



**Modelo hidrosanitario para una vivienda autosostenible de dos plantas en el Municipio de
La Vega, Cundinamarca**

Cristian Felipe Sevilla Suárez

10481729492

Universidad Antonio Nariño

Programa Ingeniería Civil

Facultad de Ingeniería Civil

Bogotá D.C., Colombia

2021

**Modelo hidrosanitario para una vivienda autosostenible de dos plantas en el Municipio de
La Vega, Cundinamarca**

Cristian Felipe Sevilla Suárez

Proyecto de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:
Ingeniero Civil

Director (a):

Profesor Investigador Sp., MSc., Ph.D. Carlos Martin Molina Gallego

Línea de Investigación:
Instalaciones Hidrosanitarias

Universidad Antonio Nariño

Programa Ingeniería Civil

Facultad de Ingeniería Civil

Bogotá D.C., Colombia

2021

NOTA DE ACEPTACIÓN

El trabajo de grado titulado
Modelo Hidrosanitario para una vivienda autosostenible de dos
plantas en el Municipio de La Vega, Cundinamarca.

Cumple con los requisitos para optar
Al título de Ingeniero Civil.

Firma del Tutor

Firma Jurado

Firma Jurado

Bogotá D.C., 08 noviembre 2021

Contenido

Resumen.....		9
Abstract.....		10
1 Introducción.....		11
2 Estado del arte		13
2.1 Casos Internacionales		13
2.2 Casos Nacionales		15
3 Marco conceptual		17
4 Objetivos.....		20
4.1 Objetivo General		20
4.2 Objetivos Específicos.....		20
5 Planteamiento del problema.....		21
6 Metodología.....		23
6.1 Agua lluvia		23
6.1.1 Captación.....		24
6.1.2 Recolección y Conducción.....		25
6.1.3 Interceptor Primeras Aguas.....		26
6.1.4 Tratamiento.....		28
6.1.5 Almacenamiento.....		28
6.1.5.1 Determinación de la precipitación promedio mensual		29
6.1.5.2 Determinación de la demanda.....		29
6.1.5.3 Determinación del volumen del tanque de almacenamiento.....		30
6.1.6 Red de distribución y sistema de bombeo.....		31
6.2 Aguas grises		32
6.2.1 Trampa de grasas.....		33
6.2.2 Filtración.....		35
6.2.3 Almacenamiento.....		36
6.2.4 Red de distribución y sistema de bombeo.....		37
7 Resultados		38

7.1	Agua lluvia	38
7.1.1	Captación.....	38
7.1.2	Recolección y conducción.....	39
7.1.3	Interceptor primeras aguas	39
7.1.4	Almacenamiento	39
7.1.5	Red de distribución y sistema de bombeo	42
7.2	Aguas grises	44
7.2.1	Trampa de grasas	44
7.2.2	Filtración	45
7.2.3	Almacenamiento	45
7.2.4	Red de distribución y sistema de bombeo	46
8	Análisis de resultados	48
8.1	Aguas lluvias	48
8.1.1	Captación, recolección y conducción	49
8.1.2	Interceptor primeras aguas	49
8.1.3	Almacenamiento	49
8.1.4	Red de distribución y sistema de bombeo	50
8.2	Aguas grises	50
8.2.1	Trampa de grasas	50
8.2.2	Filtración	51
8.2.3	Almacenamiento	51
8.2.4	Red de distribución y sistema de bombeo	52
9	Presupuesto	53
10	Conclusiones.....	54
11	Recomendaciones.....	57
12	Anexos.....	58
13	Referencias Bibliográficas	59

Lista de Figuras

<i>Figura 1 Captación de agua lluvia</i>	18
<i>Figura 2 Aguas Grises</i>	19
<i>Figura 3 Diagrama aprovechamiento Aguas Luvias</i>	23
<i>Figura 4 Cubierta con caída a un agua</i>	24
<i>Figura 5 Cubierta con caída a dos aguas</i>	25
<i>Figura 6 Interceptor primeras aguas</i>	27
<i>Figura 7 Diagrama aprovechamiento Aguas Grises</i>	32
<i>Figura 8 Etapas de filtración de aguas grises</i>	35
<i>Figura 9 Histograma de precipitación mensual multianual. Estación El Acomodo</i>	40
<i>Figura 10 Histograma volumen de almacenamiento (m³)</i>	41

Lista de tablas

<i>Tabla 1 Matriz Materiales de Captación</i>	24
<i>Tabla 2 Matriz Materiales de Canaletas</i>	26
<i>Tabla 3 Diámetro de tuberías</i>	31
<i>Tabla 4 Unidades de consumo - Aparatos</i>	31
<i>Tabla 5 Especificaciones Técnicas Sistema de Bombeo</i>	32
<i>Tabla 6 Unidades de descarga - Aparatos</i>	34
<i>Tabla 7 Dimensiones recomendadas</i>	35
<i>Tabla 8 Valores y promedios de precipitaciones mensuales multianuales. Estación El Acomodo</i>	39
<i>Tabla 9 Resultados criterios de diseño</i>	41
<i>Tabla 10 Sumatoria de aparatos en la vivienda</i>	42
<i>Tabla 11 Puntos red de distribución</i>	43
<i>Tabla 12 Longitudes y diámetros de la red de distribución</i>	43
<i>Tabla 13 Unidades de descarga total dentro de la vivienda</i>	44
<i>Tabla 14 Especificaciones del lecho filtrante</i>	45
<i>Tabla 15 Sumatoria de aparatos en la vivienda</i>	46
<i>Tabla 16 Puntos red de distribución</i>	47
<i>Tabla 17 Longitudes y diámetros de la red de distribución de agua recirculada</i>	47
<i>Tabla 18 Presupuesto para el modelo hidrosanitario</i>	53

Agradecimientos

Quiero expresar mi más profundo y sincero agradecimiento a todas aquellas personas que con su ayuda han colaborado en la realización de la presente monografía, un agradecimiento muy especial merece la comprensión, paciencia y el ánimo recibidos de cada uno de los familiares y amigos testigos del esfuerzo requerido para la culminación de este proceso.

A todos ellos, muchas gracias

Resumen

La recolección de agua lluvia para consumo y usos domésticos representa una práctica interesante, tanto económicamente para el consumidor como ambientalmente para el planeta. Este artículo presenta una propuesta de aprovechamiento de aguas lluvias y recirculación de aguas grises para una vivienda de dos plantas en el municipio de La Vega, Cundinamarca. Se desarrollaron aspectos importantes tales como búsqueda de alternativas de instalaciones hidrosanitarias y recirculación de aguas, elaboración de un estado de conocimiento de acuerdo con la revisión de la literatura y normatividad vigente aplicable. Como principales resultados se presenta cálculos y técnicas de captación, recolección y conducción del agua lluvia, adicional, volumen de almacenamiento y la red de distribución con sus respectivas longitudes y diámetros. Por otro lado, para la recirculación de aguas grises se presenta el cálculo de la trampa de grasas, un sistema simple de lecho filtrante, almacenamiento de agua a recircular y la red de distribución. Los resultados establecen que el aprovechamiento de agua lluvia teóricamente es viable y que puede provisionar de agua lluvia tratada a una vivienda tipo en el municipio de la Vega, Cundinamarca. De igual forma, la aplicación de tecnologías de recirculación de aguas grises puede adaptarse de manera fácil a los hogares garantizando la viabilidad económica y operativa para una población rural.

Palabras Clave

Aguas lluvias, aguas grises, aprovechamiento, recirculación, modelo hidrosanitario, sistema de recolección.

Abstract

The collection of rainwater for consumption and domestic uses represents an interesting practice, both economically for the consumer and environmentally for the planet. This article presents a proposal for the use of rainwater and gray water recirculation for a two-story house in the municipality of La Vega, Cundinamarca. Important aspects were developed such as search for alternatives for hydrosanitary facilities and water recirculation, preparation of a state of knowledge in accordance with the review of the literature and applicable current regulations. The main results are calculations and techniques for the collection, collection and conduction of rainwater, additional storage volume and the distribution network with their respective lengths and diameters. On the other hand, for the recirculation of gray water, the calculation of the grease trap, a simple filter bed system, storage of water to be recirculated and the distribution network is presented. The results establish that the use of rainwater is theoretically feasible and that it can provide treated rainwater to a typical home in the municipality of La Vega, Cundinamarca. Similarly, the application of gray water recirculation technologies can be easily adapted to households, guaranteeing economic and operational viability for a rural population.

Keywords

Rainwater, gray water, use, recirculation, hydrosanitary model, collection system.

1 Introducción

En la actualidad la demanda de los servicios públicos ha aumentado de manera exponencial debido al aumento mismo de la población, y del deterioro indiscriminado de los recursos naturales. Adicional, la falta de saneamiento básico ha traído consigo problemas de salubridad y de mortalidad en la población, pese a que es un derecho fundamental actualmente en varias zonas rurales del país carecen de un abastecimiento de agua potable y recolección de aguas residuales. El crecimiento poblacional acelerado ha generado problemáticas sociales, ambientales y económicas, dejando como consecuencia pobreza, déficit en saneamiento básico, escasez de los recursos naturales y falta de oportunidades para adquirir vivienda propia. Para el caso de Colombia, se estima una población de 48.258.494 (DANE, 2019), de los cuales “52,1% de las familias no tienen vivienda propia y cerca de 36,5% de los colombianos viven en estado de déficit habitacional” (DANE, 2019). Se ha incluido dentro de la legislación de cada país normas que previenen altos niveles de contaminación, mitigan el daño ocasionado por diferentes procesos productivos y compensaciones en alteraciones anteriormente ocasionadas. Sin embargo, ejercer control sobre las acciones de cada individuo o industria es un tema complejo, lo que lleva a fortalecer la educación y la creación de sentido de pertenencia frente al medio en el que se desarrollan. Una de las ideas que actualmente ha generado mayor impacto es la construcción de viviendas autosostenibles, es decir, que minimicen al máximo el uso de los “servicios públicos”, aprovechando y reutilizando de una forma eficiente los residuos generados dentro de la misma, sin embargo el verdadero incentivo radica en que la conexión a servicios públicos resulta ser un tema que afecta la economía de los hogares y al no requerir de un mayor consumo de estos “servicios” la compensación económica se traduce en costo-beneficio en cuanto a lo que respecta la calidad de vida de los usuarios que implementan dichos modelos.

Con relación al acceso de agua potable del total de la población colombiana, el 26,2% de la población rural enfrentan una situación crítica por la falta de acueducto y saneamiento, como lo evidencia Carrasco (2016), debido a que deben consumir agua de quebradas o ríos sin realizar ningún tratamiento previo, generando consigo enfermedades que afectan la salud de la comunidad.

Tal como lo plantea Arroyave et al. (2011), la captación de agua lluvia es un medio sencillo y de fácil acceso de obtener agua para consumo humano, donde esta se intercepta, se recolecta y se almacena para un posterior tratamiento dependiendo su uso final. Realizar un análisis de implementación de un modelo hidrosanitario como fuente alternativa sostenible, es sin duda un mejoramiento del desempeño ambiental asociado al uso de tecnologías y herramientas de producción limpia aplicables a una vivienda rural.

La propuesta se hace pertinente para optar por diferentes medios de captación y posterior tratamiento para el abastecimiento de agua potable para lograr la autosuficiencia en cuanto al recurso hídrico y el servicio propio que puede generar una población rural, no dependiendo del todo de los servicios públicos prestados por las diferentes entidades competentes, por el contrario, ir desprendiendo la dependencia de los mismos, generando impactos costo-beneficio positivos para la comunidad del Municipio de La Vega, Cundinamarca.

2 Estado del arte

En la actualidad, el aprovechamiento de los recursos disponibles se ha convertido en un tema de interés de primera necesidad más que un tema de moda o un tema de poca importancia, dados los diversos beneficios que se pueden lograr al mismo, tanto en el ámbito regional, pasando por el ámbito local y enfatizando en el ámbito doméstico, es por esto que se generan nuevas alternativas de reuso de los recursos que se utilizan a diario sin saber su valor ambiental, su valor económico o sin saber que existen nuevas formas para su aprovechamiento.

2.1 Casos Internacionales

En Australia, un caso de estudio demostró que la participación del gobierno frente a la búsqueda de nuevas alternativas autosostenibles, por medio de la generación de incentivos a sus habitantes, motivar a los mismos a la adquisición de tanques de almacenamiento para la recolección de agua lluvia, con el objetivo de minimizar costos en el servicio público de agua. Dicho estudio logró la participación activa de la población en Melbourne, generando beneficios económicos para la misma, ya que el gobierno otorgó dichos incentivos en forma remunerada directamente sobre el costo de sus servicios públicos, y así mismo, generando el ahorro y no dependencia completa de los servicios públicos proporcionados en Melbourne (Imteaz et al., 2011).

En Sudáfrica, un caso de estudio determinó un modelo combinado de optimización del funcionamiento en un sistema integrado de recolección de aguas lluvias y reciclaje de aguas grises en zonas residenciales en Durban, según los resultados obtenidos, se evidenció que dicha propuesta logró una aceptación favorable respecto al sistema propuesto donde su solución fue esencialmente económicamente atractiva para los usuarios residenciales, ya que lograron más del 50% de ahorro en costos anuales respecto al servicio de agua potable ofrecido y la implementación del mismo, no

obstante, se hace pertinente el apoyo del gobierno para dichas iniciativas, y que esto mitigaría aún más los costos de inversión y mejoraría el atractivo económico tanto para la población de Durban, como para el resto del país, así se lograría una amplia implementación, adopción de formas y métodos de sistemas alternativos a la problemática de la escasez del recurso hídrico en zonas áridas como las del territorio sudafricano (Zhang et al., 2021).

El diseño e implementación de un modelo hidrosanitario también puede ser aplicable para fines de las actividades procedentes de las zonas rurales, tales como la cría de animales para su posterior comercialización, logrando una optimización y remoción de la carga contaminante producida por dichas actividades, generando una recirculación de aguas grises y negras con tratamientos más específicos dependiendo el caso y los contaminantes encontrados en estudios previos respecto de la actividad económica característica del caso en estudio. Para la determinación de la viabilidad de un proyecto así, se hace pertinente las consideraciones y aplicaciones claras del mismo, para así dar enfoques más avanzados de tratamiento para promover la eficiencia de la recirculación de dichas aguas negras o grises en actividades propias de una vivienda, como riego de cultivos o limpieza de la misma edificación, generando ahorro del servicio público, y así mismo, generando un enfoque reutilizable a un componente que no es del todo perdido después de una actividad. Esto se demuestra en un estudio de caso en Taiwán, donde se escogieron unas granjas de patos ubicadas en zona rural, y aplicando un óptimo modelo tratamiento de las aguas provenientes de dicha actividad, logró desarrollar un sistema de lodos activados para la mayor remoción posible del tratamiento de las aguas, comprendiendo una operación sostenible de dicha actividad, con recirculación de aguas tratadas, y minimización de costos respecto al servicio público (Su et al., 2018).

En la ciudad de Morelia, México, en un caso de estudio para un conjunto residencial donde el suministro de agua potable se ha convertido en un problema en los últimos años dadas las condiciones de conducción, tratamiento y la calidad del agua, logró establecer resultados satisfactorios a la demanda de agua en el conjunto, minimizando el consumo de agua a un costo total mínimo por medio de una formulación de optimización para la síntesis de redes de agua en conjuntos residenciales, el cual fue basado en la recolección simultánea de agua lluvia, reutilización de aguas grises recuperadas con tratamiento primario y el almacenamiento y distribución de agua administrada, dicho esto, se evidenció que la propuesta de crear un sistema simultáneo resultó más pertinente que realizarlo por separado, dados los costos totales para la implementación del sistema, en un tiempo cercano a la creación del proyecto claramente los costos son elevados, pero el beneficio respecto la calidad del agua y el suministro obtenido para el conjunto residencial se logró recuperar en poco tiempo, evidenciando que la alternativa brindada cumplió con lo esperado a la problemática que afligía a la población (García-Montoya et al., 2015).

2.2 Casos Nacionales

Colombia, pese a ser uno de los países con mayor riqueza en cuanto a recursos hídricos, no es ajena a la problemática de la escasez de agua adicional la calidad de las fuentes de abastecimiento cada día empeora, es por esto que surgen nuevas tecnologías en ciudades como Medellín y Bogotá.

En una institución educativa de Medellín del municipio de Caldas, Antioquia, se presenta un proyecto de ingeniería conceptual de una propuesta de diseño de un sistema de aprovechamiento de agua lluvia como alternativa de ahorro de agua potable en usos tales como la descarga de sanitarios, el lavado de zonas comunes, entre otros. Presentándose así un análisis aproximado de la viabilidad técnica y económica de dicho aprovechamiento. Los resultados sugieren que el

proyecto como aprovechamiento de agua lluvia es una opción técnicamente viable cumpliendo así el objetivo principal para hacer uso eficiente de agua, sin embargo, financieramente no se hace viable de entrada, ya que la inversión inicial es demasiado alta para cubrir el desarrollo sostenible de la institución (Palacio, 2010).

En la Pontificia Universidad Javeriana ubicada en Bogotá la recolección de agua lluvia para uso doméstico representa una práctica interesante, se realizó un proyecto en donde se presenta una viabilidad económica y técnica del aprovechamiento de agua lluvia como una alternativa de riego y el lavado de zonas fachadas en el campus. Este proyecto se realiza en tres partes, la primera una estimación de volúmenes disponibles de agua lluvia, un análisis en cuanto a la calidad de agua lluvia y finalmente una estimación de costos de construcción de la infraestructura. Se logró establecer el ahorro económico anual en el que la Universidad incurrirá, rondando los 12 millones de pesos debido a las prácticas de riego y lavado que se pueden implementar con dicho diseño. Los resultados sugieren que el aprovechamiento del agua lluvia es económica y técnicamente viable y que representan una solución para un desarrollo sostenible en el campus de la universidad (Lara Borrero et al., 2007).

3 Marco conceptual

Se hace pertinente contextualizar los conceptos sobre los cuales se trata el presente proyecto de grado, para así poder dimensionar el alcance del mismo, de la misma forma instruir acerca de los conocimientos adquiridos durante el proceso de formación.

Según la Comisión Económica para América Latina y El Caribe (CEPAL), el “desarrollo sostenible” es el desarrollo que permite satisfacer las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer las posibilidades de las del futuro de satisfacer sus propias necesidades (CEPAL, 2021).

En el marco de lo que conlleva el presente proyecto de grado, el término autosostenible gana demasiado peso tanto en el ámbito ambiental, como en el ámbito de infraestructura, y es que el mismo trae consigo lograr los objetivos de desarrollo sostenible que se han propuesto a nivel global para el año 2030, complementando la ingeniería civil con sus proyectos, obras, avances de infraestructura ligados siempre a la tecnología, con su entorno y el medio ambiente, buscando siempre el bien colectivo y la armonía entre ambas partes, y demás pertinentes (United Nations, 2021).

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), el agua lluvia es el recurso hídrico que más aporta a un territorio sin costo alguno, dicho lo anterior, el aprovechamiento del mismo resulta una práctica de fácil implementación y de bajo costo de inversión atractiva para las comunidades, más aún, en zonas rurales, donde el suministro del agua potable suele no tener una cobertura del 100%, donde logrando un diseño óptimo se puede ahorrar dicho recurso económico y hacer uso eficiente del mismo. En la figura 1, se observa un esquema básico de un sistema de captación de agua lluvia en una vivienda rural, comprendida

principalmente por la captación del agua lluvia, la recolección por medio de canaletas y bajantes, el interceptor de primeras aguas y el almacenamiento de la misma para su posterior uso.

Figura 1 Captación de agua lluvia



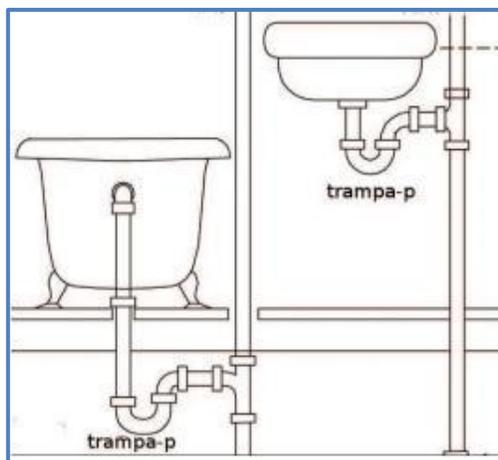
Nota. Esquema básico de sistema de captación de agua lluvia en una vivienda. Fuente: CEPIS/OPS, 2004.

Un modelo hidrosanitario básicamente es un conjunto de sistemas y estructuras tanto hidráulicas, que abastecen una edificación de agua potable, como sanitarias, que evacuan los residuos líquidos generados dentro de dicha edificación, así mismo, la conexión que existe entre ambos sistemas, se puede integrar en uno solo y poder generar un beneficio óptimo para la edificación, generando aprovechamiento, reciclaje y recirculación del recurso hídrico necesario para las funciones básicas de cualquier tipo de infraestructura, ya sea doméstico, industrial o agrícola.

La recirculación de aguas grises, proveniente de lavado de manos, lavado de platos, duchas, como se muestra en la figura 2, es una alternativa que ha tomado fuerza gradualmente con el pasar del tiempo, dado que la recirculación conlleva al ahorro significativo del recurso hídrico y esto trae consigo beneficios a la comunidad que adapta dichas prácticas. Dicha recirculación de aguas grises, después de un tratamiento básico, sirve como agua disponible para ser usada en procesos como lavado de fachadas o para aparatos sanitarios como inodoros, esto se lleva a cabo después de un adecuado diseño del sistema dual, donde el objetivo primordial es lograr el acceso a un

recurso natural básico para las comunidades, sin necesidad de depender de un servicio público, y de bajo costo en su instalación y operación (Greywater Action, 2015).

Figura 2 Aguas Grises



Nota. Origen de las llamadas aguas grises, para su posterior recirculación en una vivienda. Fuente: Greywater Action, 2015.

4 Objetivos

4.1 Objetivo General

Proponer un sistema dual de aprovechamiento de aguas lluvias y recirculación de aguas grises para una vivienda de dos plantas, donde se complementen entre sí.

4.2 Objetivos Específicos

- 4.2.1 Elaborar el estado del conocimiento en cuanto a captación de aguas lluvias y recirculación de aguas en una vivienda.
- 4.2.2 Realizar una búsqueda de alternativas sustentables de instalaciones hidrosanitarias y recirculación de aguas, para una vivienda tipo, aplicable al municipio de La Vega, Cundinamarca.
- 4.2.3 Revisar en la literatura diseños de aprovechamiento de agua lluvia y aguas grises que se ajuste al caso de estudio.

5 Planteamiento del problema

El agua es un recurso finito y depende de la humanidad su conservación, por otro parte, la potabilización y el saneamiento básico es un derecho del ser humano que permite vivir en condiciones óptimas, en la actualidad se han creado sistemas de reutilización y de captación de agua que permiten la conservación de los recursos naturales. Es por esta razón, que el presente proyecto está enfocado en realizar el cálculo y diseño de un modelo hidrosanitario como alternativa de vivienda autosostenible que busca brindar soluciones de agua potable y de tratamiento de aguas residuales en las comunidades que se ubican en el Municipio de La Vega, Cundinamarca. Adicional, se generará una propuesta para la reutilización de aguas residuales procedentes de los desagües de bañeras, lavadero, lavaplatos y lavadoras con el fin de impactar positivamente la economía de las familias, acceso a los servicios públicos básicos y contribuir a los objetivos del desarrollo sostenible a los cuales Colombia está comprometido.

Actualmente la demanda de los servicios públicos básicos ha aumentado proporcionalmente al crecimiento de la población, amenazando el estado de los recursos naturales. La sostenibilidad ambiental y la infraestructura surgió paralela a los problemas de las sociedades, desarrollados por la costumbre de consumir los recursos renovables de un modo desmesurado, las soluciones alternativas surgen como ideas innovadoras con la que se pueden obtener estos servicios básicos contribuyendo a la preservación, ahorro económico y al mejoramiento del medio ambiente. Adicionalmente, la poca población que adquiere un terreno en la zona rural trae consigo dificultades a los gobiernos locales para garantizar un suministro de agua potable y alcantarillado en condiciones de calidad. En varios municipios del país no existe cobertura de alcantarillado por lo que en los últimos años se viene presentando altos niveles de inadecuada disposición de aguas residuales sin tratamiento ocasionando contaminación del suelo y de fuentes hídricas.

Para la construcción de una vivienda, se debe tener en cuenta que cada una de las partes que la componen deben encajar perfectamente, es decir, que el cálculo y el diseño de las instalaciones hidrosanitarias es igual de importante que cualquier otro diseño y de no hacerlo se podrán presentar consecuencias a corto o largo plazo. Al realizar un modelo hidrosanitario adecuado, este permitirá contribuir a la protección de la salud de las personas con un adecuado suministro de agua potable y recolección de aguas residuales. Cuando se incorporan criterios de sostenibilidad ambiental es necesario diseñar y construir sistemas adicionales para captar, almacenar, transportar y tratar el agua con el fin de que la comunidad tenga un servicio constante y de buena calidad.

La propuesta se hace pertinente para optar por diferentes medios de captación y posterior tratamiento para el abastecimiento de agua potable para lograr la autosuficiencia en cuanto al recurso hídrico y el servicio propio que puede generar una población rural, no dependiendo del todo de los servicios públicos prestados por las diferentes entidades competentes, por el contrario, ir desprendiendo la dependencia de los mismos, generando impactos costo-beneficio positivos para la comunidad del Municipio de La Vega, Cundinamarca. De la misma manera el tratamiento adecuado de los residuos líquidos generados en una vivienda, permitirá la recirculación de las mismas para beneficio de la población respecto de actividades como el riego de cultivos, o cualquier actividad que requiera del mismo, garantizando de acuerdo al adecuado diseño la protección de la salud de la población.

¿Cómo los habitantes del Municipio de La Vega, Cundinamarca, pueden aprovechar el abastecimiento de agua potable y de tratamiento de aguas residuales por medio de alternativas autosostenibles de acuerdo a la formulación de un modelo hidrosanitario?

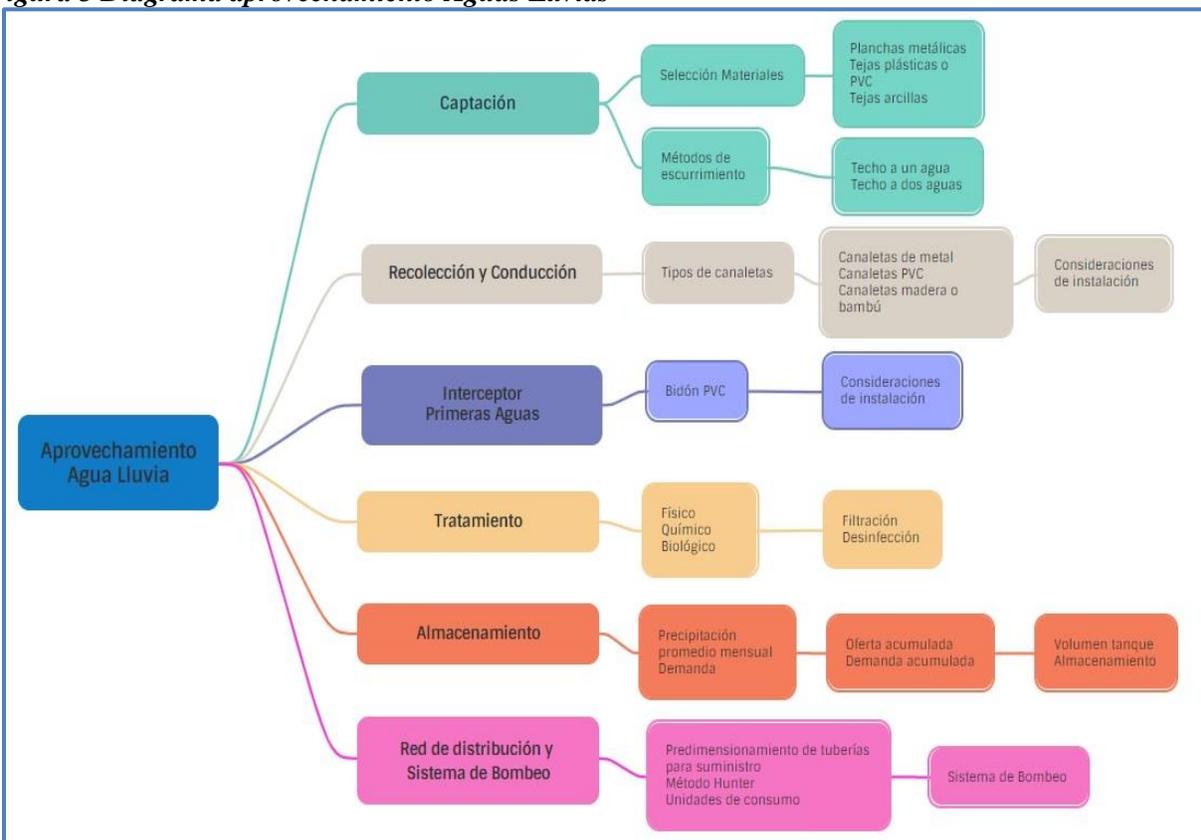
6 Metodología

Es posible identificar que en algunos de los casos la conciencia ambiental de los individuos prevalece ante un interés netamente económico, la no contaminación masiva de una fuente hídrica receptora, la disminución de producción de residuos no aprovechables, la mitigación del impacto ambiental generado por los seres dentro de un entorno, entre otros. Cada uno de estos intereses ha permitido identificar técnicas, procesos, tratamientos, sistemas, estructuras e ideas que fomentaron e hicieron posible la realización de este trabajo de investigación que a continuación se explican detalladamente.

6.1 Agua lluvia

En la figura 3 se muestra un diagrama del proceso de aprovechamiento de aguas lluvias respecto sus diferentes componentes.

Figura 3 Diagrama aprovechamiento Aguas Lluvias



Nota. Diagrama metodológico de aprovechamiento de aguas lluvias. Fuente: Autor.

Basados en la Guía de diseño para captación del agua lluvia según la Organización Panamericana de la Salud (CEPIS/OPS, 2004), se tienen en cuenta los siguientes componentes:

6.1.1 Captación

La captación de agua lluvia depende primordialmente de los materiales de diseño que se van a utilizar en la elaboración de la vivienda, dicha captación está conformada por el techo de la vivienda, una superficie (material) y una pendiente adecuada. En la tabla 1 se proponen diferentes materiales de captación de agua lluvia en la vivienda, se construye una matriz, identificando diferentes ventajas y desventajas de los materiales.

Tabla 1 Matriz Materiales de Captación

MATERIALES	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Planchas metálicas onduladas o tejas metálicas	<ul style="list-style-type: none"> • Buena superficie de escurrimiento del agua. • Larga vida útil en el sistema. • No requieren mucho mantenimiento. 	<ul style="list-style-type: none"> • Pueden oxidarse. • No son muy económicas. • Acumulan capacidad calórica, puede evaporar agua estimada a captar.
Tejas de plástico o PVC	<ul style="list-style-type: none"> • Buena superficie de escurrimiento del agua. • Económicas. • No requieren mucho mantenimiento. 	<ul style="list-style-type: none"> • Son frágiles o susceptibles a golpes.
Tejas de arcilla	<ul style="list-style-type: none"> • Buena superficie de escurrimiento del agua. • Son las más económicas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Son porosas. • Pueden contribuir a residuos durante el escurrimiento del agua. • Son pesadas para su instalación.

Nota. Selección de posibles materiales que se pueden aplicar al proyecto. Fuente: Autor.

Se consideran dos métodos para el escurrimiento del agua a través del material:

- a. **Techos con caída a un agua (Homify, 2020):** Consiste en una cubierta que va en una sola dirección en forma descendente con una sola pendiente que oscila entre los 10° y los 15°, y que parte de una cumbrera central como se ve en la figura 4.

Figura 4 Cubierta con caída a un agua



Nota. Techo a un agua de una vivienda. Fuente: Google Images, 2021.

- b. Techos con caída a dos aguas (Homify, 2020):** Consiste en una cubierta que va en dos direcciones en forma descendente con dos pendientes que oscilan entre los 10° y los 15° , y que parten de una cumbre central en direcciones opuestas como se ve en la figura 5.

Figura 5 Cubierta con caída a dos aguas



Nota. Techo a dos aguas de una vivienda. Fuente: Google Images, 2021.

6.1.2 Recolección y Conducción

Dicha estructura es primordial en el sistema, ya que esta conducirá el agua captada por el techo hacia el tanque de almacenamiento, no sin antes dejar que una pequeña parte de dicha agua sea recolectada en una estructura llamada “Interceptor”, la estructura está conformada por canaletas que permitan facilitar el paso del agua libremente y se encuentran localizadas en parte baja del techo captador.

Las canaletas deben ser de materiales livianos, con fácil paso del agua y no deben presentar fugas para una mayor eficacia del sistema, se proponen diferentes materiales para las canaletas como se muestra en la tabla 2.

Tabla 2 Matriz Materiales de Canaletas

MATERIALES	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Canaletas de metal	<ul style="list-style-type: none"> ● Buena superficie de escurrimiento del agua. ● Larga vida útil en el sistema. ● No requieren mucho mantenimiento. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Pueden oxidarse. ● No son muy económicas. ● Acumulan capacidad calórica, puede evaporar agua estimada a captar.
Canaletas PVC	<ul style="list-style-type: none"> ● Buena superficie de escurrimiento del agua. ● Económicas. ● No requieren mucho mantenimiento. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Son frágiles o susceptibles a golpes.
Canaletas de madera o Bambú	<ul style="list-style-type: none"> ● Buena superficie de escurrimiento del agua. ● Facilidad de instalación. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Se deterioran con facilidad. ● Pueden hacer que el agua tome un color amarillento.

Nota. Selección de posibles materiales que se pueden aplicar al proyecto. Fuente: Autor.

Consideraciones de instalación (CEPIS/OPS, 2004):

- El ancho mínimo de la canaleta será de 75 milímetros (mm) y el máximo de 150 milímetros (mm).
- El techo deberá prolongarse hacia el interior de la canaleta, como mínimo en un 20% del ancho de la canaleta, esto con el fin de evitar desbordes y pérdidas indeseadas en el sistema.
- La distancia que debe mediar entre la parte superior de la canaleta y la parte más baja del techo debe ser la menor posible para evitar la pérdida de agua.
- La velocidad del agua en las canaletas no deberá ser mayor a 1.00 metro por segundo (m/s)
- Las uniones entre canaletas deben ser herméticas y lo más lisas posibles para evitar el represamiento del agua.

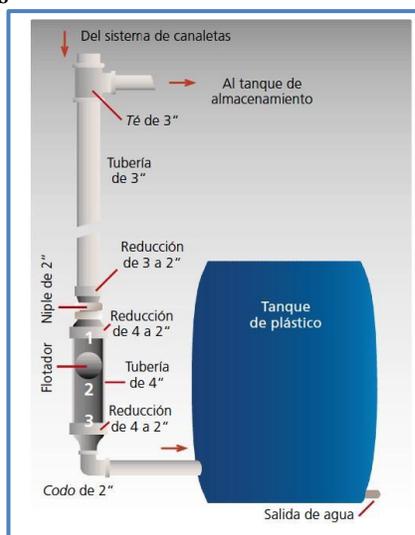
6.1.3 Interceptor Primeras Aguas

El interceptor de primeras aguas está diseñado para que reciba la primera descarga de una lluvia inicial, es decir, recibe el agua proveniente a lo que se llama “lavado del techo”, esto impedirá que el agua captada a almacenar se contamine, y que entren sustancias indeseables al tanque. “El agua entra a el tanque por medio de una bajante unida a las canaletas, debe contar con

una válvula de flotador que permitirá su llenado; cuando este alcance el nivel deseado, la válvula impedirá el paso del agua hacia el interceptor y la dirigirá hacia al tanque de almacenamiento” (Palacio, 2010).

La figura 6 muestra el esquema típico de un interceptor de primeras aguas.

Figura 6 Interceptor primeras aguas



Nota. Esquema del interceptor de primeras aguas. Fuente: Google Images, 2021.

Consideraciones de instalación (CEPIS/OPS, 2004):

- El tanque interceptor podrá ser en PVC o cualquier otro material que no altere la calidad físico-química del agua recolectada.
- El volumen del interceptor se debe calcular a razón de un litro de agua lluvia por metro cuadrado del área del techo captador y debe aproximarse a un volumen comercial.
- El diámetro mínimo del tubo de bajada del interceptor no será menor a 75 milímetros (mm).
- La parte superior del interceptor deberá contar con un dispositivo de cierre automático una vez que el tanque de almacenamiento del interceptor se haya llenado con las primeras aguas de lluvia.
- El fondo del tanque de almacenamiento del interceptor deberá contar con grifo o tapón para el drenaje del agua luego de concluida la lluvia.

6.1.4 Tratamiento

El tratamiento del agua lluvia captada es parte primordial para la remoción de partículas pequeñas que no fueron removidas en las estructuras anteriores y las condiciones bacteriológicas necesarias para su óptimo estado para consumo humano.

El tratamiento que se le debe dar al agua lluvia captada depende del valor de los parámetros físicos, químicos y biológicos. Sin embargo, se proponen dos fases de tratamiento como lo plantea Castellanos et al, (2015), la primera consiste en la parte física (Filtración) y la segunda consiste en la parte química (Desinfección).

6.1.5 Almacenamiento

El tanque almacenamiento del agua captada tiene que cumplir en lo posible con los siguientes criterios:

- Duradero e impermeable para evitar fugas o filtración hacia el mismo.
- Disponer de tapa para evitar contaminantes como insectos, suciedad, u objetos grandes que ingresen al tanque.
- Disponer de entrada o fácil acceso del personal para realizar el mantenimiento adecuado y oportuno.
- Tener una malla adicional en la entrada para prevenir que ingresen al tanque sustancias pequeñas como insectos o ramas de árboles cercanos, si existen.
- Tener un dispositivo de retiro de agua, como las llaves de paso del agua para su posible evacuación cuando sea pertinente.

Criterios de diseño (CEPIS/OPS, 2004):

El cálculo más importante del diseño es el “Volumen del Tanque de Almacenamiento”, para llegar a éste se hacen una serie de cálculos previos y se deben tener en cuenta parámetros como:

- Número de usuarios beneficiarios del sistema
- Material del área de captación
- Coeficiente de escorrentía (Ce)
- Dotación para viviendas en zonas rurales (Dot)
- Área de captación

Los pasos a seguir para el diseño del sistema de captación y aprovechamiento de agua lluvia son:

6.1.5.1 Determinación de la precipitación promedio mensual: A partir de los datos promedios mensuales de precipitación de un tiempo específico se obtiene el valor promedio mensual del total de años evaluados (mm/mes): (CEPIS/OPS, 2004).

$$P_{pi} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} p_i}{n}$$

Donde:

n: Número de años evaluados

pi: Valor de precipitación mensual del mes “i” (mm)

Ppi: Precipitación promedio mensual del mes “i” de todos los años evaluados (mm/mes)

6.1.5.2 Determinación de la demanda: A partir de la dotación asumida por persona se calcula la cantidad de agua necesaria para atender las necesidades de la familia beneficiada del sistema en cada mes (m³): (CEPIS/OPS, 2004).

$$D_i = \frac{(Nu * Nd * Dot)}{1000}$$

Donde:

Nu: Número de usuarios beneficiados del sistema

Nd: Número de días del mes analizado

Dot: Dotación (l/hab-día)

Di: Demanda mensual (m³)

6.1.5.3 Determinación del volumen del tanque de almacenamiento: Teniendo en cuenta los promedios mensuales de precipitaciones de todos los años evaluados, el material del techo y el coeficiente de esorrentía, se procede a determinar la cantidad de agua captada para diferentes áreas de techo y por mes (m²): (CEPIS/OPS, 2004)

$$Ai = \frac{(Ppi * Ce * Ac)}{1000}$$

Donde:

Ppi: Precipitación promedio mensual (lit/m²)

Ce: Coeficiente de esorrentía

Ac: Área de captación (m²)

Ai: Oferta de agua en el mes “i”

Teniendo como base los valores obtenidos en la determinación de la demanda mensual de agua y oferta mensual de agua lluvia, se procede a calcular el acumulado de cada uno de ellos mes a mes encabezado por el mes de mayor precipitación u oferta de agua. A continuación, se procede a calcular la diferencia de los valores acumulados de oferta y demanda de cada uno de los meses:

$$Aai = Aa_{(i-1)} + Ai$$

Aai: Oferta acumulada al mes “i”

$$Dai = Da_{(i-1)} + Di$$

Dai: Demanda acumulada al mes “i”

$$Vi(m^3) = Ai(m^3) - Di(m^3)$$

Vi: Volumen del tanque de almacenamiento necesario para el mes “i”

Ai: Volumen de agua que se captó en el mes “i”

Di: Volumen de agua demandada por los usuarios para el mes “i”

6.1.6 Red de distribución y sistema de bombeo

La red de distribución de agua lluvia será instalada, de acuerdo con la ubicación del tanque de almacenamiento y el sistema de bombeo. Para este diseño, la red solo llegará a los puntos hidráulicos donde se utilizará el agua lluvia recolectada.

Para determinar la red de distribución y sus respectivos diámetros de tubería a utilizar para la descarga en los puntos hidráulicos de la vivienda se utiliza la Tabla para Predimensionamiento de Tuberías para Suministro del Método de Hunter; donde según el número de aparatos en la vivienda se multiplica por la constante del aparato y se hace la sumatoria de todas las unidades que se comparan con la tabla, una vez realizado esto se sabe cuál es el diámetro óptimo a utilizar en la red de distribución. En la tabla 3 y 4 se muestra el método de Hunter.

Tabla 3 Diámetro de tuberías

TABLA PARA PREDIMENSIONAMIENTO DE TUBERÍAS PARA SUMINISTRO						
DIÁMETRO PULGADAS	CLASE DE TUBERÍA					
	HIERRO GALVANIZADO		PVC PRESIÓN		COBRE	
	UNIDADES DE HUNTER		UNIDADES DE HUNTER		UNIDADES DE HUNTER	
	DESDE	HASTA	DESDE	HASTA	DESDE	HASTA
1/2	1/2	3	1/2	3	1/2	3
3/4	4	7	4	9	4	8
1	8	13	10	19	9	18
1- 1/4	14	28	20	40	19	31
1- 1/2	29	45	41	70	38	65
2	46	125	71	160	66	160
2- 1/2	126	300	161	340	161	320
3	301	570	341	580	321	370
4	571	1360	581	1360	571	1360
6	1361	2600	1361	2600	1361	2800

Nota. Diámetro de la tubería según su clase. Fuente: Método Hunter.

Tabla 4 Unidades de consumo - Aparatos

Aparatos	Ocupación	Tipo de control del suministro	Unidades de consumo
Inodoro	Público	Flujómetro	10
Inodoro	Público	Tanque de limpieza	5
Orinal	Público	Flujómetro de $\Phi = 2,5$ cm	10
Orinal	Público	Flujómetro de $\Phi = 2,0$ cm	5
Orinal	Público	Llave	2
Lavamanos	Público	Llave	4
Tina	Público	Válvula mezcladora	4
Ducha	Público	Válvula mezcladora	4
Fregadero de servicio	Público	Llave	2
Fregadero de cocina	Hotel, restaurante	Llave	4
Inodoro	Privado	Flujómetro	6
Inodoro	Privado	Tanque de limpieza	3
Lavamanos	Privado	Llave	1
Bidé	Privado	Válvula mezcladora	2
Tina	Privado	Válvula mezcladora	2
Ducha	Privado	Válvula mezcladora	2
Ducha separada	Privado	Válvula mezcladora	2
Fregadero de cocina	Privado	Llave	2
Lavadero de 1 a 3 compartimientos	Privado	Llave	3
Lavadora	Privado	Llave	2
Lavapiatos eléctricos	Pública	Llave	4
	Privado	Llave	3
	Público	Llave	6

Nota. Unidades de consumo para cada aparato sanitario. Fuente: NTC 1500, 2017.

El sistema de bombeo se diseña principalmente de acuerdo con el caudal requerido por los puntos hidráulicos. En la tabla 5 se propone la siguiente bomba hidráulica:

Tabla 5 Especificaciones Técnicas Sistema de Bombeo

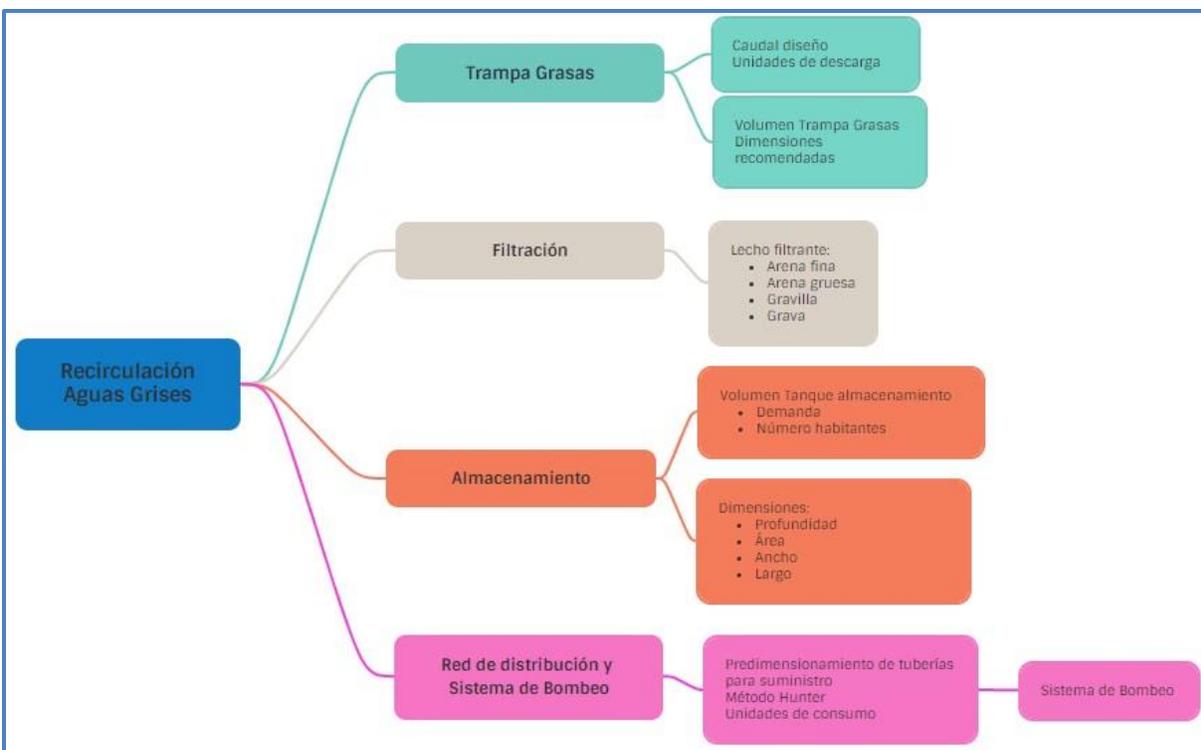
BOMBA (CENTRÍFUGA)	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS	ILUSTRACIÓN
Geiser Rer QSB JH400	<ul style="list-style-type: none"> • 0.5 HP (Caballos de Fuerza) • Voltaje: 110 Voltios • Caudal: 117 Litros por minuto • Precio: \$203.000 Pesos (IVA Incluido) 	

Nota. Especificaciones técnicas de una bomba hidráulica aplicable a la propuesta. Fuente: Autor.

6.2 Aguas grises

En la figura 7 se muestra un diagrama del proceso de recirculación de aguas grises respecto sus diferentes componentes.

Figura 7 Diagrama aprovechamiento Aguas Grises



Nota. Diagrama metodológico de aprovechamiento de aguas lluvias. Fuente: Autor.

Los sistemas individuales o los tratamientos en el sitio de origen para las aguas grises, son la solución más eficiente y viable para poblaciones rurales (Lozano-Rivas, 2012).

Dicho lo anterior, se hace necesario un tratamiento básico y general antes de la recirculación de las mismas dentro de la vivienda, el cual garantizará el menor impacto posible sobre los componentes ambientales y sobre los componentes del diseño del sistema.

6.2.1 Trampa de grasas

La sociedad necesita desarrollar procesos sostenibles y ecológicos de manera responsable (Armenteros et al., 2016), lo que conlleva a un conjunto de estructuras eficientes para la viabilidad de la propuesta, se inicia con la retención de sólidos por medio de cribado y trampa de grasas, donde se tienen en cuenta los siguientes criterios de diseño: (Lozano-Rivas, 2012)

- Caudal de diseño de trampas de grasas

- Tener en cuenta unidades de descarga por aparato sanitario en la vivienda, tal como se muestra en la tabla 6

Tabla 6 Unidades de descarga - Aparatos

Aparatos	Ocupación	Tipo de control del suministro	Unidades de descarga	Diámetro de la tubería de desagüe, mm (pulgadas)
Inodoro	Público	Flujómetro	10	102 (4)
Inodoro	Público	Tanque de limpieza	5	102 (4)
Orinal	Público	Flujómetro de $\Phi = 25,4$ mm (1 pulgada)	10	51 (2)
Orinal	Público	Flujómetro de $\Phi = 19,0$ mm (3/4 de pulgada)	5	51 (2)
Orinal	Público	Tanque de limpieza	3	51 (2)
Orinal	Público	Llave	2	51 (2)
Lavamanos	Público	Llave	4	51 (2)
Tina / Ducha	Público	Válvula mezcladora	4	51 (2)
Fregadero de servicio	Oficial, etc.	Llave	3	51 (2)
Fregadero de cocina	Hotel, restaurante	Llave	4	51 (2)
Inodoro	Privado	Flujómetro	6	102 (4)
Inodoro	Privado	Tanque de limpieza	3	102 (4)
Lavamanos	Privado	Llave	1	51 (2)
Bidé	Privado	Llave	1	51 (2)
Tina	Privado	Llave	2	51 (2)
Ducha	Privado	Válvula mezcladora	2	51 (2)
Cuarto de baño	Privado	Un flujómetro por cuarto	8	
Ducha separada	Privado	Válvula mezcladora	2	51 (2)
Fregadero de cocina	Privado	Llave	2	51 (2)
Lavadero de 1 a 3 compartimentos	Privado	Llave	3	51 (2)
Lavadora	Privado	Llave	2	
Lavadora	Pública	Llave	4	
Combinación de accesorios	Privado	Llave	3	
Poceta de aseo	Pública	Llave	3	
Lavaplatos eléctricos	Público/Privado	Llave	3 / 6	
Sifones de piso			1	51 (2)

Nota. Unidades de descarga para cada aparato sanitario. Fuente: NTC 1500, 2017.

- Tiempo de retención (TRH): 24 minutos
- Relación largo-ancho: entre 2:1 y 3:2
- Profundidad útil: mínima de 0,8 m; máxima de 2,0 m
- Borde libre: mínimo 0,3 m
- Diámetro de entrada y salida: Mínimo 3" de diámetro

Una vez se obtenga la totalidad de las unidades de descarga de cada aparato sanitario se aplicará la siguiente expresión: (Lozano-Rivas, 2012)

$$Q_{TG} = 0,3 * \sqrt{U}$$

Donde:

Q_{TG} : Caudal de diseño de la trampa de grasas (l/s)

U : Total de grifos de los aparatos sanitarios conectados a la trampa de grasas

Para determinar el volumen de la trampa de grasas, se aplicará la siguiente expresión:
(Lozano-Rivas, 2012)

$$V = Q_{TG} * TRH$$

Donde:

V: Volumen de la trampa de grasas

Q_{TG}: Caudal de diseño de la trampa de grasas (l/s)

TRH: Tiempo de retención hidráulica (24 minutos)

Dados los criterios de diseño anteriormente mencionados, en la tabla 7 se plantean las dimensiones para la trampa de grasas: (Lozano-Rivas, 2012)

Tabla 7 Dimensiones recomendadas

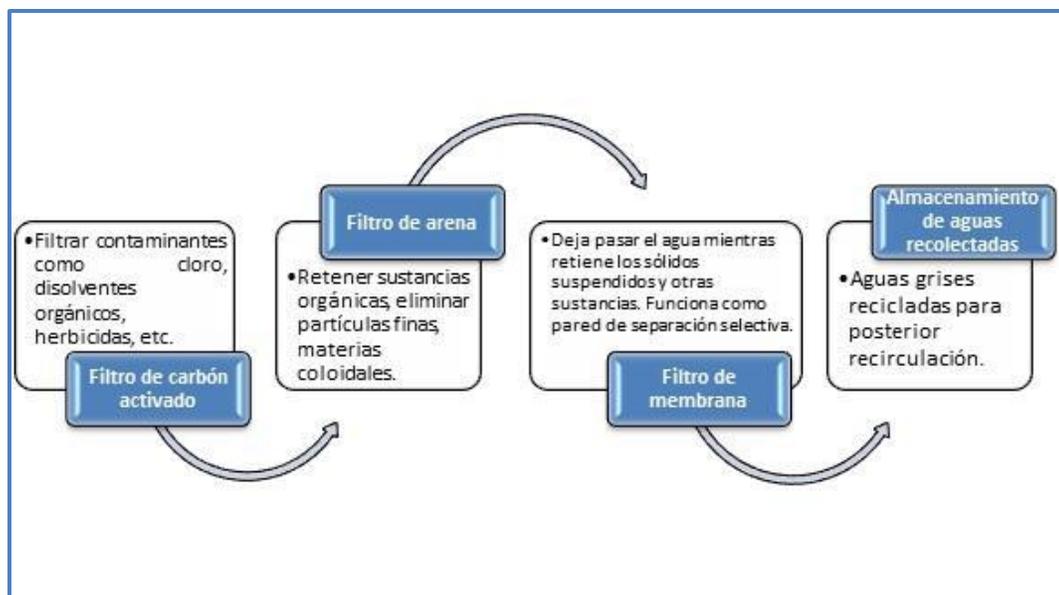
RANGO DE CAUDAL (l/s)	VOLUMEN TRAMPA DE GRASAS	DIMENSIONES ESTIMADAS (m)		
		Profundidad (H)	Ancho (A)	Largo (L)
<1	1,80	1,50	1,00	1,20
		1,00	1,00	1,80
1 – 2	3,60	1,50	1,10	2,20
2 – 3	5,40	2,0	1,13	2,40
3 – 4	7,20	2,0	1,50	2,70
4 – 5	8,10	2,0	1,50	2,70
5	9,12	2,0	1,60	2,85

Nota. Dimensiones recomendadas para la trampa de grasas. Fuente: Lozano-Rivas, 2012.

6.2.2 Filtración

Los sistemas de reciclaje y recirculación de aguas grises generalmente funcionan con una secuencia y etapas de filtración para garantizar resultados óptimos respecto de la remoción de carga y partículas en suspensión del mismo (Espinal et al., 2013). En la figura 8 se expone dicha secuencia y etapas de filtración.

Figura 8 Etapas de filtración de aguas grises



Nota. Secuencia en las etapas de filtración de las aguas grises recicladas. Fuente: Espinal, et al, modificado por autor.

6.2.3 Almacenamiento

El sistema de almacenamiento de aguas grises se debe dimensionar en función de la cantidad de agua recolectada y del volumen necesario para lograr abastecer los inodoros de la vivienda (Baquero, 2013), por ende, se tienen en consideración los siguientes criterios de diseño:

- Volumen (V): Consumo diario del inodoro por número de habitantes en la vivienda
- Relación largo-ancho: 2:1
- Altura (H): 0,9 m – 1,50 m (depende del espacio disponible en la vivienda)

Obtenido el volumen de almacenamiento, se puede calcular el área (A), el ancho (a) y el largo (b), con las siguientes expresiones:

$$A = \frac{V}{H}$$

$$a = \sqrt{\frac{A}{2}}$$

$$b = 2a$$

6.2.4 Red de distribución y sistema de bombeo

La red de distribución de aguas grises recolectadas será instalada, de acuerdo con la ubicación del tanque de almacenamiento y el sistema de bombeo. Para este diseño, la red solo llegará a los puntos sanitarios donde se utilizará el agua recolectada.

Para determinar la red de distribución y sus respectivos diámetros de tubería a utilizar para la descarga en los puntos sanitarios de la vivienda se utiliza la tabla 3 para Predimensionamiento de Tuberías para Suministro del Método de Hunter; donde según el número de aparatos en la vivienda se multiplica por la constante del aparato y se hace la sumatoria de todas las unidades que se comparan con la tabla, una vez realizado esto se sabe cuál es el diámetro óptimo a utilizar en la red de distribución. En la tabla 3 y 4 se muestra el método de Hunter.

El sistema de bombeo se diseña principalmente de acuerdo con el caudal requerido por los puntos hidráulicos a abastecer. En la tabla 5 se propone la respectiva bomba hidráulica para el sistema de bombeo.

7 Resultados

● Área de estudio

La presente propuesta se llevará a cabo en una zona rural del municipio de la Vega, este se encuentra a 1230 metros sobre el nivel del mar, cuenta con una temperatura promedio de 22°C (Alcaldía de La Vega, 2021).

El área destinada para el proyecto es de 113.2 (m²) metros cuadrados habitables; conformados por dos pisos; cuenta con 3 dormitorios; alcoba principal y dos auxiliares, 2 baños; baño principal y baño auxiliar, cocina, sala, comedor, patio y jardín (zona de riego). (Ver Planos Arquitectónicos. Anexo 5 de 11, Anexo 6 de 11, Anexo 7 de 11, Anexo 8 de 11, Anexo 9 de 11, Anexo 10 de 11 y Anexo 11 de 11)

7.1 Agua lluvia

Para el diseño del proyecto se tienen en cuenta los siguientes aspectos necesarios para cálculos previos:

- Número de usuarios beneficiarios del sistema: 3 (DANE, 2018)
- Material del área de captación: Planchas Metálicas (CEPIS/OPS, 2004).
- Coeficiente de escorrentía (Ce): 0,9 (CEPIS/OPS, 2004).
- Dotación para viviendas en zonas rurales (Dot): 130 l/hab-día (Resolución 0330, 2017)
- Área de captación: 56,5 m²

7.1.1 Captación

Se optó por la utilización de Planchas Metálicas, ya que estas son un buen material para el escurrimiento del agua, será una inversión alta al principio, pero garantiza larga vida útil al proyecto. (Ver Planos Arquitectónicos. Anexo 7 de 11 y Anexo 8 de 11). Por otro lado, para la eficaz captación del agua en el sistema se escogió un techo con caída a un agua, esto con el fin de economizar costos y menores pérdidas del agua lluvia captada.

7.1.2 Recolección y conducción

Las canaletas tienen que ser livianas para su instalación es por esto que se optó por la utilización de canaletas de metal, es un material de casi libre mantenimiento y tienen una vida útil de 50 años o más, lo que significa que no necesitan ser reemplazados tan a menudo como otro tipo de canaletas. Son resistentes al fuego y no es afectado por las plagas, insectos, moho o corrosión (Rain Gutters Solution, 2021).

7.1.3 Interceptor primeras aguas

Según la metodología del Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente para el volumen del tanque interceptor se debe calcular a razón de un litro de agua lluvia por metro cuadrado del área del techo captador, cuya área es de 56.5 metros cuadrados (m^2) por ende su volumen sería igual a 56.5 litros, sin embargo, éste se debe aproximar a un valor comercial, en este caso se utilizó un Bidón de 70 litros, para prever aumento del agua captada.

7.1.4 Almacenamiento

Los fenómenos de precipitación pluvial que ocurren en la localidad se asocian con la estación pluviométrica “2306516 EL ACOMODO” ubicada en jurisdicción del Municipio de La Vega y operada por la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca CAR de Cundinamarca.

La información empleada para el análisis fue la de Valores Totales Mensuales de Precipitación en milímetros (mm). En la estación EL ACOMODO se registra un promedio de 163,2 milímetros (mm) de precipitación mensual multianual como se indica en la tabla 8. La estación, que se ubica a 1150 msnm cuenta con registros pluviométricos de (15) años (2000-2015). Cabe aclarar que hay periodos donde la estación no registró datos, para tener en cuenta en los cálculos.

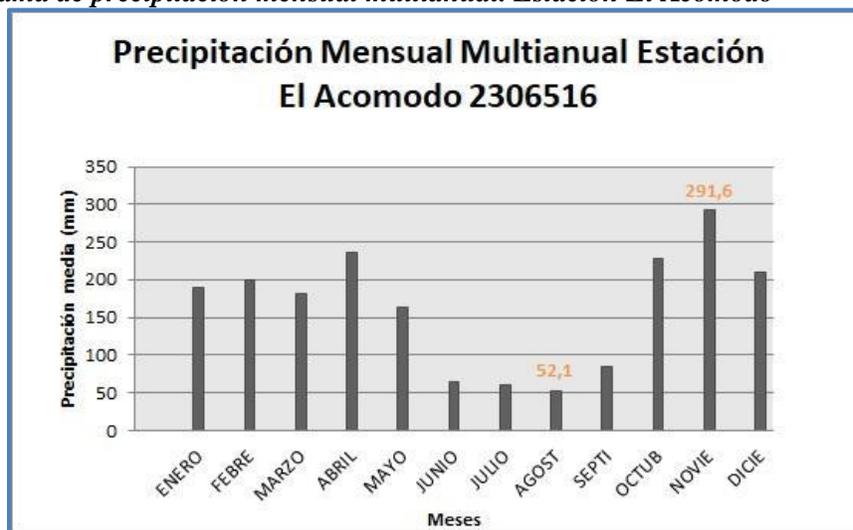
Tabla 8 Valores y promedios de precipitaciones mensuales multianuales. Estación El Acomodo

C A R - CORPORACION AUTÓNOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA													
SICLICA - Sistema de Información Climatológica e Hidrológica													
VALORES TOTALES MENSUALES DE PRECIPITACIÓN (mm)													
ESTACIÓN : 2306516 ACOMODO EL													
Latitud	0501 N	X=N=1046310	Departamento	CUNDINAMARCA	Corriente	R. TABACAL	Categoría	CP					
Longitud	7420 W	Y=E=971945	Municipio	LA VEGA	Cuenca	R. NEGRO	Fecha Instalación	6/01/2000					
Elevación	1150 m.s.n.m		Oficina Provincial	6 GUALIVÁ			Fecha Suspensión						
AÑO	ENERO	FEBRE	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOST	SEPTI	OCTUB	NOVIE	DICIE	Promedio Anual
2000									44,9	144,9	126,6	124,5	110,2
2001	204,5	187,3	214,1	38,8	150,1	137	77,1	10,9	69	107,1	117,6	89,8	116,9
2002	24,5	74,9	50,7	146,7	0			2	20,5	90	42,2	259,1	71,1
2003	238,8	139,1	88,5	280,5	68,2			19,4	160,7	299,4	367,6	114,4	177,7
2004	182,7	233,6	175,3	300,8	314,1	21,1	85,5	12,7	122,3	269,4	274,7	253,1	187,1
2005	291,3	483,7	126,9	133,4	31,2	3,8	12,7	131,5	120,7	333,5	303	255,6	185,6
2006	19,9	0	0	240,3		120,2							76,1
2007	132,5	61	227,8	225,4	243,1	47,8	40,4	73,5	83,6	249,1	115,9	198	141,5
2008	233,1	322,9	227	283		55,7	83,4	163,2	113,9	304	471,8	293	231,9
2009	150,4	197	246,1	207,8	122	68,9	30	35,1	35	231,2	257,2	136,5	143,1
2010	36,9	210,8	41,3	249,2	279,6	96	237,5	70,8	192,8	250,2	480,1	248,5	199,5
2011	132,1	92,2	290,6	540,8	300,9	98,7	53,3	26	22,6	261,3	696,4	432,1	245,6
2012	454,8	257	111,5	361,4	116,5	84,4	52,8	35,5	29,4	230,5	321,1	148,6	183,6
2013	259	348,9	253,5	223,4	244,5	54,4	7,9	81,9	67,4	258,4	399,6	270,2	205,8
2014	431,8	276,5	316,5	95,5	212,5	33,5	30,8	15	92,9	155,3	255,2	320	186,3
2015	97,3	177,7	362,3	224,5	38	13,5	5				144,6	1,6	118,3
2016	131	127,1											129,1
Suma	3020,6	3189,7	2732,1	3551,5	2120,7	835,0	716,4	677,5	1175,7	3184,3	4373,6	3145,0	
Promedio Mensual	188,8	199,4	182,1	236,8	163,1	64,2	59,7	52,1	84,0	227,5	291,6	209,7	

Nota. Valores de precipitación de cada mes durante los años registrados. Fuente: Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca CAR, modificado por autor.

Teniendo los valores registrados en la tabla 8 se realiza la figura 9, evidenciando los promedios de los meses durante los 15 años de registro de precipitación, el mes de mayor precipitación mensual es Noviembre (297,9 mm) y el mes con menor precipitación es Agosto (56,0 mm).

Figura 9 Histograma de precipitación mensual multianual. Estación El Acomodo



Nota. Histograma de precipitación mensual multianual durante los años registrados. Fuente: Autor.

7.1.4.1 Determinación de la precipitación promedio mensual

Según la metodología del Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS/OPS, 2004), se debe poner a la cabeza el mes con mayor precipitación de lluvia durante los años evaluados y se continúa con el orden regular de los meses siguientes. En la tabla 9 se observan los criterios de diseño para determinar el volumen de almacenamiento requerido. Los valores de volúmenes que den negativos no se tendrán en cuenta ya que en estos meses la oferta es menor que la demanda y por ende no se cubrirán las necesidades de los usuarios.

Tabla 9 Resultados criterios de diseño

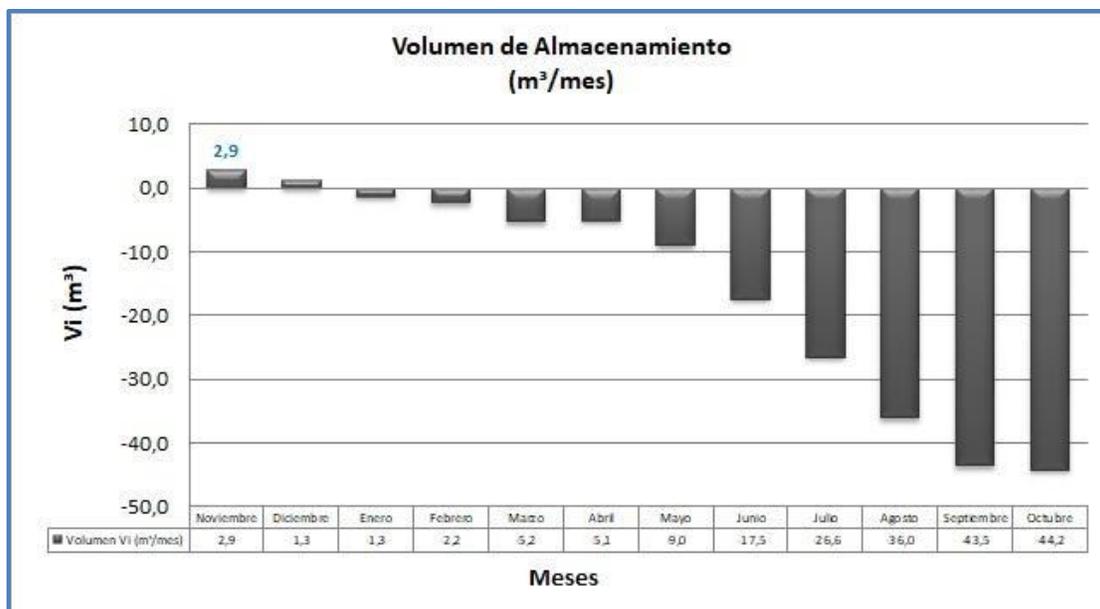
MES	Precipitación Mensual Ppi (m ³ /m ²)	Días mes	Demanda Di (m ³ /mes)	Demanda Acumulada (m ³ /mes)	Oferta Ai (m ³ /mes)	Oferta A'i (20% Pérdidas)	Oferta Acumulada Aai (m ³ /mes)	Volumen Vi (m ³ /mes)
Noviembre	0,3	30	11,7	11,7	14,9	14,6	14,6	2,9
Diciembre	0,2	31	12,1	23,8	10,7	10,5	25,1	1,3
Enero	0,2	31	12,1	35,9	9,6	9,5	34,6	-1,3
Febrero	0,2	28	10,9	46,8	10,2	10,0	44,6	-2,2
Marzo	0,2	31	12,1	58,9	9,3	9,1	53,7	-5,2
Abril	0,2	30	11,7	70,6	12,1	11,9	65,5	-5,1
Mayo	0,2	31	12,1	82,7	8,3	8,2	73,7	-9,0
Junio	0,1	30	11,7	94,4	3,3	3,2	76,9	-17,5
Julio	0,1	31	12,1	106,5	3,0	3,0	79,9	-26,6
Agosto	0,1	31	12,1	118,6	2,7	2,6	82,5	-36,0
Septiembre	0,1	30	11,7	130,3	4,3	4,2	86,7	-43,5
Octubre	0,2	31	12,1	142,4	11,6	11,4	98,1	-44,2

Nota. Criterios de diseño para el posterior cálculo del almacenamiento requerido. Fuente: Autor.

7.1.4.2 Volumen de almacenamiento

Teniendo en cuenta los promedios mensuales de precipitaciones de todos los años evaluados, el material del techo, el coeficiente de escorrentía, el clima de la zona entre otros factores se obtiene el volumen del tanque, tal como se muestra en la figura 10.

Figura 10 Histograma volumen de almacenamiento (m³)



Nota. Volumen de almacenamiento requerido. Fuente: Autor.

El volumen del tanque de almacenamiento finalmente da un resultado de 2,9 m³ (metros cúbicos) equivalentes a 2.900 litros, hallados para el mes de noviembre respecto los cálculos de los años evaluados, sin embargo, el volumen comercial por el cual se opta es un tanque de almacenamiento de 3000 litros para abastecer la vivienda (Roplast, 2021).

7.1.5 Red de distribución y sistema de bombeo

Basados en el Método de Hunter se debe tener en cuenta el número de aparatos utilizados en la vivienda y la sumatoria de estos, en la tabla 10 se muestra el resultado.

Tabla 10 Sumatoria de aparatos en la vivienda

APARATOS	# APARATOS	UNIDADES HUNTER	TOTAL
Lavamanos	2	1	2
Ducha	1	2	2
Lavaplatos	1	2	2
Lavadero	1	3	3
Total			9

Nota. Unidades Hunter según los aparatos sanitarios en la vivienda. Fuente: Autor.

Observando la tabla 3 “Tabla para Predimensionamiento de Tuberías para Suministro” del Método de Hunter se halla que el diámetro de la tubería de PVC Presión a utilizar en la vivienda es de tres cuartos de pulgada ($\frac{3}{4}$ ”), desde el sistema de bombeo hasta el punto hidráulico más

lejano, con ramificaciones de media pulgada (½”) dirigidos a los puntos hidráulicos dentro de la vivienda. Cada punto hidráulico contará con un registro tipo bola metálico de Ø ½” o Ø ¾” el cual permitirá el paso del agua captada hacia la vivienda (Ver Planos de Redes de Suministro. Anexo 1 de 11 y Anexo 2 de 11). La tabla 11 muestra las especificaciones de la distribución de los aparatos sanitarios.

Tabla 11 Puntos red de distribución

PUNTOS HIDRÁULICOS	# APARATOS	CAUDAL RECOMENDADO (L/s)	PRESIÓN RECOMENDADA (m.c.a)	DIÁMETRO ALIMENTACIÓN (PULGADAS)
Lavamanos	2	0,3	7,0	½”
Ducha	1	0,3	7,0	½”
Lavaplatos	1	0,45	7,0	½”
Lavadero	1	0,45	7,0	½”

Nota. Especificaciones de la red de distribución, de acuerdo a los aparatos sanitarios. Fuente: NTC 1500, modificada por autor.

La tabla 12 muestra los tramos de la red de distribución de agua lluvia recolectada desde la bomba hasta el punto más lejano a utilizar (lavamanos auxiliar, segundo piso), con sus respectivas longitudes y diámetros (Ver Planos de Redes de Suministro. Anexo 1 de 11 y Anexo 2 de 11).

Tabla 12 Longitudes y diámetros de la red de distribución

TRAMO	LONGITUD (m)	DIÁMETRO (in)	
A – B	Bomba – Primer registro tipo bola	10.413	¾
B – C	Registro Tipo Bola – Lavadero	2.441	¾ - ½
B – D	Registro Tipo Bola – Lavaplatos	4.381	¾ - ½
A – E	Bomba – Segundo Registro Tipo Bola	12.196	¾ - ½
E – F	Segundo Registro Tipo Bola – Lavamanos Principal	1.81	½
E – G	Segundo Registro Tipo Bola – Ducha	3.159	½
A – H	Bomba – Tercer Registro Tipo Bola	21.533	¾ - ½
H – I	Tercer Registro Tipo Bola – Lavamanos Auxiliar	1.216	½

Nota. Longitudes entre tramo y tramo con sus respectivos diámetros de la red de distribución de agua lluvia recolectada. Fuente: Autor.

Se opta por una bomba Geiser Rer QSB JH400 (Inversiones Reyes Reyes, 2021) con una potencia de medio caballo de fuerza (0,5 HP) de óptimo rendimiento para el abastecimiento doméstico en la vivienda. (Ver Planos de Redes de Suministro. Anexo 1 de 11).

7.2 Aguas grises

7.2.1 Trampa de grasas

Para el correcto funcionamiento de la trampa de grasas se hace pertinente la instalación de cribado o rejillas en los desagües de lavaplatos, lavamanos, duchas y lavaderos, esto con el fin de impedir el paso de material grueso que pueda entrar e interferir en el sistema. La estimación de caudal de diseño de la trampa de grasas se realiza teniendo en cuenta el total de unidades de descarga (tabla 6) de los aparatos sanitarios de donde se recolectará las aguas grises, tal como se muestra en la tabla 13.

Tabla 13 Unidades de descarga total dentro de la vivienda

APARATO SANITARIO	CANTIDAD (1)	GRIFOS (2)	UNIDADES DE DESCARGA (3)	TOTAL (1*2*3)
Lavamanos	2	1	1	2
Ducha	1	1	2	2
Lavaplatos	1	1	2	2
Lavadero	1	1	3	3
Unidades totales de Descarga				9

Nota. Totalidad de unidades de descarga de cada aparato sanitario dentro de la vivienda. Fuente: Autor.

7.2.1.1 Cálculo caudal de diseño de la trampa de grasas: (Lozano-Rivas, 2012)

$$Q_{TG} = 0,3 * \sqrt{U}$$

$$Q_{TG} = 0,3 * \sqrt{9}$$

$$Q_{TG} = 0,9 \text{ l/s}$$

7.2.1.2 Cálculo volumen de diseño de la trampa de grasas: (Lozano-Rivas, 2012)

$$V = Q_{TG} * TRH$$

$$V = 0,9 \frac{\text{l}}{\text{s}} * 24 \text{ min} * \frac{60\text{s}}{1 \text{ min}}$$

$$V = 1296 \text{ l} \cong 1,30 \text{ m}^3$$

Considerando un tiempo de retención hidráulica de 24 minutos tal como lo plantea Lozano-Rivas, teniendo el caudal de diseño de la trampa de grasa y el volumen de la misma, remitiéndose

a las dimensiones recomendadas para la trampa de grasas en la tabla 7, se halla que la profundidad (H) será de 1,50 m, el ancho (A) será de 1,00 m y el largo (L) será de 1,20, así mismo, el diámetro de tubería a la entrada y salida de la trampa de grasas será de 3". (Ver Planos de Redes de Desagüe. Anexo 3 de 11 y Anexo 4 de 11).

7.2.2 Filtración

En las zona rurales, los niveles de riesgo y morbilidad por calidad del agua son más elevados que en zonas urbanas (Pérez-Vidal et al., 2016), por dicha razón se propone un sistema sencillo, que, aunque bien se sabe que no será agua para consumo humano, es de suma importancia remover la mayor carga contaminante que se pueda del agua recolectada, y así generar un sistema sostenible en el ámbito ambiental, pensando en su posible vertimiento, ya sea dentro de las mismas funciones del predio, o al alcantarillado pertinente.

Un sistema descentralizado de tratamiento y filtración, utilizando materiales granulares, resulta ser una opción viable para zonas rurales (Torres-Parra et al., 2017). Por dicha razón en la tabla 14 se propone un sistema simple de lecho filtrante.

Tabla 14 Especificaciones del lecho filtrante

CAPA	MATERIAL	DIÁMETRO (mm)	ALTURA (m)
1	Arena fina	0,2 – 0,3	0,10
2	Arena gruesa	1,0 – 1,4	0,10
3	Gravilla	4,0 – 5,6	0,10
4	Grava	16,0 – 23,0	0,15

Nota. Especificaciones de un filtro básico aplicable al sistema de la vivienda. Fuente: Autor.

7.2.3 Almacenamiento

Para el diseño del depósito acumulador de aguas recolectadas se halla el volumen del tanque de almacenamiento, teniendo en cuenta el número de habitantes en la vivienda y la demanda del aparato sanitario por persona día.

Como lo menciona Ángel et al, para el año 2020 la demanda de agua para uso sanitario es de 15,3 litros por habitante día (l/hab/día).

$$V = \text{Demanda} * \text{No. Habitantes}$$

$$V = 15,3 \frac{l}{\text{hab} * \text{día}} * 3 \frac{\text{hab}}{\text{vivienda}}$$

$$V = 45,9 \frac{l}{\text{vivienda} * \text{día}} \cong 0,046 m^3$$

Las dimensiones del tanque de almacenamiento serán las siguientes, considerando una profundidad (H) de 0,90 m:

$$\text{Área} = A = \frac{V}{H}$$

$$\text{Área} = A = \frac{0,046 m^3}{0,90 m} \cong 0,052 m^2$$

$$\text{Ancho} = a = \sqrt{\frac{A}{2}}$$

$$\text{Ancho} = a = \sqrt{\frac{0,052 m^2}{2}} \cong 0,16 m$$

$$\text{Largo} = b = 2a$$

$$\text{Largo} = b = 2 * 0,16 m \cong 0,32 m$$

7.2.4 Red de distribución y sistema de bombeo

Basados en el Método de Hunter se debe tener en cuenta el número de aparatos utilizados en la vivienda y la sumatoria de estos, como el agua recolectada y tratada será para uso de inodoros, solo se tendrán en cuenta estos como se muestra en la tabla 15.

Tabla 15 Sumatoria de aparatos en la vivienda

APARATOS	# APARATOS	UNIDADES HUNTER	TOTAL
Inodoros	2	6	12

Nota. Unidades Hunter según los aparatos sanitarios en la vivienda. Fuente: Autor.

Observando la tabla 3 “Tabla para Predimensionamiento de Tuberías para Suministro” del Método de Hunter se halla que el diámetro de la tubería de PVC Presión a utilizar en la vivienda es de una pulgada (1”), desde el sistema de bombeo hasta el punto hidráulico más lejano, con

ramificaciones de tres cuartos de pulgada ($\frac{3}{4}$ ") y media pulgada ($\frac{1}{2}$ ") dirigidos a los puntos hidráulicos dentro de la vivienda. Cada punto hidráulico contará con un registro tipo bola metálico de $\varnothing \frac{1}{2}$ " o $\varnothing \frac{3}{4}$ " , según corresponda, el cual permitirá el paso del agua captada hacia la vivienda (Ver Planos de Redes de Desagüe y Suministro. Anexo 1 de 11, Anexo 2 de 11 y Anexo 3 de 11). La tabla 16 muestra las especificaciones de la distribución de los aparatos sanitarios.

Tabla 16 Puntos red de distribución

PUNTOS HIDRÁULICOS	# APARATOS	CAUDAL RECOMENDADO (L/s)	PRESIÓN RECOMENDADA (m.c.a)	DIÁMETRO ALIMENTACIÓN (PULGADAS)
Inodoros	2	0,35	7,0	$\frac{1}{2}$ "

Nota. Especificaciones de la red de distribución, de acuerdo a los aparatos sanitarios. Fuente: NTC 1500, modificada por autor.

La tabla 17 muestra los tramos de la red de distribución de aguas grises tratadas para su recirculación desde la bomba hasta el punto más lejano a utilizar (sanitario auxiliar, segundo piso), con sus respectivas longitudes y diámetros (Ver Planos de Redes de Desagüe y Suministro. Anexo 1 de 11, Anexo 2 de 11 y Anexo 3 de 11).

Tabla 17 Longitudes y diámetros de la red de distribución de agua recirculada

TRAMO		LONGITUD (m)	DIÁMETRO (in)
A' – B'	Bomba – Primer registro tipo bola	5.727	1 - $\frac{1}{2}$
B' – C'	Registro Tipo Bola – Sanitario principal	1.948	$\frac{1}{2}$
A' – D'	Bomba – Segundo Registro Tipo Bola	9.070	1 - $\frac{1}{2}$
D' – E'	Segundo Registro Tipo Bola – Sanitario Auxiliar	1.959	$\frac{1}{2}$

Nota. Longitudes entre tramo y tramo con sus respectivos diámetros de la red de distribución de agua recirculada. Fuente: Autor.

Se opta por una bomba Geiser Rer QSB JH400 (Inversiones Reyes Reyes, 2021) con una potencia de medio caballo de fuerza (0,5 HP) de óptimo rendimiento para el abastecimiento doméstico en la vivienda. (Ver Planos de Redes de Desagüe. Anexo 3 de 11).

8 Análisis de resultados

8.1 Aguas lluvias

Según el último censo realizado en el 2018 por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), más de la mitad de los hogares colombianos se conforman por 3,1 miembros en su núcleo familiar (DANE,2018) siendo este el promedio nacional, el reporte publicado por la misma entidad para el caso específico del municipio de La Vega, Cundinamarca, es de 2,6 miembros por núcleo familiar, siendo este último un dato más acertado para la población beneficio. Para el proyecto se escogió que el número de usuarios a beneficiar en el sistema fuese de 3 miembros en la casa, esto con el fin de poder realizar los respectivos cálculos de acuerdo a la situación actual del municipio.

Otro parámetro considerado es la dotación de agua potable para viviendas en zonas rurales, dicho valor es el que se establece en la **Resolución 0330 de 2017** del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, en la cual se establece que para poblaciones con clima frío o templado, es decir, arriba de los 1000 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.), se toma una dotación de 130 litros por habitante día (l/hab-día) con un nivel de complejidad del sistema BAJO.

El siguiente parámetro considerado en el sistema de captación del agua lluvia es el área de captación de la misma, dicha área es clave primordial para determinar la cantidad de agua lluvia que se puede captar y almacenar para satisfacer las necesidades básicas de los usuarios de la vivienda. El área de captación de este proyecto fue escogida entre varias opciones de casas prefabricadas, el plano de la casa tiene en su totalidad 350 metros cuadrados (m^2), el área de captación de agua lluvia es de 56.6 metros cuadrados (m^2) y el restante, serán las zonas donde se llevarán a cabo los diferentes procesos de captación, desinfección, almacenamiento y demás apropiados para hacer de la casa un proyecto autosostenible, incluyendo una zona de riego para

cultivo, que se plantea como opción para futuro aprovechamiento de aguas residuales. (Ver Planos Arquitectónicos. Anexo 3 de 11)

8.1.1 Captación, recolección y conducción

El coeficiente de escorrentía (C_e) depende del material utilizado en el sistema de captación del agua lluvia, en dicho proyecto se optó por la utilización de Planchas y Canaletas Metálicas las cuales tienen un C_e de 0.9 (CEPIS/OPS, 2004), lo que significa que el 90% del agua caída en las Planchas Metálicas escurre a través de la misma y es posible captar dicha agua. El 10% restante es agua que se pierde por infiltración o por evaporación que presenta este material.

8.1.2 Interceptor primeras aguas

El interceptor de primeras aguas tiene un volumen de 70 litros, esto permitirá al sistema recolectar el agua de la primera lavada del techo esto con el fin de evitar que dicha agua sea almacenada, en teoría el interceptor hace de su función una forma confiable para la captación del agua lluvia, sin embargo esta estructura “presenta el inconveniente de que si la precipitación no alcanza a llenar éste, el agua quedara estancada hasta que nuevamente llueva y se llene el interceptor, lo cual no es conveniente debido a que se garantiza que toda la superficie de captación esté limpia” (Mejía et al, 2011), es por esto que es necesario vaciar el interceptor para que quede listo para una siguiente precipitación.

8.1.3 Almacenamiento

De acuerdo con los resultados en la tabla 9 durante todos los años analizados (15 años), el promedio mensual donde la oferta es mayor que la demanda es en el mes de noviembre, asegurando así para efectos de cálculos que es posible realizar el proyecto, los valores de volúmenes que den negativos no se tendrán en cuenta ya que en estos meses la oferta es menor que la demanda y por ende no se cubrirá las necesidades de los usuarios beneficiarios y la demanda faltante se cubrirá

con agua potable. En primera instancia y en teoría, el proyecto garantiza un ahorro significativo del recurso hídrico en la vivienda, no tan alto como se desearía, pero con el fin de mejoras en el proyecto y para poder tener una mayor cobertura de la demanda y de capacidad de cubrimiento en cuanto a más días de demanda, se hace necesario aumentar el área de captación del agua lluvia ya que modificando dicho parámetro el volumen del tanque será mayor y se podrá garantizar mayor cobertura.

8.1.4 Red de distribución y sistema de bombeo

El sistema de red de distribución diseñado garantizará que los habitantes de la vivienda tengan acceso al agua potable, la selección del material PVC será inerte con el agua y no favorecerá el crecimiento microbiológico. El diámetro de la tubería principal es de $\frac{3}{4}$ " y de las ramificaciones $\frac{1}{2}$ ", son los adecuados para resistir la presión de la bomba hidráulica. Por otro lado, esta red de distribución irá conectada a la red de servicios públicos municipal con el fin de garantizar las necesidades de los habitantes, como soporte para evitar futuros inconvenientes con el suministro del servicio, esta conexión se hará por medio de un bypass manual que está localizado después de la bomba hidráulica. Se opta por una bomba Geiser Rer QSB JH400 (Inversiones Reyes Reyes, 2021) con una potencia de medio caballo de fuerza (0,5 HP) de óptimo rendimiento para el abastecimiento doméstico en la vivienda. (Ver Planos Arquitectónicos. Anexo 8 de 11 y Planos de Redes de Desagüe. Anexo 3 de 11).

8.2 Aguas grises

8.2.1 Trampa de grasas

La retención de los sólidos es un método simple y práctico de pretratamiento de las aguas grises que se puede realizar en diversas maneras, una de ellas es la retención de los sólidos de gran tamaño que, de no llevarse a cabo, podrá presentar obstrucciones del sistema esto se hace a través

de cribados o de rejillas que son muy económicos y de fácil acceso en diferentes tamaños y formas geométricas, instalados antes de la entrada a la trampa de grasas.

Seguido, la trampa de grasas que recogerá los desechos con mayor cantidad de grasas; al implementar dicho sistema este tendrá múltiples beneficios como la disminución de la contaminación de las fuentes receptoras, separación de grasas por remoción sin la utilización de químicos, reduce mantenimientos de tuberías ya que las grasas no quedan adheridas, el contar con este sistema permite evitar futuros taponamientos de tuberías de drenaje sanitario, no requiere de mano de obra especializada para su instalación, de fácil y sencillo mantenimiento.

Según como lo plantea Lozano-Rivas, se establecen las dimensiones recomendadas para la trampa de grasas, haciendo la aclaración de que dichas dimensiones son directamente proporcional al volumen, caudal y tiempo de retención del sistema, si dichos parámetros cambian, se hace pertinente el respectivo cálculo para hallar las nuevas dimensiones de la estructura.

8.2.2 Filtración

La utilización de los filtros lentos en arena permitirá al sistema la adecuada remoción de sólidos disueltos, las propiedades del medio, causan que el agua tome caminos erráticos y largos trayectos, lo cual incrementa la probabilidad de que el sólido tenga contacto con otras partículas suspendidas, el filtro es un dispositivo compuesto generalmente de materiales porosos, los cuales permiten purificar el líquido, atrapa las partículas que el fluido trae, las cuales pueden ser tóxicas o perjudiciales para la salud; algunos de los elementos filtrantes más conocidos son: arena, barro, óxido, polvo, hierro, altas cantidades de cloro y bacterias, entre otros (Batista et al., 2016).

8.2.3 Almacenamiento

El volumen del depósito acumulador para las aguas grises tendrá la capacidad suficiente para el abastecimiento diario de los inodoros, sin embargo, cabe aclarar que esta estructura es

eficiente para tres habitantes. Si se tiene un crecimiento de habitantes en la vivienda es necesario recalcular las dimensiones y agregar una cámara para su ampliación, de ser necesario.

Para el cálculo del depósito acumulador fue necesario conocer la demanda para uso sanitario en una vivienda, así como lo evidencia Ángel et al, que para el año 2020 a nivel nacional fue de 15,3 litros por habitante día (l/hab/día), sin embargo, se hace la aclaración que, para resultados más precisos del sistema, se hace pertinente obtener el valor para el municipio de La Vega o para el departamento de Cundinamarca, que se acercaría más a la zona de estudio.

8.2.4 Red de distribución y sistema de bombeo

El sistema de red de distribución diseñado garantizará un adecuado suministro a los aparatos sanitarios del agua a recircular, la selección del material PVC será inerte con el agua y no favorecerá el crecimiento microbiológico. El diámetro de la tubería principal es de 1" y de las ramificaciones de ¾" y ½", son los adecuados para resistir la presión de la bomba hidráulica. Se debe tener el control de abastecimiento con una válvula de paso y válvula de cheque, dejando conectada la red propuesta a la red principal con el fin de garantizar las necesidades de los habitantes, como soporte para evitar futuros inconvenientes con el suministro del servicio, para prever que el agua del depósito acumulador no sea lo suficiente para abastecer los inodoros. Se opta por una bomba Geiser Rer QSB JH400 (Inversiones Reyes Reyes, 2021) con una potencia de medio caballo de fuerza (0,5 HP) de óptimo rendimiento para el abastecimiento doméstico en la vivienda. (Ver Planos Arquitectónicos. Anexo 8 de 11 y Planos de Redes de Desagüe. Anexo 3 de 11).

9 Presupuesto

En la tabla 18 se presenta el presupuesto aproximado del valor del proyecto de acuerdo a los valores en pesos para el año 2021 en sus diferentes componentes, teniendo en cuenta la variación en los detalles de los mismos, y su implementación, se hace pertinente ajustar los costos para obtener un presupuesto más preciso del mismo.

Tabla 18 Presupuesto para el modelo hidrosanitario

COSTOS MODELO HIDROSANITARIO					
Aprovechamiento Agua Lluvia					
Ítem	Actividad	Unidad	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total
1	Captación				
1.1	Cubierta para techo 4Plus Calibre 30	Paq	2	\$ 1.405.400	\$ 2.810.800
1.2	Accesorios	Und	1	\$ 400.000	\$ 400.000
1.3	Suministro e instalacion de techo	m ²	56,5	\$ 40.000	\$ 2.260.000
2	Recolección y Conducción				
2.1	Canaleta Metálica	Und	4	\$ 139.855	\$ 559.420
2.2	Accesorios	Und	1	\$ 200.000	\$ 200.000
2.3	Suministro e instalacion de canaletas y bajantes	ml	15	\$ 60.000	\$ 900.000
3	Interceptor Primeras Aguas				
3.1	Bidón 70 litros	Und	1	\$ 60.000	\$ 60.000
3.2	Accesorios	Und	1	\$ 300.000	\$ 300.000
4	Almacenamiento				
4.1	Tanque almacenamiento 3000 L	Und	1	\$ 1.719.400	\$ 1.719.400
4.2	Accesorios	Und	1	\$ 300.000	\$ 300.000
5	Red de Distribución y Sistema de Bombeo				
5.1	Suministro e instalación tubería presión PVC (1/2" - 3/4" - 1")	ml	70	\$ 16.900	\$ 1.183.000
5.2	Bomba Centrifuga Geiser Rer QSB JH400	Und	1	\$ 203.000	\$ 203.000
5.3	Accesorios	Und	1	\$ 500.000	\$ 500.000
Valor total					\$ 11.395.620
Recirculación Aguas Grises					
Ítem	Actividad	Unidad	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total
1	Trampa Grasas				
1.1	Excavación manual en material común húmedo 0-2 m	m ³	3	\$ 24.575	\$ 73.725
1.2	Concreto f'c =245 Kg/cm2 para losas de fondo incluye impermeabilizante y aditivos de fraguado	m ³	2	\$ 480.000	\$ 960.000
1.3	Accesorios	Und	1,0	\$ 200.000	\$ 200.000
2	Filtración				
2.1	Arena fina	Kg	4	\$ 7.900	\$ 31.600
2.2	Arena gruesa	Kg	4	\$ 11.590	\$ 46.360
2.3	Gravilla	Kg	4	\$ 7.900	\$ 31.600
2.4	Grava	Kg	5	\$ 11.200	\$ 56.000
2.5	Accesorios	Und	1	\$ 200.000	\$ 200.000
3	Almacenamiento				
3.1	Bidón 70 litros	Und	1	\$ 60.000	\$ 60.000
3.2	Accesorios	Und	1	\$ 150.000	\$ 150.000
4	Red de Distribución y Sistema de Bombeo				
4.1	Suministro e instalación tubería presión PVC (1/2" - 3/4" - 1")	ml	30	\$ 16.900	\$ 507.000
4.2	Bomba Centrifuga Geiser Rer QSB JH400	Und	1	\$ 203.000	\$ 203.000
4.3	Accesorios	Und	1	\$ 400.000	\$ 400.000
Valor total					\$ 2.919.285
COSTO TOTAL DEL PROYECTO					\$ 14.314.905

Nota. Presupuesto para el modelo hidrosanitario propuesto. Fuente: Autor.

10 Conclusiones

Con la presente propuesta se logra diseñar un sistema dual donde el aprovechamiento del agua lluvia en primera instancia abastece a una vivienda del recurso hídrico, y la recirculación de aguas grises garantiza su posterior uso, así evitando el uso de servicios públicos y accediendo a un sistema independiente y propio para la vivienda.

El estado del conocimiento adquirido, permite el entendimiento de la problemática a nivel tanto internacional como nacional, basándose en los estudios de caso, se plantea un adecuado documento guía para la elaboración de la presente propuesta.

Se realizó la respectiva búsqueda de alternativas sustentables de instalaciones hidrosanitarias, lo cual permitió la elaboración del presente documento para poder diseñar un adecuado modelo hidrosanitario para una vivienda en el municipio de La Vega, Cundinamarca.

De acuerdo a la literatura consultada y las diferentes referencias bibliográficas encontradas, se obtiene una base sólida para poder plantear la respectiva propuesta de un modelo hidrosanitario aplicable al ámbito doméstico y rural para la zona de estudio.

El análisis realizado establece que, teóricamente, sería posible abastecer de agua lluvia tratada a una vivienda de, por ahora, tres habitantes en el municipio de La Vega. Sin embargo, se plantea el empleo de agua lluvia como una fuente alternativa y no total de agua para consumo humano, debido a que la disponibilidad de este recurso dependerá de las variaciones de la precipitación en la zona de estudio.

La utilización de planchas y canaletas metálicas permiten que los sistemas para el aprovechamiento de agua lluvia sean factibles y estén al alcance de las comunidades, ofreciendo así un coeficiente de escorrentía de 0.9, lo que significa que el 90% del agua obtenida en las planchas y canaletas metálicas escurra a través de la misma, de manera que se hace posible la

captación de dicha agua. Por otro lado, este tipo de material no es afectado por las plagas, mohos e insectos que puedan llegar a afectar la calidad del agua captada.

Se debe tener en cuenta que para el volumen del tanque de almacenamiento fue diseñado para las condiciones hidrológicas presentadas en la **figura 9** en las cuales se detallan las precipitaciones correspondientes a los últimos quince (15) años, por lo tanto, este volumen y diseño depende de estos factores hidrológicos y pueden variar en el transcurso del tiempo si las condiciones no se asemejan a las presentadas anteriormente.

La trampa de grasas es la opción más viable para descontaminar las aguas grises proveniente de lavaplatos, lavaderos y duchas, ya que contienen gran cantidad de grasas, cabe resaltar que las dimensiones de dicha estructura, es importante para el correcto funcionamiento del sistema, ya que si, no se diseña adecuadamente puede ocasionar malos olores y saturación en las tuberías.

La efectividad del lecho filtrante corresponde a las características de sus componentes, el lecho filtrante propuesto, si bien no es para abastecimiento de agua para consumo humano, si es un proceso fundamental para la remoción de contaminantes y sólidos presentes que puedan ingresar al sistema. Con estudios más a fondo, se puede proponer un lecho filtrante de más efectividad para abastecer a los habitantes de la vivienda con agua para consumo humano.

Sin dejar a un lado los objetivos secundarios, la intención de la presente propuesta también era lograr la disminución de los posibles vertimientos hacia el sistema de alcantarillado municipal, diseñando un adecuado modelo hidrosanitario se garantiza la autosostenibilidad de la vivienda en este componente, generando así, captación de agua lluvia para uso doméstico, recirculación de aguas grises en uso sanitario, y para futuras adecuaciones, tratamiento de aguas residuales y recirculación de las mismas para uso de riego, ya sea en cultivos o lavado de fachadas.

Para efecto de implementación del presente sistema si se desea conocer el caudal máximo de cada tramo de la red de distribución, éste será igual a la suma de los caudales de cada uno de los puntos de consumo alimentados por el mismo de acuerdo con el caudal mínimo instantáneo establecido en la tabla 11 “Puntos red de Distribución”.

11 Recomendaciones

De acuerdo a los cálculos para la red de distribución y sistema de bombeo propuesto, es viable y se garantiza el suministro del recurso hídrico dentro de la vivienda, sin embargo, para efectos de precisión, se hace pertinente la estimación de pérdidas dentro del sistema en cada tramo propuesto, así mismo se podrá tener especificaciones técnicas más precisas para todo el conjunto de estructuras calculadas.

Se deja a consideración un área determinada para riego ubicada la zona de jardín propia de la vivienda, esto con el fin de, para futuras adecuaciones, poder aprovechar dicha área vinculándola a un sistema de tratamiento y distribución de aguas residuales provenientes de inodoros, y así lograr el máximo aprovechamiento del recurso hídrico generado en la vivienda.

Para que los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia funcionen correctamente es necesario que el mantenimiento de estos sea de especial cuidado por parte de los usuarios, por lo cual se requiere una constante vigilancia de todo el sistema, de la cual dependerá la salud de los consumidores del servicio.

El diseño para la reutilización de aguas residuales es de tres habitantes, en caso de haber más personas es necesario el dimensionamiento del sistema; es importante contar con la asesoría de un experto lo cual establecerá los parámetros de diseño necesario, basados en la revisión bibliográfica pertinente.

La propuesta no tiene los respectivos detalles en cuanto a construcción propiamente del sistema, ni sus debidos detalles de la instalación del aprovechamiento de agua lluvia y de la recirculación de aguas grises, dicho lo anterior se recomienda para una posible implementación del mismo, la toma de datos en campo para poder detallar a precisión cada componente del sistema, dado que la propuesta es meramente derivada de ingeniería conceptual y no aplicada directamente.

12 Anexos

Anexo 1. Planos redes de suministro – Planta primer piso

Anexo 2. Planos redes de suministro – Planta segundo piso

Anexo 3. Planos redes de desagüe – Planta primer piso

Anexo 4. Planos redes de desagüe – Planta segundo piso

Anexo 5. Planos arquitectónicos – Planta primer piso

Anexo 6. Planos arquitectónicos – Planta segundo piso

Anexo 7. Planos arquitectónicos – Planta de cubiertas

Anexo 8. Planos arquitectónicos – Fachada posterior

Anexo 9. Planos arquitectónicos – Fachada frontal

Anexo 10. Planos arquitectónicos – Fachada lateral izquierda

Anexo 11. Planos arquitectónicos – Fachada lateral derecha

13 Referencias Bibliográficas

- Alcaldía de La Vega. (2021). *Información del Municipio*. <https://www.lavega-cundinamarca.gov.co/MiMunicipio/Paginas/Informacion-del-Municipio.aspx>
- Ángel, M., Betancourt, V., Castillo, A., Jaramillo, A., López, L., Lozano, C., Martínez, S., Parrado, A., Rozo, O., & Sepulveda, K. (2020). Drinking water consumption in households during the confinement by COVID-19, in Bogota (Colombia). *Biociencias*, 4(1), 1–7. Disponible en: <https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/Biociencias/article/view/4398>
- Armenteros, T., Hernández, J., Pérez, F. (2016). Treatment system for wastewater at villa clara water management company. *Revista Centro Azúcar*, (43). ISSN: 2223-4861. Disponible en: <http://scielo.sld.cu/pdf/caz/v43n2/caz07216.pdf>
- Arroyave, J., Díaz, J., Vergara, D. & Macías, N. (2011). Evaluación económica de la captación de agua lluvia como fuente alternativa del recurso hídrico en la Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia. *Producción + Limpia*, 6(1), 76-84.
- Baquero, M. (2013). Ahorro de agua y reutilización en la edificación en la ciudad de Cuenca, Ecuador. *Estoa*, (3), 71-81. ISSN: 1390-9274.
- Batista, A., Cárdenas, O., Castillo, J., Madrid, K., Martínez, C., & de León, A. T. (2016). Revista de Iniciación Científica Journal of Undergraduate Research García (et al): Extracción del aceite de la cáscara de la nuez de la India (*Anacardium Occidentale*) para el tratamiento superficial de metales (Vol. 2, Issue 2).
- Carrasco Mantilla, William (2016). Estado del arte del agua y saneamiento rural en Colombia. *Revista de Ingeniería*, (44),46-53. ISSN: 0121-4993. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=121046459008>
- Castellanos, L., García, C., & Villegas, P. (2015). Diseño e implementación de un prototipo de sistema de recolección y tratamiento aguas lluvias en casa multifamiliar para uso doméstico en el barrio Consuelo, localidad de Rafael Uribe Uribe. Universidad Católica de Colombia.
- CEPIS/OPS. (2004). Guía de Diseño para Captación de Agua Lluvia.
- Comisión económica para América latina y el caribe (CEPAL). (2021). *Acerca de desarrollo sostenible*. <https://www.cepal.org/es/temas/desarrollo-sostenible/acerca-desarrollo-sostenible>

- Corporación S3. (2020). *Sistemas de recirculación de agua*.
<https://corporacions3.com/sistemas-de-recirculacion-de-agua/>
- Departamento administrativo nacional de estadística – DANE. (2018). *Censo nacional de población y vivienda. ¿Cómo vivimos?*.
<https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/censo-nacional-de-poblacion-y-vivenda-2018/como-vivimos>
- Departamento administrativo nacional de estadística – DANE. (2018). *Análisis de información CNPV 2018 en Cundinamarca*.
<https://www.dane.gov.co/files/censo2018/informacion-tecnica/presentacion-CNPV-2018-Cundinamarca.pdf>
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística, DANE. (2019, Mayo 3). *Boletín técnico - Encuesta Nacional de Calidad de Vida (ECV)*.
https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/condiciones_vida/calidad_vida/Boletin_Tecnico_ECV_2018.pdf
- El Tiempo. (Marzo, 2015). *¿Cómo es el avance en la cobertura de acueducto en Colombia?*.
<https://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-15445939>
- Espinal, C., Ocampo, D., Rojas, D. (2013). Diseño y simulación de un sistema para el reciclaje de aguas grises en el hogar. Universidad tecnológica de Pereira. Disponible en:
<https://core.ac.uk/download/pdf/71397877.pdf>
- García-Montoya, M., Bocanegra-Martínez, A., Nápoles-Rivera, F., Serna-González, M., Ponce-Ortega, J. M., & El-Halwagi, M. M. (2015). Simultaneous design of water reusing and rainwater harvesting systems in a residential complex. *Computers and Chemical Engineering*, 76, 104–116.
<https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2015.02.011>
- Greywater Action. (2015). *Manual de diseño para manejo de aguas grises*.
<http://www.greywateraction.org>
- Homecenter. (2021). <https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/>
- Homify. (2020). Techos a dos aguas: ejemplos y ventajas.
https://www.homify.com.mx/libros_de_ideas/5255663/techos-a-dos-aguas-ejemplos-y-ventajas
- Imteaz, M. A., Shanableh, A., Rahman, A., & Ahsan, A. (2011). Optimisation of rainwater tank design from large roofs: A case study in Melbourne, Australia. *Resources*,

Conservation and Recycling, 55(11), 1022–1029.
<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2011.05.013>

Instituto colombiano de normas técnicas y certificación (ICONTEC). (2017). *Norma técnica colombiana NTC 1500. Código colombiano de instalaciones hidráulicas y sanitarias*. Tercera actualización.

Inversiones Reyes Reyes. (2021). *Catálogo Bombas Hidráulicas*. Bogotá.

Lara Borrero, J., Torres Abello, A., Campos Pinilla, M., Duarte Castro, L., & Echeverri Robayo, J. (2007). Aprovechamiento del agua lluvia para riego y para el lavado de zonas duras y fachadas en el campus de la Pontificia Universidad Javeriana (Bogotá). *Ingeniería y Universidad*, 11(2), 193–202.

Lozano-Rivas, W. (2012). *Fundamentos de diseño de plantas depuradoras de aguas residuales*.

Mejía, G., & Salamea, P. (2011). Diseño de un sistema para reciclado control y utilización de agua Lluvia en la ciudad de Cuenca. Universidad Politécnica Salesiana. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/1420>

Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2017). Resolución 0330. Por el cual se adopta el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico – RAS. República de Colombia.

Nikulin, C., & Becker, G. (2015). Una metodología Sistémica y creativa para la gestión estratégica: Caso de Estudio Región de Atacama-Chile A Systematic and Creative Methodology to Drive Strategic Management: Chilean Case Study in Atacama-Region. In *J. Technol. Manag. Innov* (Vol. 10, Issue 1). <http://www.jotmi.org>

Palacio, N. (2010). Propuesta de un sistema de aprovechamiento de agua lluvia como alternativa para el ahorro de agua potable, en la institución educativa María Auxiliadora de Caldas, Antioquia Rainwater system proposal as an alternative to save drinking water in the educa. *Red de Revistas Científicas de América Latina, El Caribe, España y Portugal*, 13(2), 25–39.

Pérez-Vidal, A., Díaz-Gómez, J., Salamanca-Rojas, K. L., & Rojas-Torres, L. Y. (2016). Evaluación del tratamiento de agua para consumo humano mediante filtros Lifestraw® y olla Cerámica. *Revista de Salud Pública*, 18(2), 275–289.
<https://doi.org/10.15446/rsap.v18n2.48712>

Q-IDEA. (2021). *¿Qué es un sistema hidrosanitario?*. <https://qidea.com.mx/que-es-un->

[sistema-hidrosanitario/](#)

Rain Gutters Solution. (2021). *¿Cuáles son los mejores tipos de canaletas para lluvia?*. <https://esp.raingutterssolution.com/blog/cuales-son-los-mejores-tipos-de-canaletas-para-lluvia/>

Rotoplast. (2021). Tanques Rotoplast y Acuaplast. <https://www.rotoplast.com.co/tanques-rotoplast-y-acuaplast/>

Su, J. J., Huang, J. F., Wang, Y. L., & Hong, Y. Y. (2018). Treatment of duck house wastewater by a pilot-scale sequencing batch reactor system for sustainable duck production. *Poultry Science*, 97(11), 3870–3877. <https://doi.org/10.3382/ps/pey251>

Torres-Parra, C. A., García-Ubaque, C. A., García-Ubaque, J. C., García-Vaca, M. C., & Pacheco-García, R. (2017). Safe water for rural communities from an alternative filtration system. *Revista de Salud Pública*, 19(4), 453–459. <https://doi.org/10.15446/rsap.v19n4.56039>

Zhang, L., Njepu, A., & Xia, X. (2021). Minimum cost solution to residential energy-water nexus through rainwater harvesting and greywater recycling. *Journal of Cleaner Production*, 298, 126742. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126742>