ottawa: Canada Mortgage and Housing Corporation. ISBN 9781100227559.

CORREA, F., 2009. Tasa de descuento ambiental Gamma: una aplicación para Colombia. *Lecturas de Economía*; No. 69 (2008) [en línea], vol. 69. Disponible en: <http://aprendeenlinea.udea.edu.co/revistas/index.php/lecturasdeeconomia/article/view/739/635>.

CRA, 2001. Estimación del consumo básico de agua potable en Colombia [en línea]. 2001. S.l.: s.n. Disponible en: <http://doctrina.vlex.com.co/vid/estimacion-basico-agua-potable-colombia-430525978>.

DIXON, A., BUTLER, D., FEWKES, A. y ROBINSON, M., 2000. Measurement and modelling of quality changes in stored untreated grey water. *Urban Water* [en línea], vol. 1, no. 4, pp. 293-306. [Consulta: 29 octubre 2015]. ISSN 14620758. DOI 10.1016/S1462-0758(00)00031-5. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1462075800000315>

DEFRANCISCO, C. y ORTIZ, C.C., 2013. *Iniciativas para el cambio*. Lámpsakos, vol. 10, pp. 14-16.

DOUGHERTY, E. y MURPHY, M., 2012. *Evaluation of Potential Best Management Practices - Grey Water Use in California Single and Multi-residential Units*. 2012. Oakland: s.n.

EMPAS S.A. E.S.P., 2016. *Tarifas de alcantarillado 2016* [en línea]. 2016. Bucaramanga: EMPAS S.A. E.S.P.,. Disponible en: [http://www.empas.gov.co/mod\\_documentos/elfinder/files/Informacion Financiera y Contable/Tarifas/Tarifas 2016/Tarifas 2016 Act24Feb2016.pdf](http://www.empas.gov.co/mod_documentos/elfinder/files/Informacion_Financiera_y_Contable/Tarifas/Tarifas_2016/Tarifas_2016_Act24Feb2016.pdf).

FARRENY, R., MORALES-PINZÓN, T., GUIASOLA, A., TAYÀ, C., RIERADEVALL, J. y GABARRELL, X., 2011. Roof selection for rainwater harvesting: Quantity and quality assessments in Spain. *Water Research* [en línea], vol. 45, no. 10, pp. 3245-3254. ISSN 00431354. DOI 10.1016/j.watres.2011.03.036. Disponible en: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0043135411001540>

FERNÁNDEZ, P., 1996. Determinación del tamaño muestral. *Cad Aten Primaria-Atención primaria en la red*, vol. 3, pp. 138-141.

FEWKES, A., 2012. A review of rainwater harvesting in the UK. *Structural Survey*, vol. 30, no. 2, pp. 174-194. ISSN 0263-080X. DOI 10.1108/02630801211228761.

FEWKES, A. y BUTLER, D., 2000. Simulating the performance of rainwater collection and reuse systems using behavioural models. *Building Services Engineering Research and Technology* [en línea], vol. 21, no. 2, pp. 99-106. [Consulta: 29 octubre 2015]. ISSN 0143-6244. DOI 10.1177/014362440002100204. Disponible en: <http://bse.sagepub.com/content/21/2/99.abstract>

FRETEL, A.C., 2012. *Manual : Elaboración de proyectos de desarrollo*. 2012. Lima: Comunicaciones Aliadas.

GGWRSGC, 2009. *Georgia Gray Water Recycling Systems Guidelines* [en línea]. 1. Georgia: State Of Georgia,. Disponible en: [http://www.dca.state.ga.us/development/constructioncodes/programs/downloads/GeorgiaGrayWaterRecyclingSystemsGuidelines\\_2009.pdf](http://www.dca.state.ga.us/development/constructioncodes/programs/downloads/GeorgiaGrayWaterRecyclingSystemsGuidelines_2009.pdf)

GHISI, E., 2010. Parameters influencing the sizing of rainwater tanks for use in houses. *Water Resources Management*, vol. 24, no. 10, pp. 2381-2403. ISSN 09204741. DOI 10.1007/s11269-009-9557-4.

GHISI, E. y MENGOTTI DE OLIVEIRA, S., 2007. Potential for potable water savings by combining the use of rainwater and greywater in houses in southern Brazil. *Building and Environment*, vol. 42, no. 4, pp. 1731-1742. ISSN 03601323. DOI 10.1016/j.buildenv.2006.02.001.

GONZALES, P. y NOGUERA, J., 2008. *Planificación de Sistemas Informáticos*. 2008. Jaén: Universidad de Jaén.

GWENZI, W., DUNJANA, N., PISA, C., TAURO, T. y NYAMADZAWO, G., 2015. Water quality and public health risks associated with roof rainwater harvesting systems for potable supply: Review and perspectives. *Sustainability of Water Quality and Ecology* [en línea], vol. 6, pp. 107-118. [Consulta: 9 abril 2016]. ISSN 22126139. DOI 10.1016/j.swaqe.2015.01.006. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212613915000070>.

HERNÁNDEZ, F., MOLINOS, M. y SALA, R., 2010. Estudio de viabilidad económica para el tratamiento de aguas residuales a través de un análisis coste beneficio.

Revista Electrónica de Comunicaciones y Trabajos de ASEPUMA. Rect@, vol. 11, pp. 1-25.

ICONTEC, 2004. NTC 1500. Código Colombiano de Fontanería. , vol. 2, pp. 96.

ISO 14040, 2006. Environmental management — Life cycle assessment — Principles and framework. 2006. Switzerland: s.n. ISBN 9782832205181.

JAMRAH, A., AL-FUTAISI, A., PRATHAPAR, S. y HARRASI, A. Al, 2008. Evaluating greywater reuse potential for sustainable water resources management in Oman. Environmental Monitoring and Assessment, vol. 137, no. 1-3, pp. 315-327. ISSN 01676369. DOI 10.1007/s10661-007-9767-2.

JEFFERSON, B., PALMER, A., JEFFREY, P., STUETZ, R. y JUDD, S., 2004. Grey water characterisation and its impact on the selection and operation of technologies for urban reuse. Water Science and Technology, vol. 50, no. 2, pp. 157-164. ISSN 02731223.

LEGGETT, D.J., BROWN, R., BREWER, D., STANFIELD, G. y HOLIDAY, E., 2001. Rainwater and Greywater use in buildings: Best practice Guidance. London: CIRIA.

LI, Z., BOYLE, F. y REYNOLDS, A., 2010. Rainwater harvesting and greywater treatment systems for domestic application in Ireland. Desalination [en línea], vol. 260, no. 1-3, pp. 1-8. [Consulta: 20 marzo 2015]. ISSN 00119164. DOI 10.1016/j.desal.2010.05.035. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0011916410003504>

LIANG, X. y VAN DIJK, M.P., 2010. Financial and economic feasibility of decentralized wastewater reuse systems in Beijing. Water Science and Technology, vol. 61, no. 8, pp. 1965-1973. ISSN 02731223. DOI 10.2166/wst.2010.105.

LOZANO, G., GARCÍA, P.L. y MONSALVE, E.A., 2010. Criterios y consideraciones en estudios de viabilidad de embalses. Revista de Investigación de la Universidad de Quindío, vol. 21, pp. 9-20.

MARKINGS, S., [sin fecha]. How to Collect Greywater. Opposing Views [en línea]. [Consulta: 21 febrero 2016]. Disponible en: <http://science.opposingviews.com/collect-greywater-23969.html>

MOREIRA, R.F., CALIJURI, M.L., CARVALHO, I.D.C. y SANTIAGO, A.D.F., 2012. Rainwater treatment in airports using slow sand filtration followed by chlorination: Efficiency and costs. Resources, Conservation and Recycling [en línea], vol. 65, pp. 124-129. ISSN 09213449. DOI 10.1016/j.resconrec.2012.06.001. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.resconrec.2012.06.001>

MORENO, T. y QUINTERO, D., 2014. Reutilización De Agua En Construcciones Verticales. Bogotá: Universidad Católica de Colombia. ISBN 9788578110796.

MUN, J.S. y HAN, M.Y., 2012. Design and operational parameters of a rooftop rainwater harvesting system: Definition, sensitivity and verification. Journal of Environmental Management [en línea], vol. 93, no. 1, pp. 147-153. [Consulta: 17 octubre 2015]. ISSN 03014797. DOI 10.1016/j.jenvman.2011.08.024. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479711003410>

MUSTOW, S., GREY, r., SMERSON, T., PINNEY, C. y WAGGET, R., 1997. Water Conversation: Implications of using recycled Greywater and stored Rainwater in the UK. Prepared for the Drinking Water Inspectorate of the Department of the Environment., vol. Report 130, pp. 84.

MUSTOW, S. y GREY, R., 1997. Greywater and Rainwater systems: Recommended UK Requirements.

NTALE, H. y MOSES, N., 2003. Improving the quality of harvested rainwater by using first flush interceptors/retainers. 11th International Rainwater Catchment Systems Conference «Towards a New Green Revolution and Sustainable Development Through an Efficient Use of Rainwater» [en línea], Disponible en: <http://www.eng.warwick.ac.uk/ircsa/members/pdf/11th/Ntale.pdf>

OPS, 2004. Guía de diseño para la captación de agua lluvia. [en línea]. Lima: Disponible en: [www.bvsde.ops-oms.org/bvsacd/cd47/lluvia.pdf](http://www.bvsde.ops-oms.org/bvsacd/cd47/lluvia.pdf)

OSPINA, Ó. y RAMÍREZ, H., 2014. Evaluación de la calidad del agua de lluvia para su aprovechamiento y uso doméstico. Ingeniería Solidaria, vol. 10, no. 17, pp. 125-138. DOI <http://dx.doi.org/10.16925/in.v9i17.812>

PARRA, D.L., CARRILLO, L.J. y VELANDIA, E.A., 2015. Estudio de alternativas para el aprovechamiento y reúso del agua doméstica. Épsilon, vol. 24, pp. 123-142.

PAYUS, C. y MENG, K.J., 2015. Consumption of rainwater harvesting in terms of water quality. GEOMATE, vol. 9, no. 2, pp. 1515-1522.

PERRETT, H., 1983. Social Feasibility Analysis in Low-Cost Sanitation Projects. United Nations Development Programme [en línea], vol. 5, pp. 24. Disponible en: <http://documents.worldbank.org/curated/en/1983/01/1554637/social-feasibility-analysis-low-cost-sanitation-projects>

PINTO, U. y MAHESHWARI, B., 2003. ISSUES AND CHALLENGES OF GREYWATER REUSE FOR IRRIGATION IN AUSTRALIA – A CASE STUDY OF WESTERN SYDNEY REGION Recruitment of Survey Participants.

RAIMONDI, A. y BECCIU, G., 2014. Probabilistic Modeling of Rainwater Tanks. Procedia Engineering [en línea], vol. 89, pp. 1493-1499. ISSN 18777058. DOI 10.1016/j.proeng.2014.11.437. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705814025521>

RIVERA, M. y ZARAZA, J., 2015. Factibilidad técnica y económica de un sistema hidrosanitario para la reutilización de aguas grises y pluviales, caso de estudio en vivienda de alto consumo del A . M . de Bucaramanga. 2015. Bucaramanga: s.n.

RUITOQUE E.S.P. S.A., 2015. Tarifas de acueducto 2015. 2015. Girón: Ruitoque E.S.P. S.A.

SA HEALTH, 2013. Manual Bucketing & Temporary Diversion of Greywater. Wastewater Fact Sheet, pp. 1-2.

SÁNCHEZ, L.D. y CAICEDO, E.Y., 2002. Uso Del Agua Lluvia En La Bocana-Buenaventura. Conferencia internacional usos múltiples del agua: para la vida y el desarrollo sostenible, vol. 8, pp. 143-151.

SILVA, A., WEEBER, M. y GHISI, E., 2013. Self-cleaning filtration: A novel concept for rainwater harvesting systems. Resources, Conservation and Recycling [en línea], vol. 78, pp. 67-73. [Consulta: 22 diciembre 2015]. ISSN 09213449. DOI 10.1016/j.resconrec.2013.06.008. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344913001389>

STEPHENSON, T., PIDOU, M., JEFFERSON, B., JEFFREY, P. y MEMON, F. a., 2007. Greywater recycling: treatment options and applications. Proceedings of the ICE - Engineering Sustainability, vol. 160, no. 3, pp. 119-131. ISSN 1478-4629. DOI 10.1680/ensu.2007.160.3.119.

TORRES, A., MÉNDEZ, S., LÓPEZ, L., MARÍN, V., GONZÁLEZ, J., SUÁREZ, J., PINZÓN, J. y RUIZ, A., 2011. Evaluación Preliminar De La Calidad De La Escorrentía Pluvial Sobre Tejados Para Su Posible Aprovechamiento En Zonas Periurbanas De. UDCA Actualidad & Divulgación Científica [en línea], vol. 14, no. 1, pp. 127-135. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/rudca/v14n1/v14n1a16.pdf>

USEPA, 2012. Guidelines for Water Reuse. Development [en línea], vol. 26, no. September, pp. 252. Disponible en: <http://www.epa.gov/nrmrl/pubs/625r04108/625r04108.pdf>

VEPA, 2003. Guidelines for environmental management: use of reclaimed water. EPA Victoria, Southbank, Victoria [en línea], pp. 1-101. ISSN 0 7306 7622 6. Disponible en: <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Guidelines+for+Environmental+Management:+Use+of+Reclaimed+Water#0>

WARD, S., BARR, S., MEMON, F. y BUTLER, D., 2013. Rainwater harvesting in the UK: exploring water-user perceptions. Urban Water Journal [en línea], vol. 10, no. 2, pp. 112-126. ISSN 1573-062X. DOI 10.1080/1573062X.2012.709256. Disponible en: <http://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/1573062X.2012.709256>

ZHANG, Y., GRANT, A., SHARMA, A., CHEN, D. y CHEN, L., 2009. Assessment of rainwater use and greywater reuse in high-rise buildings in a brownfield site. *Water Science and Technology*, vol. 60, no. 3, pp. 575-581. ISSN 02731223. DOI 10.2166/wst.2009.364.

## ANEXOS

### Anexo A

#### Encuesta: Aprovechamiento de Aguas Lluvias y Aguas Domésticas

La encuesta consta de 13 preguntas y toma un tiempo aproximado de 7 minutos. Esta encuesta tiene como fin determinar la viabilidad de utilizar aguas lluvias y aguas domésticas residuales (con un tratamiento previo) en viviendas de interés social, esto como parte de un proyecto de grado de la Universidad Industrial de Santander, UIS.

#### CONSENTIMIENTO INFORMADO:

La información que usted suministre en esta encuesta será exclusivamente consultada por los estudiantes Jose Gabriel Mendoza Santos y Carlos Iván Rincón Méndez, al igual que por los docentes Isabel Cristina Domínguez y Edgar Ricardo Oviedo. La publicación de los resultados se hará de manera compilada con todos los encuestados y en ningún momento se revelará su identidad. De igual manera recuerde que puede desistir de responder cualquier pregunta en el momento que desee.

#### *Consumo de agua*

1. ¿Cuál es su nombre?

2. ¿Cuál es la dirección de su vivienda?

3. ¿Cuántas personas en total viven en su casa?

4. ¿Cuál es el consumo promedio de agua en su vivienda? (*Esta información puede ser encontrada en el recibo del agua, en la parte superior derecha, bajo el gráfico de barras que muestra los consumos anteriores*)

#### *Aguas Lluvias*

Teniendo en cuenta que las aguas lluvias pasarían por un tratamiento antes de ser usadas, responda.

1. ¿Estaría dispuesto a hacer uso de agua lluvia en su vivienda?
  - a. Si
  - b. No
2. ¿En qué actividades estaría dispuesto a usarla? (*Pregunta de selección múltiple*).

- a. Inodoro
- b. Lavado de ropa
- c. Aseo del hogar
- d. Ducha
- e. Lavamanos
- f. Jardín
- g. Lavado de Vehículo/Moto
- h. No sabe / No responde
- i. Otro

3. ¿Por qué razón(es) usaría agua lluvia en su vivienda? (*Pregunta de selección múltiple*).

- a. Ahorro de dinero
- b. Medio ambiente
- c. Otro

4. ¿Por qué razón(es) no usaría agua lluvia en su vivienda? (*Pregunta de selección múltiple*)

- a. Calidad del agua
- b. Higiene
- c. Requiere Mantenimiento
- d. Otro

#### ***Aguas grises***

*Teniendo en cuenta que las aguas grises son aguas residuales provenientes de duchas, lavamanos, lavadoras, lavaplatos, etc. (No se incluye el agua proveniente de Inodoros) y que estas pasarían por un tratamiento antes de ser usadas, Responda.*

1. ¿Estaría dispuesto a hacer uso de aguas grises en su vivienda?

- a. Si
- b. No

2. ¿En qué actividades estaría dispuesto a usarlas? (*Pregunta de selección múltiple*).

- a. Descarga del inodoro
- b. Lavado de ropa
- c. Aseo del hogar
- d. Ducha
- e. Lavamanos
- f. Jardín
- g. Lavado de Vehículo/Moto
- h. No sabe / No responde
- i. Otro

3. ¿Por qué razón(es) usaría aguas grises en su vivienda? (*Pregunta de selección múltiple*).

- a. Ahorro de dinero
- b. Medio ambiente

c. Otro

4. ¿Por qué razón(es) no usaría aguas grises en su vivienda? (*Pregunta de selección múltiple*).
- a. Calidad del agua
  - b. Higiene
  - c. Requiere Mantenimiento
  - d. Otro

### ***Aceptación***

1. Si fuese a comprar vivienda: ¿Cuánto estaría dispuesto a pagar de más, por un sistema para reutilizar aguas lluvias y aguas grises?
  - a. Menos de tres millones
  - b. Entre tres y seis millones
  - c. Entre seis y diez millones
  - d. Más de diez millones
  - e. No está dispuesto a pagar
  
2. ¿Con qué frecuencia estaría dispuesto a realizar actividades de operación del sistema?
  - a. Diaria
  - b. Dos veces por semana
  - c. Semanal
  - d. Cada quince días
  - e. Nunca

### **Anexo B**

#### **ENCUESTA REÚSO DE AGUAS LLUVIAS Y AGUAS GRISES**

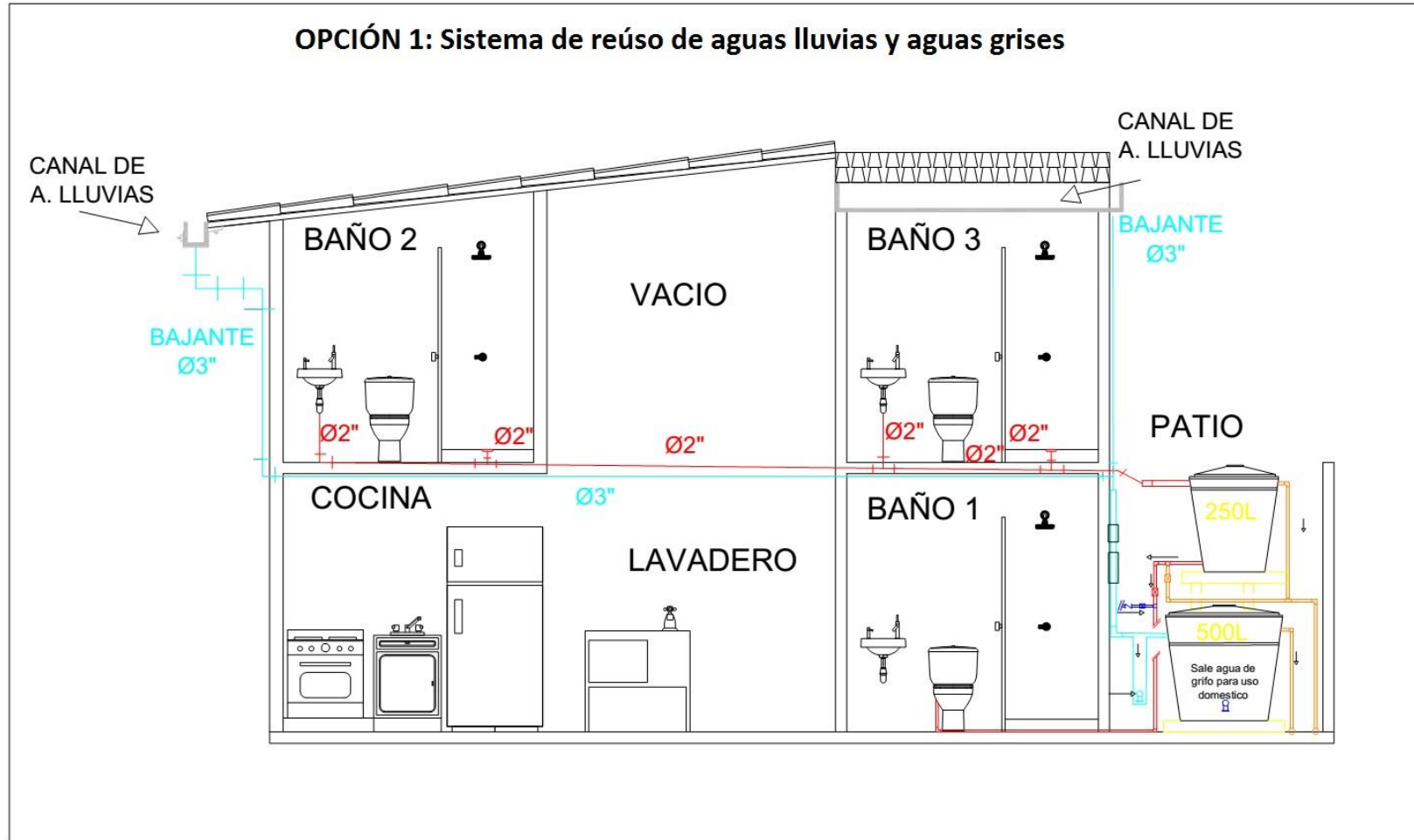
Esta encuesta tiene como fin determinar la viabilidad de utilizar aguas lluvias y aguas grises (con un tratamiento previo) en viviendas de interés social, esto como parte de un proyecto de grado de la Universidad Industrial de Santander. En total, la encuesta consta de tres preguntas, y toma un tiempo estimado de cinco minutos

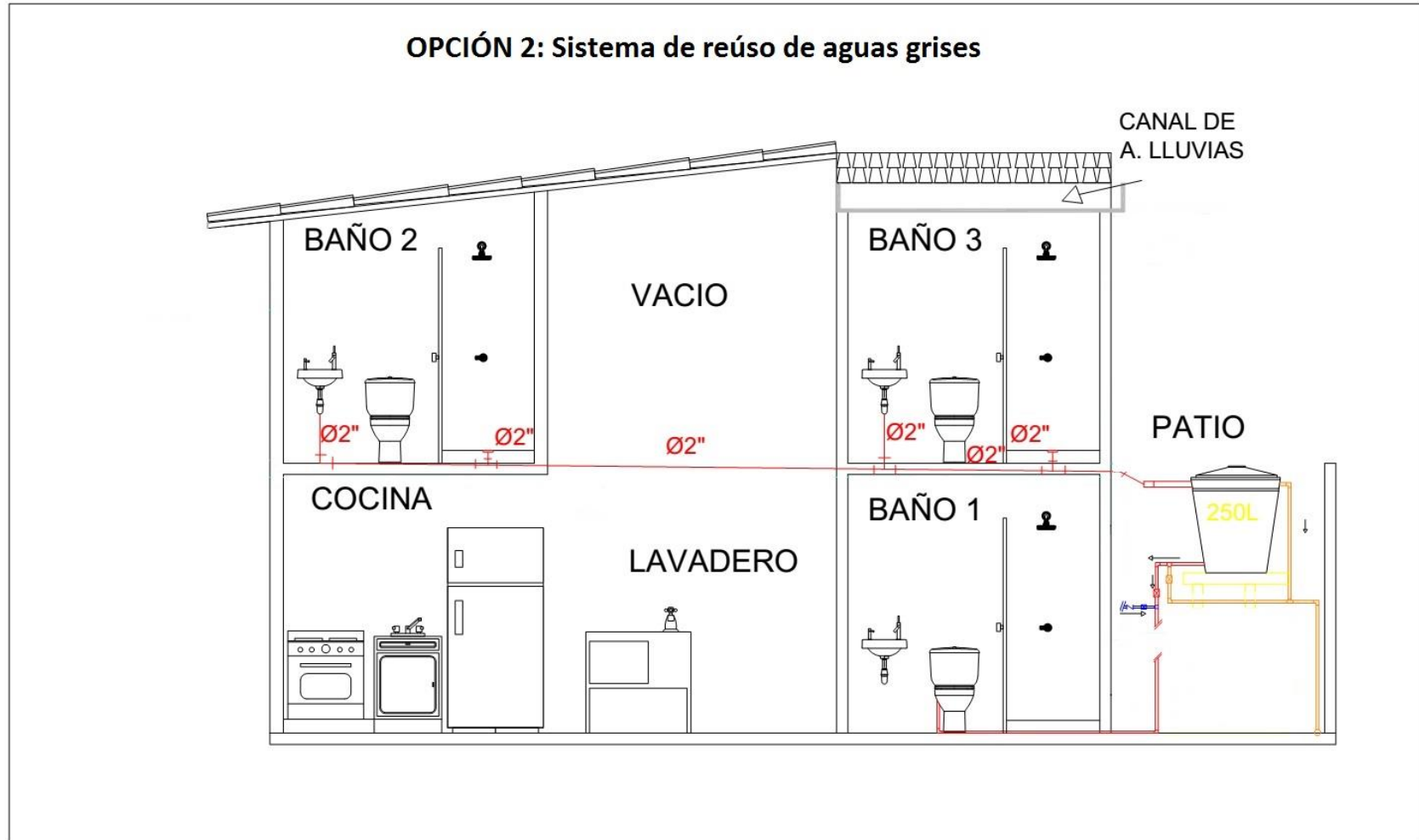
**CONSENTIMIENTO INFORMADO:** La información que usted suministre en esta encuesta será exclusivamente consultada por los estudiantes Jose Gabriel Mendoza Santos y Carlos Iván Rincón Méndez, al igual que por la Docente Isabel Cristina Domínguez. La publicación de los resultados se hará de manera compilada con todos los encuestados y en ningún momento se revelará su identidad. De igual manera recuerde que puede desistir de responder cualquier pregunta en el momento que desee.

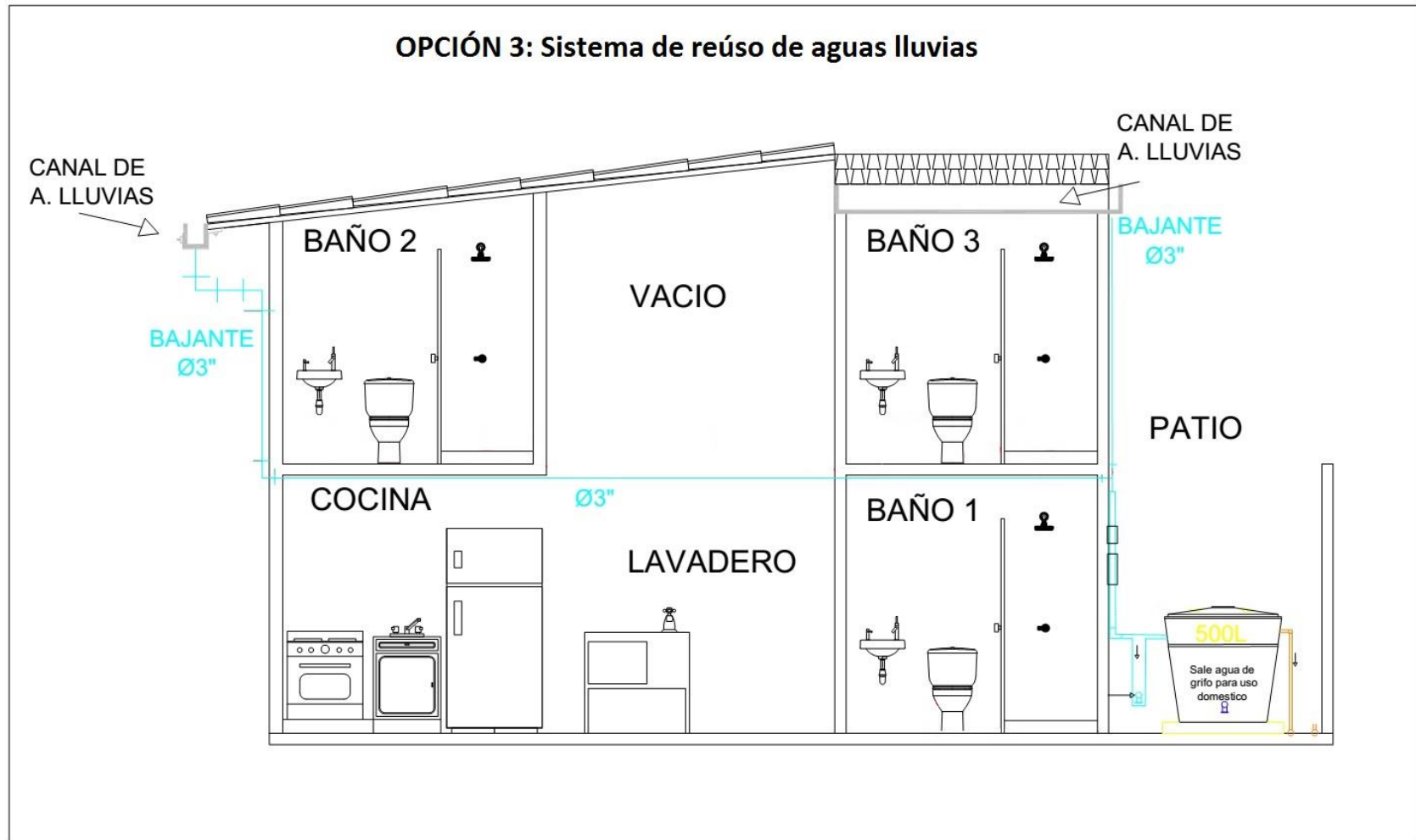
1. ¿Está usted interesado en ahorrar agua?
  - a) Si
  - b) No
  
2. ¿Si fuera a comprar una nueva casa, estaría dispuesto a invertir para lograr ahorrar agua?
  - a) Si
  - b) No

Suponiendo que desea comprar una vivienda nueva, y basándose en los planos suministrados por los encuestadores, seleccionar una de las opciones de sistemas de reúso de agua mostradas en la siguiente tabla.

	<b>Opción 1</b>	<b>Opción 2</b>	<b>Opción 3</b>	<b>Opción 4</b>
	<b>Sistema de reúso de aguas lluvias y aguas grises</b>	<b>Sistema de reúso de aguas grises</b>	<b>Sistema de reúso de aguas lluvias</b>	<b>Nada</b>
Descripción	Este sistema consta de un sistema de tuberías que redirige el agua de los lavamanos y duchas del segundo piso, y los lleva a un tanque de almacenamiento, para ser usados en la descarga del Inodoro del primer piso. Respecto al agua lluvia, está es interceptada en el techo de la vivienda y enviada a un tanque de almacenamiento (pasando por varios filtros que mejoran su calidad), donde puede ser usada para actividades como el aseo de la vivienda, lavado de vehículos o motos, el riego del jardín y otras.	Este sistema consta de un sistema de tuberías que redirige el agua de los lavamanos y duchas del segundo piso, y los lleva a un tanque de almacenamiento, para posteriormente ser usados en la descarga del Inodoro del primer piso.	En este sistema, el agua lluvia es interceptada en el techo de la vivienda, recolectada por canaletas y enviada a un tanque de almacenamiento (pasando por varios filtros que mejoran su calidad), donde puede ser usada para las actividades del hogar que no requieran de agua potable como el aseo de la vivienda, lavado de vehículos o motos, el riego del jardín y otras.	Sistema convencional de suministro de agua
Ahorro de agua	59,000 Litros Anuales (26% del consumo total)	39,500 Litros Anuales (17% del consumo total)	19,500 Litros Anuales (9% del consumo total)	0,0 Litros Anuales
Costo	\$3,109,083	\$1,562,120	\$1,592,597	\$0
Ahorro de Dinero	\$93,825 Anual	\$62,449 Anual	\$30,735 Anual	\$0
Gastos por Mantenimiento	\$21,000 Anual	\$6,000 Anual	\$15,000 Anual	\$0
Tiempo de recuperación de la inversión	26 Años	19 Años	41 años	0 Años
<b>Marcar con una X la opción preferida</b>				







## Anexo C

### Diseño de la red de distribución de aguas grises por el método de Hunter modificado

Tramo		UND Gasto	Caudal Lps	Ø Nominal Pulg	Vel m/s	L m	Accesorios			L Total m	J m/m	Hf Parcial	Hf Acum.	Δ Nivel m	Presión Mínima	Presión Disp.
De	A						VP	CD	TL							
	<b>TE</b>															
<b>TE</b>	<b>IN</b>	3	0.2	0.75	0.7	5	1	6	2	10.1	0.034	0.34	0.34	1.7	1.31	0.05

Abreviaciones: UND Gasto: Unidades de Hunter, Ø. Nominal: Diámetro de la tubería, Vel: Velocidad del agua, L: Longitud de la tubería, VP: Válvula de Paso, CD: Codo, TL: Tee lateral, J: Coeficiente de pérdidas, Hf: Pérdidas, Presión Disp: Presión disponible.

## Anexo D

### Especificaciones Técnicas del tanque de aguas grises

Marca	COLEMPAQUES
Tamaño	250 Litros
Referencia	Bajito
Altura Total	51 cm
Diámetro	107 cm



*Figura: Tanque Bajito. Fuente: Colempaques.com*

### Especificaciones Técnicas del tanque de agua lluvia

Marca	COLEMPAQUES
Tamaño	500 Litros
Referencia	Cónico
Altura Total	103cm
Diámetro	104 cm



*Figura: Tanque Cónico. Fuente: Colempaques.com.*

### Anexo E

#### Especificaciones del tren de tratamiento de aguas lluvias: Malla antiplagas.

Referencia:

- ✓ Mosquito 9x10

Dimensiones

- ✓ 1.2 y 1.5 metros de ancho
- ✓ 15 y 30 metros de largo



**Figura.** Malla antiplagas: tomada de (Rivera y Zaraza 2015)

Anexo F

Especificaciones del tren de tratamiento de aguas lluvias: Filtro autolimpiante y filtro de hojas

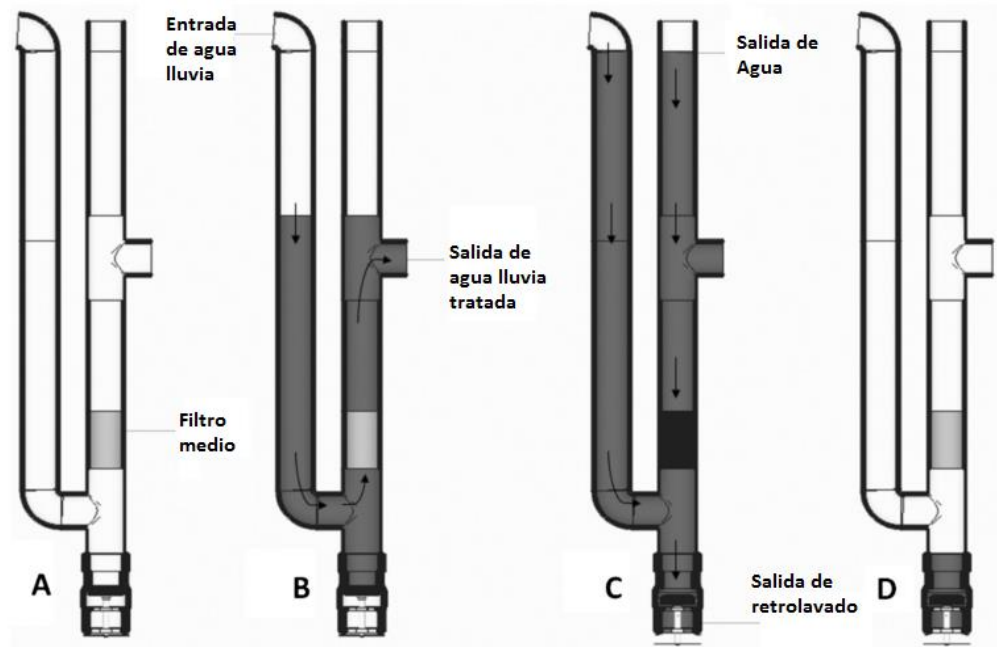


Figura. Filtro autolimpiante. Adaptada de:(Silva, Weeber y Ghisi 2013)



Figura. Filtro de hojas autolimpiante. Fuente: (Rivera y Zaraza 2015)

Anexo G

Especificaciones del tren de tratamiento de aguas lluvias: Desviador del primer flujo.

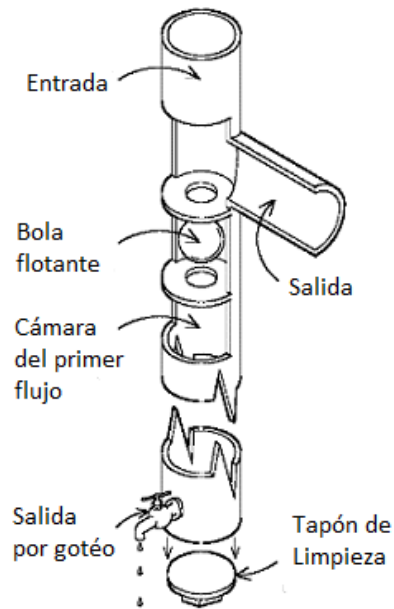


Figura. Desviador del primer flujo: Fuente (Rivera y Zaraza 2015)

## Anexo H

### Gastos por mantenimiento de los tres sistemas propuestos

**Tabla.** Gastos por mantenimiento del sistema de A. Gris + A. Lluvia

N	Descripción	Valor Unitario	Periodicidad Anual	Cantidad / Año	Valor
1	Limpieza tanque de aguas lluvias 500 litros	\$10,000	2	0.5	\$5,000
2	Limpieza tanque de aguas grises 250 litros	\$6,000	1	1	\$6,000
3	Limpieza canaletas	\$10,000	1	1	\$10,000
				Total	\$21,000

**Tabla.** Gastos por mantenimiento del sistema de A. Gris

N	Descripción	Valor Unitario	Periodicidad Anual	Cantidad / Año	Valor
1	Limpieza tanque de aguas grises 250 litros	\$6,000	1	1	\$6,000
				Total	\$6,000

**Tabla.** Gastos por mantenimiento del sistema de A. Lluvia

N	Descripción	Valor Unitario	Periodicidad Anual	Cantidad / Año	Valor
1	Limpieza tanque de aguas lluvias 500 litros	\$10,000	2	0.5	\$5,000
2	Limpieza canaletas	\$10,000	1	1	\$10,000
				Total	\$15,000

## Anexo I

### Resumen de costos por capítulos de los tres sistemas propuestos

**Tabla.** Resumen de costos por capítulos del sistema de A. Gris + A. Lluvia

No	Descripción	Red Nueva	Red Original
1	LOCALIZACIÓN Y REPLANTEO	\$286,286	\$275,875
2	RED SANITARIA	\$1,576,768	\$1,306,188
3	RED HIDRÁULICA POTABLE	\$368,332	\$340,422
4	RED AGUAS GRISES TRATADA	\$108,676	\$0
5	RED AGUAS LLUVIA	\$1,382,073	\$721,494
6	ALMACENAMIENTO	\$800,624	\$0
7	DISEÑO RED HIDROSANITARIA Y DE REUSO	\$2,000,000	\$1,000,000
<b>TOTAL</b>		\$6,522,759	\$3,643,979
<b>AIU (8%)</b>		\$521,821	\$291,518
		<b>Red Nueva</b>	<b>Red Original</b>
<b>Inversión</b>		\$7,044,580	\$3,935,497

**Tabla.** Resumen de costos por capítulos del sistema de A. Gris

No	Descripción	Red Nueva	Red Original
1	LOCALIZACIÓN Y REPLANTEO	\$281,080	\$275,875
2	RED SANITARIA	\$1,576,768	\$1,306,188
3	RED HIDRÁULICA POTABLE	\$368,332	\$340,422
4	RED AGUAS GRISES TRATADA	\$108,676	\$0
5	ALMACENAMIENTO	\$536,813	\$0
6	DISEÑO RED HIDROSANITARIA Y DE REUSO	\$1,500,000	\$1,000,000
<b>TOTAL</b>		\$4,371,670	\$2,922,485
<b>AIU (8%)</b>		\$349,734	\$233,799
		<b>Red Nueva</b>	<b>Red Original</b>
<b>Inversión</b>		\$4,721,403	\$3,156,284

**Tabla.** Resumen de costos por capítulos del sistema de A. Lluvia

No	Descripción	Red Nueva	Red Original
1	LOCALIZACIÓN Y REPLANTEO	\$281,080	\$275,875
2	RED SANITARIA	\$1,306,188	\$1,306,188
3	RED HIDRÁULICA POTABLE	\$368,332	\$340,422
4	RED AGUAS LLUVIA	\$1,382,073	\$721,494
5	ALMACENAMIENTO	\$280,932	\$0
6	DISEÑO RED HIDROSANITARIA Y DE REUSO	\$1,500,000	\$1,000,000
<b>TOTAL</b>		\$5,118,605	\$3,643,979
<b>AIU (8%)</b>		\$409,488	\$291,518
		<b>Red Nueva</b>	<b>Red Original</b>
<b>Inversión</b>		\$5,528,094	\$3,935,497

## Anexo J

### Presupuestos de construcción de los sistemas propuestos

**Tabla.** Presupuesto de construcción del sistema de A. Gris + A. Lluvia

#	Descripción	UN	Cantidad		Precio uni.	Totales [COP]	
			Nueva	Original	[COP]	Red Nueva	Red Original
<b>1</b>	<b>LOCALIZACIÓN Y REPLANTEO</b>					<b>\$286,286</b>	<b>\$275,875</b>
	LOCALIZACIÓN	<b>M2</b>	55.0	53.0	\$1,065	\$58,551	\$56,422
	REPLANTEO	<b>M2</b>	55.0	53.0	\$4,141	\$227,735	\$219,453
<b>2</b>	<b>RED SANITARIA</b>					<b>\$1,576,768</b>	<b>\$1,306,188</b>
2.1	TUBERÍA					\$1,125,884	\$878,223
	TUBERÍA SANITARIA EN PVC DE DIÁMETRO 4" PAVCO	<b>M</b>	22.0	19.0	\$38,223	\$840,901	\$726,233
	TUBERÍA SANITARIA EN PVC DE DIÁMETRO 2" PAVCO	<b>M</b>	15.0	8.0	\$18,999	\$284,983	\$151,991
2.2	ACCESORIOS					\$450,885	\$427,964
	BUJES SOLDADOS PVC 1 "ø-2"ø PAVCO	<b>UN</b>	2.0	0.0	\$5,306	\$10,611	\$0
	CODO SANITARIA PVC 45° Ø=2"	<b>UN</b>	0.0	2.0	\$7,149	\$0	\$14,298
	CODO SANITARIA PVC 90° Ø=2"	<b>UN</b>	8.0	5.0	\$6,585	\$52,681	\$32,925
	CODO SANITARIA PVC 90° Ø=4"	<b>UN</b>	2.0	2.0	\$19,436	\$38,872	\$38,872
	YEE SANITARIA PVC Ø=4x2"	<b>UN</b>	8.0	10.0	\$22,414	\$179,308	\$224,136
	YEE SANITARIA PVC Ø=4"	<b>UN</b>	3.0	3.0	\$25,347	\$76,040	\$76,040
	YEE SANITARIA PVC Ø=2"	<b>UN</b>	4.0	0.0	\$12,920	\$51,679	\$0
	TEE SANITARIA PVC Ø=4"	<b>UN</b>	2.0	2.0	\$19,488	\$38,975	\$38,975
	TAPON PRUEBAS SANITARIAS DE PVC Ø=4"	<b>UN</b>	1.0	1.0	\$2,719	\$2,719	\$2,719
<b>3</b>	<b>RED HIDRÁULICA POTABLE</b>					<b>\$368,332</b>	<b>\$340,422</b>
3.1	TUBERÍA					\$253,234	\$233,134
	TUBERIA HIDRÁULICA RDE 21 PVC DE Ø 1/2" PAVCO	<b>M</b>	12.0	12.0	\$8,540	\$102,478	\$102,478
	TUBERIA HIDRÁULICA RDE 21 PVC DE Ø 3/4" PAVCO	<b>M</b>	15.0	13.0	\$10,050	\$150,757	\$130,656

3.2	ACCESORIOS				\$115,097	\$107,288	
	BUJES SOLDADOS PVC 3/4"ø-1/2"ø PAVCO	UN	13.0	12.0	\$2,558	\$33,254	\$30,696
	CODO PVC 90° Ø=3/4" PAVCO	UN	4.0	4.0	\$4,826	\$19,304	\$19,304
	TEE PVC Ø=1/2" PAVCO	UN	2.0	2.0	\$4,152	\$8,304	\$8,304
	TEE PVC Ø=3/4" PAVCO	UN	9.0	8.0	\$5,251	\$47,257	\$42,007
	TAPON ROSCADO DE Ø=3/4" PAVCO	UN	1.0	1.0	\$2,619	\$2,619	\$2,619
	VÁLVULA DE BOLA Ø=1/2"	UN	1.0	1.0	\$4,360	\$4,360	\$4,360
<b>4</b>	<b>RED AGUAS GRISES TRATADA</b>					<b>\$108,676</b>	<b>\$0</b>
4.1	TUBERÍA					\$50,252	\$0
	TUBERIA HIDRÁULICA RDE 21 PVC DE Ø 3/4" PAVCO	M	5.0	0.0	\$10,050	\$50,252	\$0
4.2	ACCESORIOS					\$58,424	\$0
	TEE PVC Ø=1" PAVCO	UN	3.0	0.0	\$6,605	\$19,816	\$0
	CODO PVC 90° Ø=3/4" PAVCO	UN	8.0	0.0	\$4,826	\$38,608	\$0
<b>5</b>	<b>RED AGUAS LLUVIA</b>					<b>\$1,382,073</b>	<b>\$721,494</b>
5.1	TUBERÍA					\$943,401	\$706,351
	TUBERÍA SANITARIA EN PVC DE DIÁMETRO 3" PAVCO	M	23.0	15.0	\$29,631	\$681,519	\$444,469
	CANAL RAINGO 3" PVC PAVCP	M	7.0	7.0	\$37,412	\$261,882	\$261,882
5.2	ACCESORIOS Y OTROS					\$438,673	\$15,143
	CODO SANITARIA PVC 45° Ø=3"	UN	1.0	0.0	\$14,109	\$14,109	\$0
	CODO SANITARIA PVC 90° Ø=3"	UN	2.0	0.0	\$9,806	\$19,612	\$0
	YEE PVC Ø=3"	UN	1.0	1.0	\$15,143	\$15,143	\$15,143
	TEE PVC Ø=3" PAVCO	UN	1.0	0.0	\$15,590	\$15,590	\$0
	FILTRO DE HOJAS CONCÉNTRICO PARA BAJANTE AGUAS LLUVIA	UN	1.0	0.0	\$95,303	\$95,303	\$0
	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE FILTRO AUTILIMPIANTE (BAJANTE AGUAS LLUVIAS)	UN	1.0	0.0	\$180,468	\$180,468	\$0
	DISPOSITIVO DESVIADOR DE PRIMER FLUJO	UN	1.0	0.0	\$76,648	\$76,648	\$0

	MALLA ANTIPLAGAS PARA COBERTURA DE BAJANTES Y CONEXIONES (2x2M)	UN	1.0	0.0	\$21,798	\$21,798	\$0
<b>6</b>	<b>ALMACENAMIENTO</b>					<b>\$800,624</b>	<b>\$0</b>
6.1	ESTRUCTURA					\$334,371	\$0
	BASE METÁLICA PARA TANQUE ELEVADO DE 250 LITROS EMPOTRADA EN MURO	UN	1.0	0.0	\$300,000	\$300,000	\$0
	BASE DE 20X80X80 CM PARA TANQUE DE AGUAS LLUVIAS EN CONCRETO CICLÓPEO DE 3000 PSI 40% PIEDRA	M3	0.135	0	\$254,600	34,371	0.00
6.2	ACCESORIOS Y TANQUES					\$466,253	\$0
	TANQUE PLÁSTICO COLEMPAQUES DE 250 LITROS	UN	1.0	0.0	\$152,888	\$152,888	\$0
	TANQUE PLÁSTICO COLEMPAQUES DE 500 LITROS	UN	1.0	0.0	\$221,328	\$221,328	\$0
	GRIFO D=1/2" PARA TANQUE	UN	1.0	0.0	\$8,112	\$8,112	\$0
	CODO PVC 90° Ø=1" PAVCO	UN	3.0	0.0	\$5,824	\$17,471	\$0
	VÁLVULA DE RETENCIÓN D=3/4"	UN	1.0	0.0	\$22,462	\$22,462	\$0
	VÁLVULA DE BOLA D=3/4"	UN	1.0	0.0	\$12,329	\$12,329	\$0
	VÁLVULA DE BOLA D= 1"	UN	2.0	0.0	\$15,832	\$31,663	\$0
<b>7</b>	<b>DISEÑO RED HIDROSANITARIA Y DE TRATAMIENTO</b>					<b>\$2,000,000</b>	<b>\$1,000,000</b>
	DISEÑO REDES HIDRÁULICAS, SANITARIAS Y PLUVIALES	GLB	1.0	1.0	\$1,000,000	\$1,000,000	\$1,000,000
	DISEÑO DEL SISTEMA DE REUTILIZACIÓN DE AGUAS	GLB	1.0	0.0	\$1,000,000	\$1,000,000	\$0

		\$6,552,75	\$3,643,97
<b>TOTAL</b>		9	9
<b>AIU (8%)</b>		\$521,821	\$291,518
		Red Nueva	Red Original
		\$7,044,58	\$3,935,49
<b>Inversión</b>		0	7

**Tabla.** Presupuesto de construcción del sistema de A. Gris

#	Descripción	UN	Cantidad		Precio uni.	Totales [COP]	
			Nueva	Original	[COP]	Red Nueva	Red Original
<b>LOCALIZACIÓN Y REPLANTEO</b>						<b>\$281,080</b>	<b>\$275,875</b>
	LOCALIZACIÓN	M2	54.0	53.0	\$1,065	\$57,486	\$56,422
	REPLANTEO	M2	54.0	53.0	\$4,141	\$223,594	\$219,453
<b>2 RED SANITARIA</b>						<b>\$1,576,768</b>	<b>\$1,306,188</b>
2.1	TUBERÍA					\$1,125,884	\$878,223
	TUBERÍA SANITARIA EN PVC DE DIÁMETRO 4" PAVCO	M	22.0	19.0	\$38,223	\$840,901	\$726,233
	TUBERÍA SANITARIA EN PVC DE DIÁMETRO 2" PAVCO	M	15.0	8.0	\$18,999	\$284,983	\$151,991
2.2	ACCESORIOS					\$450,885	\$427,964
	BUJES SOLDADOS PVC 1 "ø-2"ø PAVCO	UN	2.0	0.0	\$5,306	\$10,611	\$0
	CODO SANITARIA PVC 45° Ø=2"	UN	0.0	2.0	\$7,149	\$0	\$14,298
	CODO SANITARIA PVC 90° Ø=2"	UN	8.0	5.0	\$6,585	\$52,681	\$32,925
	CODO SANITARIA PVC 90° Ø=4"	UN	2.0	2.0	\$19,436	\$38,872	\$38,872
	YEE SANITARIA PVC Ø=4x2"	UN	8.0	10.0	\$22,414	\$179,308	\$224,136
	YEE SANITARIA PVC Ø=4"	UN	3.0	3.0	\$25,347	\$76,040	\$76,040
	YEE SANITARIA PVC Ø=2"	UN	4.0	0.0	\$12,920	\$51,679	\$0
	TEE SANITARIA PVC Ø=4"	UN	2.0	2.0	\$19,488	\$38,975	\$38,975
	TAPON PRUEBAS SANITARIAS DE PVC Ø=4"	UN	1.0	1.0	\$2,719	\$2,719	\$2,719
<b>3 RED HIDRÁULICA POTABLE</b>						<b>\$368,332</b>	<b>\$340,422</b>
3.1	TUBERÍA					\$253,234	\$233,134
	TUBERIA HIDRÁULICA RDE 21 PVC DE Ø 1/2" PAVCO	M	12.0	12.0	\$8,540	\$102,478	\$102,478
	TUBERIA HIDRÁULICA RDE 21 PVC DE Ø 3/4" PAVCO	M	15.0	13.0	\$10,050	\$150,757	\$130,656
3.2	ACCESORIOS					\$115,097	\$107,288
	BUJES SOLDADOS PVC 3/4"ø-1/2"ø PAVCO	UN	13.0	12.0	\$2,558	\$33,254	\$30,696
	CODO PVC 90° Ø=3/4" PAVCO	UN	4.0	4.0	\$4,826	\$19,304	\$19,304
	TEE PVC Ø=1/2" PAVCO	UN	2.0	2.0	\$4,152	\$8,304	\$8,304

TEE PVC Ø=3/4" PAVCO	UN	9.0	8.0	\$5,251	\$47,257	\$42,007
TAPON ROSCADO DE Ø=3/4" PAVCO	UN	1.0	1.0	\$2,619	\$2,619	\$2,619
VÁLVULA DE BOLA Ø=1/2"	UN	1.0	1.0	\$4,360	\$4,360	\$4,360
<b>RED AGUAS GRISES</b>						
<b>4 TRATADA</b>					<b>\$108,676</b>	<b>\$0</b>
4.1 TUBERÍA					\$50,252	\$0
TUBERIA HIDRÁULICA RDE 21 PVC DE Ø 3/4" PAVCO	M	5.0	0.0	\$10,050	\$50,252	\$0
4.2 ACCESORIOS					\$58,424	\$0
TEE PVC Ø=1" PAVCO	UN	3.0	0.0	\$6,605	\$19,816	\$0
CODO PVC 90° Ø=3/4" PAVCO	UN	8.0	0.0	\$4,826	\$38,608	\$0
<b>6 ALMACENAMIENTO</b>					<b>\$538,802</b>	<b>\$0</b>
6.1 ESTRUCTURA					\$300,000	\$0
BASE METÁLICA PARA TANQUE ELEVADO DE 250 LITROS EMPOTRADA EN MURO	UN	1.0	0.0	\$300,000	\$300,000	\$0
6.2 ACCESORIOS Y TANQUES					\$236,813	\$0
TANQUE PLÁSTICO COLEMPAQUES DE 250 LITROS	UN	1.0	0.0	\$152,888	\$125,371	\$0
CODO PVC 90° Ø=1" PAVCO	UN	3.0	0.0	\$5,824	\$17,471	\$0
VÁLVULA DE RETENCIÓN D=3/4"	UN	1.0	0.0	\$22,462	\$22,462	\$0
VÁLVULA DE BOLA D=3/4"	UN	1.0	0.0	\$12,329	\$12,329	\$0
VÁLVULA DE BOLA D= 1"	UN	2.0	0.0	\$15,832	\$31,663	\$0
<b>DISEÑO RED HIDROSANITARIA Y DE TRATAMIENTO</b>					<b>\$1,500,000</b>	<b>\$1,000,000</b>
DISEÑO REDES HIDRÁULICAS, SANITARIAS Y PLUVIALES	GLB	1.0	1.0	\$1,000,000	\$1,000,000	\$1,000,000
DISEÑO DEL SISTEMA DE REUTILIZACIÓN DE AGUAS	GLB	1.0	0.0	\$500,000	\$500,000	\$0
<b>TOTAL</b>				<b>\$4,371,670</b>	<b>\$2,922,485</b>	
<b>AIU (8%)</b>				<b>\$349,734</b>	<b>\$233,799</b>	
				Red Nueva	Red Original	
<b>Inversión</b>				<b>\$4,721,403</b>	<b>\$3,156,284</b>	

**Tabla.** Presupuesto de construcción del sistema de A. Lluvia.

#	Descripción	UN	Cantidad		Precio uni.	Totales [COP]	
			Nueva	Original	[COP]	Red Nueva	Red Original
<b>1</b>	<b>LOCALIZACIÓN Y REPLANTEO</b>					<b>\$281,080</b>	<b>\$275,875</b>
	LOCALIZACIÓN	M2	54.0	53.0	\$1,065	\$57,486	\$56,422
	REPLANTEO	M2	54.0	53.0	\$4,141	\$223,594	\$219,453
<b>2</b>	<b>RED SANITARIA</b>					<b>\$1,306,188</b>	<b>\$1,306,188</b>
2.1	TUBERÍA					\$878,223	\$878,223
	TUBERÍA SANITARIA EN PVC DE DIÁMETRO 4" PAVCO	M	19.0	19.0	\$38,223	\$726,233	\$726,233
	TUBERÍA SANITARIA EN PVC DE DIÁMETRO 2" PAVCO	M	8.0	8.0	\$18,999	\$151,991	\$151,991
2.2	ACCESORIOS					\$427,964	\$427,964
	BUJES SOLDADOS PVC 1 "ø-2"ø PAVCO	UN	0.0	0.0	\$5,306	\$0	\$0
	CODO SANITARIA PVC 45° Ø=2"	UN	2.0	2.0	\$7,149	\$14,298	\$14,298
	CODO SANITARIA PVC 90° Ø=2"	UN	5.0	5.0	\$6,585	\$32,925	\$32,925
	CODO SANITARIA PVC 90° Ø=4"	UN	2.0	2.0	\$19,436	\$38,872	\$38,872
	YEE SANITARIA PVC Ø=4x2"	UN	10.0	10.0	\$22,414	\$224,136	\$224,136
	YEE SANITARIA PVC Ø=4"	UN	3.0	3.0	\$25,347	\$76,040	\$76,040
	YEE SANITARIA PVC Ø=2"	UN	0.0	0.0	\$12,920	\$0	\$0
	TEE SANITARIA PVC Ø=4"	UN	2.0	2.0	\$19,488	\$38,975	\$38,975
	TAPON PRUEBAS SANITARIAS DE PVC Ø=4"	UN	1.0	1.0	\$2,719	\$2,719	\$2,719
<b>3</b>	<b>RED HIDRÁULICA POTABLE</b>					<b>\$368,332</b>	<b>\$340,422</b>
3.1	TUBERÍA					\$253,234	\$233,134
	TUBERIA HIDRÁULICA RDE 21 PVC DE Ø 1/2" PAVCO	M	12.0	12.0	\$8,540	\$102,478	\$102,478
	TUBERIA HIDRÁULICA RDE 21 PVC DE Ø 3/4" PAVCO	M	15.0	13.0	\$10,050	\$150,757	\$130,656
3.2	ACCESORIOS					\$115,097	\$107,288
	BUJES SOLDADOS PVC 3/4"ø-1/2"ø PAVCO	UN	13.0	12.0	\$2,558	\$33,254	\$30,696
	CODO PVC 90° Ø=3/4" PAVCO	UN	4.0	4.0	\$4,826	\$19,304	\$19,304
	TEE PVC Ø=1/2" PAVCO	UN	2.0	2.0	\$4,152	\$8,304	\$8,304
	TEE PVC Ø=3/4" PAVCO	UN	9.0	8.0	\$5,251	\$47,257	\$42,007
	TAPON ROSCADO DE Ø=3/4" PAVCO	UN	1.0	1.0	\$2,619	\$2,619	\$2,619
	VÁLVULA DE BOLA Ø=1/2"	UN	1.0	1.0	\$4,360	\$4,360	\$4,360
<b>5</b>	<b>RED AGUAS LLUVIA</b>					<b>\$1,382,073</b>	<b>\$721,494</b>

5.1	TUBERÍA				\$943,401	\$706,351
	TUBERÍA SANITARIA EN PVC DE DIÁMETRO 3" PAVCO	M	23.0	15.0	\$29,631	\$681,519
	CANAL RAINGO 3" PVC PAVCP	M	7.0	7.0	\$37,412	\$261,882
5.2	ACCESORIOS Y OTROS				\$438,673	\$15,143
	CODO SANITARIA PVC 45° Ø=3"	UN	1.0	0.0	\$14,109	\$14,109
	CODO SANITARIA PVC 90° Ø=3"	UN	2.0	0.0	\$9,806	\$19,612
	YEE PVC Ø=3"	UN	1.0	1.0	\$15,143	\$15,143
	TEE PVC Ø=3" PAVCO	UN	1.0	0.0	\$15,590	\$15,590
	FILTRO DE HOJAS CONCÉNTRICO PARA BAJANTE AGUAS LLUVIA	UN	1.0	0.0	\$95,303	\$95,303
	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE FILTRO AUTILIMPIANTE (BAJANTE AGUAS LLUVIAS)	UN	1.0	0.0	\$180,468	\$180,468
	DISPOSITIVO DESVIADOR DE PRIMER FLUJO	UN	1.0	0.0	\$76,648	\$76,648
	MALLA ANTIPLAGAS PARA COBERTURA DE BAJANTES Y CONEXIONES (2x2M)	UN	1.0	0.0	\$21,798	\$21,798
<b>6</b>	<b>ALMACENAMIENTO</b>				<b>\$280,932</b>	<b>\$0</b>
6.1	ESTRUCTURA				\$34,371	\$0
	BASE DE 20X80X80 CM PARA TANQUE DE AGUAS LLUVIAS EN CONCRETO CICLÓPEO DE 3000 PSI 40% PIEDRA	M3	0.135	0	\$254,600	34,371
6.1	ACCESORIOS Y TANQUES				\$249,980	\$0
	TANQUE PLÁSTICO COLEMPAQUES DE 500 LITROS	UN	1.0	0.0	\$221,328	\$221,328
	GRIFO D=1/2" PARA TANQUE	UN	1.0	0.0	\$8,001	\$8,001
	CODO PVC 90° Ø=1" PAVCO	UN	3.0	0.0	\$5,744	\$17,232
<b>7</b>	<b>DISEÑO RED HIDROSANITARIA Y DE TRATAMIENTO</b>				<b>\$1,500,000</b>	<b>\$1,000,000</b>
	DISEÑO REDES HIDRÁULICAS, SANITARIAS Y PLUVIALES	GLB	1.0	1.0	\$1,000,000	\$1,000,000
	DISEÑO DEL SISTEMA DE REUTILIZACIÓN DE AGUAS	GLB	1.0	0.0	\$500,000	\$500,000
	<b>TOTAL</b>		\$5,118,605	\$3,643,979		
	<b>AIU</b>					
	<b>(8%)</b>		\$409,488	\$291,518		
			Red Nueva	Red Original		
	<b>Inversión</b>		\$5,528,094	\$3,935,497		

## Anexo K

### Flujo de caja de los sistemas propuestos

Tabla. Flujo de caja del sistema de A. Gris + A. Lluvia

Año	Ingresos		Egresos	Flujo neto	Flujo neto acumulado
	Acueducto	Alcantarillado	Mantenimiento		
0			\$3,109,083	-\$3,109,083	-\$3,109,083
1	\$55,178	\$38,007	\$21,000	\$72,185	-\$3,036,898
2	\$57,473	\$39,588	\$21,874	\$75,187	-\$2,961,711
3	\$59,864	\$41,235	\$22,784	\$78,315	-\$2,883,396
4	\$62,355	\$42,950	\$23,731	\$81,573	-\$2,801,822
5	\$64,949	\$44,737	\$24,719	\$84,967	-\$2,716,856
6	\$67,650	\$46,598	\$25,747	\$88,501	-\$2,628,355
7	\$70,465	\$48,536	\$26,818	\$92,183	-\$2,536,172
8	\$73,396	\$50,555	\$27,934	\$96,018	-\$2,440,154
9	\$76,449	\$52,658	\$29,096	\$100,012	-\$2,340,142
10	\$79,630	\$54,849	\$30,306	\$104,173	-\$2,235,969
11	\$82,942	\$57,131	\$31,567	\$108,506	-\$2,127,463
12	\$86,393	\$59,507	\$32,880	\$113,020	-\$2,014,443
13	\$89,987	\$61,983	\$34,248	\$117,722	-\$1,896,722
14	\$93,730	\$64,561	\$35,672	\$122,619	-\$1,774,103
15	\$97,629	\$67,247	\$37,156	\$127,720	-\$1,646,383
16	\$101,690	\$70,044	\$38,702	\$133,033	-\$1,513,350
17	\$105,921	\$72,958	\$40,312	\$138,567	-\$1,374,783
18	\$110,327	\$75,993	\$41,989	\$144,331	-\$1,230,452
19	\$114,917	\$79,155	\$43,736	\$150,336	-\$1,080,116
20	\$119,697	\$82,448	\$45,555	\$156,590	-\$923,526
21	\$124,677	\$85,877	\$47,450	\$163,104	-\$760,422
22	\$129,863	\$89,450	\$49,424	\$169,889	-\$590,534
23	\$135,266	\$93,171	\$51,480	\$176,956	-\$413,577
24	\$140,893	\$97,047	\$53,622	\$184,318	-\$229,260
25	\$146,754	\$101,084	\$55,852	\$191,985	-\$37,274
26	\$152,859	\$105,289	\$58,176	\$199,972	\$162,697
27	\$159,218	\$109,669	\$60,596	\$208,291	\$370,988
28	\$165,841	\$114,231	\$63,117	\$216,956	\$587,944
29	\$172,740	\$118,983	\$65,743	\$225,981	\$813,925
30	\$179,926	\$123,933	\$68,477	\$235,382	\$1,049,306
31	\$187,411	\$129,089	\$71,326	\$245,174	\$1,294,480
32	\$195,207	\$134,459	\$74,293	\$255,373	\$1,549,853
33	\$203,328	\$140,052	\$77,384	\$265,996	\$1,815,849
34	\$211,786	\$145,879	\$80,603	\$277,062	\$2,092,911
35	\$220,597	\$151,947	\$83,956	\$288,588	\$2,381,498
36	\$229,773	\$158,268	\$87,449	\$300,593	\$2,682,091
37	\$239,332	\$164,852	\$91,087	\$313,097	\$2,995,189
38	\$249,288	\$171,710	\$94,876	\$326,122	\$3,321,311
39	\$259,659	\$178,853	\$98,823	\$339,689	\$3,661,000
40	\$270,460	\$186,293	\$102,934	\$353,820	\$4,014,820
41	\$281,712	\$194,043	\$107,216	\$368,539	\$4,383,359
42	\$293,431	\$202,115	\$111,676	\$383,870	\$4,767,229
43	\$305,637	\$210,523	\$116,322	\$399,839	\$5,167,068

44	\$318,352	\$219,281	\$121,161	\$416,472	\$5,583,541
45	\$331,595	\$228,403	\$126,201	\$433,798	\$6,017,338
46	\$345,390	\$237,905	\$131,451	\$451,844	\$6,469,182
47	\$359,758	\$247,801	\$136,919	\$470,640	\$6,939,823
48	\$374,724	\$258,110	\$142,615	\$490,219	\$7,430,042
49	\$390,312	\$268,847	\$148,548	\$510,612	\$7,940,654
50	\$406,549	\$280,031	\$154,727	\$531,854	\$8,472,507
			TIR	4.61%	
			VPN	\$939,355	
			B/C	1.31	

Tabla. Flujo de caja del sistema de A. Gris

Año	Ingresos		Egresos	Flujo neto	Flujo neto acumulado
	Acueducto	Alcantarillado	Mantenimiento		
0			\$1,565,120	-\$1,565,120	-\$1,565,120
1	\$36,979	\$25,471	\$6,000	\$56,449	-\$1,508,670
2	\$38,517	\$26,530	\$6,250	\$58,798	-\$1,449,872
3	\$40,119	\$27,634	\$6,510	\$61,244	-\$1,388,629
4	\$41,788	\$28,784	\$6,780	\$63,792	-\$1,324,837
5	\$43,527	\$29,981	\$7,062	\$66,445	-\$1,258,392
6	\$45,337	\$31,228	\$7,356	\$69,209	-\$1,189,183
7	\$47,223	\$32,527	\$7,662	\$72,088	-\$1,117,094
8	\$49,188	\$33,881	\$7,981	\$75,087	-\$1,042,007
9	\$51,234	\$35,290	\$8,313	\$78,211	-\$963,796
10	\$53,365	\$36,758	\$8,659	\$81,465	-\$882,331
11	\$55,585	\$38,287	\$9,019	\$84,853	-\$797,478
12	\$57,898	\$39,880	\$9,394	\$88,383	-\$709,094
13	\$60,306	\$41,539	\$9,785	\$92,060	-\$617,034
14	\$62,815	\$43,267	\$10,192	\$95,890	-\$521,144
15	\$65,428	\$45,067	\$10,616	\$99,879	-\$421,266
16	\$68,150	\$46,942	\$11,058	\$104,034	-\$317,232
17	\$70,985	\$48,894	\$11,518	\$108,362	-\$208,870
18	\$73,938	\$50,928	\$11,997	\$112,869	-\$96,001
19	\$77,014	\$53,047	\$12,496	\$117,565	\$21,564
20	\$80,217	\$55,254	\$13,016	\$122,456	\$144,020
21	\$83,555	\$57,552	\$13,557	\$127,550	\$271,569
22	\$87,030	\$59,947	\$14,121	\$132,856	\$404,425
23	\$90,651	\$62,440	\$14,709	\$138,383	\$542,808
24	\$94,422	\$65,038	\$15,321	\$144,139	\$686,947
25	\$98,350	\$67,743	\$15,958	\$150,135	\$837,082
26	\$102,441	\$70,562	\$16,622	\$156,381	\$993,463
27	\$106,703	\$73,497	\$17,313	\$162,887	\$1,156,350
28	\$111,142	\$76,554	\$18,033	\$169,663	\$1,326,012
29	\$115,765	\$79,739	\$18,784	\$176,721	\$1,502,733
30	\$120,581	\$83,056	\$19,565	\$184,072	\$1,686,805
31	\$125,597	\$86,511	\$20,379	\$191,730	\$1,878,535

32	\$130,822	\$90,110	\$21,227	\$199,705	\$2,078,240
33	\$136,264	\$93,859	\$22,110	\$208,013	\$2,286,253
34	\$141,933	\$97,763	\$23,029	\$216,667	\$2,502,920
35	\$147,837	\$101,830	\$23,987	\$225,680	\$2,728,600
36	\$153,987	\$106,066	\$24,985	\$235,068	\$2,963,668
37	\$160,393	\$110,479	\$26,025	\$244,847	\$3,208,515
38	\$167,065	\$115,075	\$27,107	\$255,033	\$3,463,548
39	\$174,015	\$119,862	\$28,235	\$265,642	\$3,729,190
40	\$181,254	\$124,848	\$29,410	\$276,693	\$4,005,883
41	\$188,794	\$130,042	\$30,633	\$288,203	\$4,294,086
42	\$196,648	\$135,451	\$31,907	\$300,192	\$4,594,278
43	\$204,829	\$141,086	\$33,235	\$312,680	\$4,906,959
44	\$213,350	\$146,955	\$34,617	\$325,688	\$5,232,647
45	\$222,225	\$153,069	\$36,057	\$339,237	\$5,571,883
46	\$231,470	\$159,436	\$37,557	\$353,349	\$5,925,232
47	\$241,099	\$166,069	\$39,120	\$368,048	\$6,293,280
48	\$251,129	\$172,977	\$40,747	\$383,359	\$6,676,639
49	\$261,576	\$180,173	\$42,442	\$399,307	\$7,075,946
50	\$272,457	\$187,669	\$44,208	\$415,918	\$7,491,864
TIR			6.67%		
VPN			\$1,571,448		
B/C			2.04		

Tabla. Flujo de caja del sistema de A. Lluvia

Año	Ingresos		Egresos	Flujo neto	Flujo neto acumulado
	Acueducto	Alcantarillado	Mantenimiento		
0			\$1,592,597	-\$1,592,597	-\$1,592,597
1	\$18,199	\$12,536	\$15,000	\$15,735	-\$1,576,861
2	\$18,956	\$13,057	\$15,624	\$16,390	-\$1,560,472
3	\$19,745	\$13,600	\$16,274	\$17,072	-\$1,543,400
4	\$20,566	\$14,166	\$16,951	\$17,782	-\$1,525,619
5	\$21,422	\$14,756	\$17,656	\$18,521	-\$1,507,097
6	\$22,313	\$15,369	\$18,391	\$19,292	-\$1,487,805
7	\$23,241	\$16,009	\$19,156	\$20,094	-\$1,467,711
8	\$24,208	\$16,675	\$19,953	\$20,930	-\$1,446,780
9	\$25,215	\$17,368	\$20,783	\$21,801	-\$1,424,979
10	\$26,264	\$18,091	\$21,647	\$22,708	-\$1,402,271
11	\$27,357	\$18,843	\$22,548	\$23,653	-\$1,378,619
12	\$28,495	\$19,627	\$23,486	\$24,637	-\$1,353,982
13	\$29,680	\$20,444	\$24,463	\$25,661	-\$1,328,321
14	\$30,915	\$21,294	\$25,480	\$26,729	-\$1,301,592
15	\$32,201	\$22,180	\$26,540	\$27,841	-\$1,273,751
16	\$33,541	\$23,103	\$27,644	\$28,999	-\$1,244,752
17	\$34,936	\$24,064	\$28,794	\$30,205	-\$1,214,546
18	\$36,389	\$25,065	\$29,992	\$31,462	-\$1,183,084

19	\$37,903	\$26,108	\$31,240	\$32,771	-\$1,150,313
20	\$39,480	\$27,194	\$32,539	\$34,134	-\$1,116,179
21	\$41,122	\$28,325	\$33,893	\$35,554	-\$1,080,625
22	\$42,833	\$29,503	\$35,303	\$37,033	-\$1,043,592
23	\$44,615	\$30,731	\$36,772	\$38,574	-\$1,005,018
24	\$46,471	\$32,009	\$38,301	\$40,178	-\$964,840
25	\$48,404	\$33,341	\$39,895	\$41,850	-\$922,990
26	\$50,417	\$34,728	\$41,554	\$43,591	-\$879,399
27	\$52,515	\$36,172	\$43,283	\$45,404	-\$833,995
28	\$54,699	\$37,677	\$45,083	\$47,293	-\$786,702
29	\$56,975	\$39,244	\$46,959	\$49,260	-\$737,442
30	\$59,345	\$40,877	\$48,912	\$51,310	-\$686,132
31	\$61,814	\$42,577	\$50,947	\$53,444	-\$632,688
32	\$64,385	\$44,349	\$53,067	\$55,667	-\$577,021
33	\$67,064	\$46,194	\$55,274	\$57,983	-\$519,038
34	\$69,854	\$48,115	\$57,574	\$60,395	-\$458,643
35	\$72,759	\$50,117	\$59,969	\$62,908	-\$395,735
36	\$75,786	\$52,202	\$62,463	\$65,525	-\$330,210
37	\$78,939	\$54,373	\$65,062	\$68,250	-\$261,960
38	\$82,223	\$56,635	\$67,768	\$71,090	-\$190,870
39	\$85,643	\$58,991	\$70,588	\$74,047	-\$116,823
40	\$89,206	\$61,445	\$73,524	\$77,127	-\$39,696
41	\$92,917	\$64,001	\$76,583	\$80,336	\$40,640
42	\$96,782	\$66,664	\$79,768	\$83,678	\$124,317
43	\$100,809	\$69,437	\$83,087	\$87,159	\$211,476
44	\$105,002	\$72,326	\$86,543	\$90,785	\$302,261
45	\$109,370	\$75,334	\$90,143	\$94,561	\$396,822
46	\$113,920	\$78,468	\$93,893	\$98,495	\$495,317
47	\$118,659	\$81,732	\$97,799	\$102,592	\$597,909
48	\$123,595	\$85,133	\$101,868	\$106,860	\$704,769
49	\$128,737	\$88,674	\$106,105	\$111,306	\$816,075
50	\$134,092	\$92,363	\$110,519	\$115,936	\$932,011
			TIR	1.44%	
			VPN	-\$679,077	
			B/C	0.56	