

Diseño de un Sistema de Aprovechamiento de Aguas Lluvia con Fines Productivos en una
Vivienda Rural de la Vereda Garbanzal

Sammy Alexander López Santos, Jhoam Felipe Toledo Villamizar

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniero Civil

Directora

Isabel Cristina Domínguez Rivera

Ph.D. en Desarrollo Rural con énfasis en Gestión del Agua

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas

Escuela de Ingeniería Civil

Bucaramanga

2023

Dedicatoria

A cada una de las personas que ha aportado positivamente en mi formación como profesional: familia, amigos y profesores. Especialmente a mis padres y padrinos que permitieron mediante su apoyo incondicional que fuera posible culminar esta meta.

Sammy Alexander López Santos

Para mi familia, especialmente mis padres que siempre confiaron en mí, a mis amigos que me ayudaron a alcanzar esta meta y a mi novia que fue mi apoyo incondicional en los momentos más importantes de este proceso.

Jhoam Felipe Toledo Villamizar

Agradecimientos

Los autores expresan sus agradecimientos a la profesora Isabel Domínguez por su apoyo y constante orientación, en su cargo como directora del presente proyecto de investigación y por los conocimientos impartidos como docente de pregrado.

Contenido

	Pág.
Introducción	11
1. Marco Teórico.....	13
2. Metodología	15
2.1 Características In Situ	15
2.1.1 Zona de Estudio	16
2.1.2 Obtención Datos Característicos Vivienda Tipo.....	17
2.1.3 Selección de Cultivos en Zona de Estudio.....	17
2.1.4 Condiciones Climáticas	18
2.2 Oferta Hídrica	18
2.2.1 Precipitación	18
2.2.2 Intensidad de la Lluvia.....	19
2.2.3 Estimación del Tiempo de Concentración	19
2.3 Requerimientos Hídricos para Usos Productivos	19
2.3.1 Recopilación de Datos de Demanda para los Animales Dentro de Vivienda Tipo.	19
2.3.2 Obtención de Requerimiento de Agua para Cultivos por Medio de CROPWAT.	20
2.3.3 Datos del Cultivo	20
2.3.4 Precipitación Efectiva	21
2.3.5 Requerimiento de Agua	21
2.4 Dimensionamiento de los Componentes del SAALL.....	22
2.4.1 Módulo de Captación.....	22
2.4.2 Módulo de Conducción.....	22

DISEÑO DE UN SISTEMA DE APROVECHAMIENTO DE AGUAS LLUVIA	5
2.4.3 Tanque de almacenamiento.....	23
2.4.4 Módulo de Tratamiento.....	25
2.4.5 Riego	26
2.5 Estimación de Costos para la Implementación del Sistema.....	26
3. Resultados y Discusión.....	27
3.1 Vivienda Tipo	27
3.2 Oferta	27
3.3 Demanda de Agua en la Zona de Estudio.....	28
3.4 Dimensiones.....	29
3.4.1 Módulo de Captación.....	30
3.4.2 Módulo de Conducción.....	31
3.4.3 Tanque de Almacenamiento	32
3.4.4 Módulo de Tratamiento.....	35
3.4.5 Módulo de Riego.....	36
3.5 Costos del Sistema	37
4. Conclusiones	38
Referencias Bibliográficas	40

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. <i>Ubicación de la Vereda Garbanzal, Municipio de Los Santos.</i>	17
Figura 2. <i>Valores de Precipitación Promedio en Periodos de Diez Días Multianual entre los años 2011-2021.</i>	28
Figura 3. <i>Requerimientos de Agua para Usos Productivos para el Caso de Cultivo de Frijol. .</i>	28
Figura 4. <i>Requerimientos de Agua para Usos Productivos para el Caso de Cultivo de Tomate</i>	29
Figura 5. <i>Modelo del Sistema de Recolección de Agua Lluvia.</i>	29
Figura 6. <i>Eficiencia del Tanque de Almacenamiento.</i>	34
Figura 7. <i>Comparación de las Diferentes Eficiencias para el Frijol.</i>	34
Figura 8. <i>Comparación de las Diferentes Eficiencias para el Tomate.</i>	35

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. <i>Características para cada Cultivo Seleccionado en el Caso de Estudio.....</i>	21
Tabla 2. <i>Variables Usadas para la Determinación del Caudal de Agua Recolectada por la Superficie de Captación.....</i>	31
Tabla 3. <i>Dimensiones de la Canaleta en el Módulo de Conducción.....</i>	31
Tabla 4. <i>Revisiones de Velocidad y Esfuerzo Cortante en la Canaleta.....</i>	32
Tabla 5. <i>Dimensiones de Bajante para el Módulo de Conducción.....</i>	32
Tabla 6. <i>Valores de Oferta y Requerimientos de Agua.....</i>	33
Tabla 7. <i>Componentes Propuestos para el Módulo de Tratamiento.....</i>	36

Lista de Apéndices

	Pág.
Apéndice A. <i>Datos Climáticos</i>	45
Apéndice B. <i>Curva IDF</i>	46
Apéndice C. <i>Valores de demanda de agua debida a animales</i>	47
Apéndice D. <i>Características de cultivo</i>	48
Apéndice E. <i>Componentes de SAALL</i>	49
Apéndice F. <i>Valores de coeficiente de escorrentía</i>	50
Apéndice G. <i>Accesorios para canaletas y bajantes</i>	51
Apéndice H. <i>Dimensiones para canaletas</i>	53
Apéndice I. <i>Dimensiones para bajantes</i>	54
Apéndice J. <i>Dimensiones de tanque de almacenamiento</i>	55
Apéndice K. <i>Desviador de primer flujo</i>	56
Apéndice L. <i>Factores para seleccionar el método de riego</i>	57
Apéndice M. <i>Métodos de riego</i>	58
Apéndice N. <i>Ventajas y desventajas en métodos de riego</i>	61
Apéndice O. <i>Componentes del sistema de riego</i>	62
Apéndice P. <i>Cotizaciones tipo</i>	65
Apéndice Q. <i>Análisis precio unitario</i>	67
Apéndice R. <i>Presupuesto</i>	68

Resumen

Título: Diseño de un Sistema de Aprovechamiento de Aguas Lluvia con Fines Productivos en una Vivienda Rural de la Vereda Garbanzal*

Autores: Sammy Alexander López Santos, Jhoam Felipe Toledo Villamizar**

Palabras Clave: Aprovechamiento de agua lluvia, Abastecimiento de agua rural, Dimensionamiento de tanque, Agua para fines productivos.

Descripción

La implementación de sistemas de aprovechamiento de aguas lluvia (SAALL) en zonas rurales es una solución adecuada para abordar el problema de escasez en la disponibilidad de agua. Los SAALL han sido ampliamente aplicados en distintos contextos con condiciones in situ características, muchos de ellos diseñados empíricamente lo que acarrea funcionamientos inadecuados, ya sea por la falta de componentes dentro del sistema o la falta de herramientas que briden criterios para el diseño para evitar dimensionamientos ineficaces. Este estudio tiene como objetivo proponer el diseño de un sistema de aprovechamiento de aguas lluvias para fines productivos en la vereda de Garbanzal (Santander – Colombia), considerando las características de una vivienda tipo dentro de la vereda. Para ello se siguió una metodología en cada parte del diseño y se presentan las dimensiones de cada componente dentro de cinco módulos identificados: captación, conducción, almacenamiento, tratamiento y riego. El sistema propuesto está constituido por un área de captación de zinc de 100 m², canaletas, bajantes, un tanque de 1000L, dotado de un desviador de primeras aguas, un filtro y un sistema de riego a baja presión con un costo de inversión de \$1.547.030 COP. Este sistema permite que una familia cultive durante el año frijol y tomate en un área de 150 m² y mantenga 20 gallinas. El sistema diseñado es adecuado para satisfacer la demanda de agua para actividades productivas de pequeña escala de una familia típica de Garbanzal y, por lo tanto, podría convertirse en una solución con potencial para apoyar los medios de sustento de las personas en esta zona con escasez de agua.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías Físicomecánicas, Escuela de Ingeniería Civil. Directora: Isabel Cristina Domínguez Rivera, Ph.D. en Ingeniería Sanitaria

Abstract

Title: Design of a System for the Use of Rainwater for Productive Purposes in a Rural House in the Vereda Garbanzal*

Authors: Sammy Alexander López Santos, Jhoam Felipe Toledo Villamizar**

Keywords: Rainwater Harvesting, Rural water supply, Tank sizing, Productive uses of water.

Description

The implementation of rainwater harvesting systems (RWHS) in rural areas is an appropriate solution to address water scarcity. RWHS have been widely applied in different settings according to contextual features, many of them designed empirically, which leads to inadequate performance, either due to the lack of components within the system or to the lack of tools that provide design criteria to avoid inefficient sizing. The objective of this study is to propose the design of a rainwater harvesting system for productive uses in Garbanzal (Santander – Colombia), considering the characteristics of a typical house in the area. For this purpose, a methodology was followed in each part of the design and the dimensions of each component are presented within five modules: collection, conduction, storage, treatment and irrigation. The proposed system consists of a 100 m² zinc catchment area, gutters, downspouts, a 1000L tank, equipped with a first water diverter, a filter, and a low-pressure irrigation system with an investment cost of \$1.547.030 COP. This system allows a family to grow beans and tomatoes throughout the year in an area of 150 m² and keep 20 chickens. The designed system is adequate to satisfy the water demand for small-scale productive activities of a typical Garbanzal family, and therefore, it could become a solution with potential to support the livelihoods of people in this water-scarce area.

* Degree work

** Faculty of Physical-Mechanical Engineering, School of Civil Engineering. Director: Isabel Cristina Domínguez Rivera, Ph.D. in Sanitary Engineering

Introducción

La demanda de agua es un apartado importante para el desarrollo de la vida humana en todo el mundo debido a que es indispensable para su supervivencia y además es necesaria para el desarrollo socio económico de algunas comunidades, que usan este recurso para actividades relacionadas con la siembra y cultivo de la cual también se ven beneficiados los humanos para su alimentación. Sin embargo, existen algunas regiones en las que el agua es escasa lo que conlleva problemas para la población del lugar, afectando la salud humana y los medios de sustento (Berger & Finkbeiner, 2010).

Una solución con potencial para el problema de escasez del recurso hídrico es el agua lluvia debido a que su captación es sencilla y relativamente barata porque consiste solo en una superficie que dirija la escorrentía hasta el lugar de almacenamiento, donde se dará su uso final y no requiere una extracción, distribución y bombeo previo para transportarla al área de suministro. Sin embargo, se debe tener en cuenta que la obtención del recurso mediante este método se genera solamente en las temporadas de lluvia de la zona en donde se implemente y es variable en cada una de ellas (Rojas-Valencia, Gallardo-Bolaños, & Martínez-Coto, 2012)).

La escasez de agua por falta de acueducto es un problema constante que se agrava en épocas de sequía en algunas veredas en la zona rural. Esta problemática se vive en la vereda Garbanzal, del municipio de Los Santos, Santander donde debido a la escasez, en algunos casos el transporte de agua en carro tanques es la única solución disponible, generando unos gastos elevados que debe cubrir la alcaldía del municipio y presentándose de forma intermitente (Castro, 2017). Esta situación ha llevado a que los habitantes de la vereda tengan restricciones para desarrollar sus actividades productivas de cultivo y cría de animales de forma constante a lo largo del año, al tiempo que han implementado de manera empírica sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias

como estrategia para enfrentar esas restricciones (Chaparro & Briceño, 2020)

Este proyecto propone el diseño de un sistema de aprovechamiento de aguas lluvias (SAALL) para fines productivos en la vereda de Garbanzal, integrando el saber local con criterios técnicos, para plantear mejoras a los sistemas existentes, de tal manera que los habitantes de la vereda tengan nuevos conocimientos y herramientas para mejorar los sistemas existentes, y que puedan desarrollar en mejores condiciones de acceso al agua sus actividades productivas de pequeña escala. Para esto, el proyecto se desarrolló en cuatro etapas que van desde el reconocimiento de la zona de estudio, estimaciones del déficit de agua basados en las dotaciones necesarias para los diferentes cultivos y animales presentes en las fincas, el dimensionamiento de los componentes del sistema según el volumen de agua requerido, y por último la estimación del costo que tendría la implementación de este sistema.

1. Marco Teórico

La captación y aprovechamiento de agua lluvia para fines productivos es utilizada en países alrededor del mundo con diferentes niveles de desarrollo, orientados a diferentes propósitos, según las características in situ.

En China, los SAALL se consideran una propuesta interesante para que los campesinos cuenten con agua de manera continua y a un menor costo en comparación con un sistema de abastecimiento centralizado. Por ello, los gobiernos y algunos entes privados han respaldado la financiación de alternativas de esta índole (Liang & Van Dijk, 2011). Por otra parte, en Kenia, el gobierno y agencias de desarrollo han hecho intervenciones para promover los SAALL, creando programas de riego doméstico y almacenamiento de agua. No obstante, el desempeño ha sido deficiente por lo que se han estudiado formas de optimización (Odhiambo, Iro Ong'or, & Kanda, 2021). En Tanzania instituciones gubernamentales han apoyado proyectos para mejorar la sostenibilidad de SAALL para garantizar la eficiencia en la cosecha de los cultivos en un contexto de sequías generalizadas (Pachpute, Tumbo, Sally, & Mul, 2009). A escala de África, se han realizado estudios para determinar en cuales áreas debe priorizarse el uso de los SAALL y cuál es la brecha de rendimiento en los cultivos de los países que lo implementan (Lebel, Fleskens, Forster, Jackson, & Lorenz, 2015). Por su parte, en Grecia se han llevado a cabo análisis de la confiabilidad que tienen los tanques de almacenamiento de los SAALL para el riego de hortalizas y plantas florales/ornamentales en un área específica de cultivo (Londra, Kotsatos, Theotokatos, Theocharis, & Dercas, 2021).

Para cumplir los objetivos de las respectivas investigaciones desarrolladas en los artículos se recogió información de diferentes tipos. Por ejemplo, en China y Grecia se hizo uso de estaciones pluviométricas para obtener datos de precipitación en periodos de tiempo determinado.

Además de esta información se usaron también datos de ahorro energético para bombear agua y necesidades hídricas de los cultivos en donde se usan los SAALL respectivamente en cada país (Liang & Van Dijk, 2011), (Londra, Kotsatos, Theotokatos, Theocharis, & Dercas, 2021). También se usaron fuentes bibliográficas para recopilar información que fuera de utilidad en el desarrollo de cada investigación como es el caso de Kenia, donde se consultaron las técnicas usadas para el desarrollo de SAALL por pequeños agricultores en el país y en Tanzania, donde usando la Base de datos de información mundial sobre suelos del Centro Internacional de Referencia e Información sobre Suelos (ISRIC), se determinó el uso del suelo para la zona de estudio, combinado con encuestas a los residentes para obtener datos socioeconómicos de las personas (Odhiambo, Iro Ong'or, & Kanda, 2021), (Lebel, Fleskens, Forster, Jackson, & Lorenz, 2015).

Otra fuente importante de información son los servicios meteorológicos nacionales de cada país de los cuales se obtuvieron datos del clima para las zonas donde funcionen los SAALL, este es el caso de Grecia y Tanzania (Pachpute, Tumbo, Sally, & Mul, 2009), (Londra, Kotsatos, Theotokatos, Theocharis, & Dercas, 2021). Posteriormente el uso de ecuaciones empíricas en Reino Unido para obtener relaciones óptimas entre la cuenca de captación y el área de cultivo (Lebel, Fleskens, Forster, Jackson, & Lorenz, 2015). En el caso de Grecia, se recolectó información de las precipitaciones de manera diaria por varios años, mientras en China se obtuvieron promedios cada diez años con el fin de evaluar la disminución de las cantidades de lluvia (Liang & Van Dijk, 2011), (Londra, Kotsatos, Theotokatos, Theocharis, & Dercas, 2021). En Tanzania se hicieron encuestas por sectores, dependiendo de la ubicación respecto a la cuenca, y se determinó la demanda de agua para cada caso (Pachpute, Tumbo, Sally, & Mul, 2009).

Finalmente, se obtuvieron resultados distintos en cada investigación debido a sus objetivos, lugar de estudio y tipo de datos recogidos. Para China se obtuvo que la implementación de un

SAALL es viable siempre y cuando se haga un tanque de almacenamiento capaz de suplir a varias viviendas, de esta forma además de reducir costos se está generando empleo para los operarios (Liang & Van Dijk, 2011). En Tanzania se determinó la demanda diaria de agua por vivienda teniendo en cuenta la cantidad de personas, los animales y los cultivos, con base en esto se obtuvo el tamaño óptimo del tanque de almacenamiento que pueda cubrir la demanda de agua para los periodos de sequía (Pachpute, Tumbo, Sally, & Mul, 2009). En Kenia se obtuvieron pautas para diseños futuros de SAALL óptimos que solucionen las deficiencias existentes y que serán usados para riego de cultivos por pequeños agricultores (Odhiambo, Iro Ong'or, & Kanda, 2021). En Grecia se obtuvieron curvas de confiabilidad en función del volumen de los tanques (cubiertos y descubiertos) usados para almacenamiento de aguas lluvias y el área de recolección para el cual serán usados (Londra, Kotsatos, Theotokatos, Theocharis, & Dercas, 2021).

2. Metodología

Para la realización de este proyecto se consultaron documentos relacionados con el diseño de SAALL y se seleccionaron los más relevantes, este proyecto está compuesto por cuatro partes que son la oferta de agua, los requerimientos, que están relacionados con la demanda de agua para los cultivos y los animales, el dimensionamiento de los componentes y por último la estimación de los costos. A continuación, se presentan cada una de esas fases y la manera en cómo se llevaron a cabo:

2.1 Características In Situ

Las propiedades específicas de un lugar hacen que los resultados para este proyecto varíen, por eso para determinar la oferta hídrica primero es necesario conocer algunas propiedades de la zona de estudio, desde su ubicación, la variación del clima hasta los tipos de cultivos que allí se

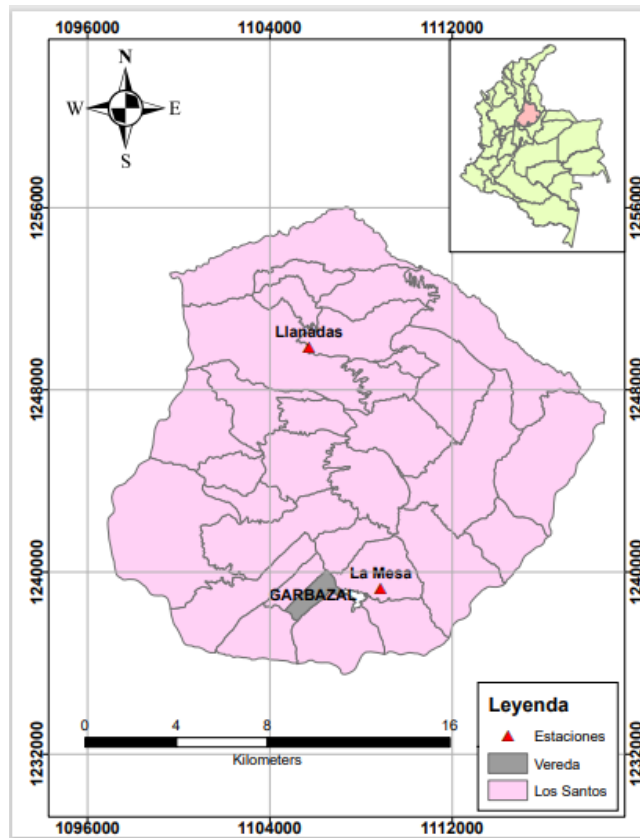
van a implementar. A continuación, se presentan de manera más detallada las principales características del lugar en el que se realizó el diseño:

2.1.1 Zona de Estudio

La zona de estudio que fue escogida para este proyecto corresponde a la vereda Garbanzal, ubicada en Los Santos, Santander (figura 1). El motivo por el cual se eligió este lugar, es debido a que el Grupo de Investigación en Recursos Hídricos y Saneamiento Ambiental (GPH) de la Universidad Industrial de Santander desde el 2019 realiza el proyecto de investigación “Estudio Integral del Agua en la Mesa de los Santos”, el cual, es financiado por la Vicerrectoría de Investigación y Extensión de la UIS, donde se está estudiando el aprovechamiento de Aguas Lluvias en esta vereda, teniendo en cuenta diferentes aspectos (técnicos, social, económico). Como parte de estas investigaciones, en el año 2021 se realizaron 29 encuestas a habitantes del sector acerca de la aceptación social de los SAALL en la vereda (Chaparro & Briceño, 2020), adicional a esto, se instalaron estaciones pluviométricas en el sector desde septiembre del año 2020 por parte del GPH, en esta vereda se implementan actividades productivas a pequeña escala, como la siembra y la crianza de animales, es de aclarar que el diseño que se realizó está enfocado en suplir únicamente las necesidades de este tipo.

Figura 1.

Ubicación de la Vereda Garbanzal, Municipio de Los Santos.



Nota. Tomado de Chaparro y Briceño (2021)

2.1.2 Obtención Datos Característicos Vivienda Tipo

Los datos característicos de la vivienda tipo sobre la cual se realizó el diseño del SAALL se obtuvieron de estudios realizados previamente en la zona del proyecto por el grupo GPH (Prieto, 2023). De estos estudios se obtuvo la cantidad y el tipo de animales presentes como también el área y tipo de cultivos para usos productivos.

2.1.3 Selección de Cultivos en Zona de Estudio

Por medio de encuestas realizadas previamente (Prieto, 2023), se conoce que en la zona de estudios se realizan cultivos determinados (mango, maíz, aguacate, yuca, etc.). Para el presente caso de estudio se quiso determinar la viabilidad de cultivo de otro tipo de plantas distintas a las

que se tienen actualmente. Por esto, se realizó la selección de cultivos teniendo en cuenta información oficial consignada en herramientas de planeación del municipio de Los Santos (Alcaldía Municipal de Los Santos, 2022). Es de aclarar que se usó un cultivo para cada semestre del año.

2.1.4 Condiciones Climáticas

La información requerida respecto a la información climática de la zona del proyecto fue suministrada por el GPH (Prieto, 2023), que cuenta con una estación meteorológica instalada en la Mesa de los Santos. Los datos utilizados fueron temperatura máxima y mínima, horas de insolación, humedad relativa y velocidad del viento. Para cada uno de estos parámetros se usaron promedios mensuales multianuales que sirvieron como datos de entrada para los posteriores cálculos del requerimiento de agua.

2.2 Oferta Hídrica

La oferta hídrica es la cantidad de agua disponible a partir de la precipitación. A continuación, se presenta como se obtuvo la cantidad de agua disponible en la zona de estudio y como se calculó el caudal de diseño:

2.2.1 Precipitación

Se obtuvieron datos de precipitación diaria, recuperados de la la página web del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) (2023). Para esto, se filtró la información por día pluviométrico y se utilizó la estación LA MESA por su cercanía a la zona del proyecto. Esta estación cuenta con registros desde 1973. Sin embargo, solo se descargó información desde el año 2011 hasta el 2021 debido a que, un estudio reciente (Prieto, 2023), evidenció una disminución en la oferta hídrica en el área de estudio. Por lo tanto, se decidió trabajar con este periodo de diez años ya que, proporcionaría un diseño más acorde a la situación actual en

la que se cuenta con menos agua disponible en comparación con el histórico.

2.2.2 Intensidad de la Lluvia

Para obtener el valor de escurrentía es necesario conocer la intensidad de lluvia en la zona de estudio. Teniendo en cuenta que, el IDEAM no cuenta con información disponible de la intensidad de la lluvia para la Mesa de los Santos, se decidió trabajar con las curvas IDF (Intensidad – Duración – Frecuencia) de la estación El Cucharó (Pinchote) (IDEAM, 2023) debido a su cercanía con la zona del proyecto. Para el periodo de retorno se usaron los criterios estipulados en el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS) (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Económico, 2000), estimando un periodo de retorno de 3 años.

2.2.3 Estimación del Tiempo de Concentración

Se realizó la estimación el tiempo de concentración que, según la norma NS – 085 (EAAB) (EAAB, 2009), no puede ser inferior a 15 minutos, se usó este valor puesto que para calcular este tiempo por algún método matemático es necesario información de la cual no se dispone, como el área de la cuenca, las cotas inicial y final del cauce principal. Por lo tanto, con este valor sugerido por la norma se procedió a encontrar el caudal de diseño.

2.3 Requerimientos Hídricos para Usos Productivos

Los requerimientos de agua en el proyecto serán usados únicamente para usos productivos, esto quiere decir que solo se tuvo en cuenta la demanda de agua de los cultivos y los animales para la vivienda tipo, a continuación, se presenta como se obtuvo esta información y la implementación del software CROPWAT para estimar estos resultados:

2.3.1 Recopilación de Datos de Demanda para los Animales Dentro de Vivienda Tipo.

Conociendo previamente la cantidad y el tipo de animal para vivienda tipo se realizó la determinación de la demanda hídrica consultando el documento Captación y almacenamiento de

agua de lluvia de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, que proporciona la cantidad de litros diarios necesarios para el consumo animal por especie (FAO, 2013).

2.3.2 Obtención de Requerimiento de Agua para Cultivos por Medio de CROPWAT.

Para la obtención de la demanda de agua de los cultivos en el presente caso de estudio, se hizo uso del programa CROPWAT que es un software desarrollado por la FAO y que permite conocer los requerimientos de agua de las diferentes plantaciones. La aplicación CROPWAT realiza el análisis de los requerimientos de agua basándose en datos climatológicos y características específicas según el tipo de cultivo para lo cual se buscó la siguiente información:

2.3.3 Datos del Cultivo

Se seleccionaron dos diferentes tipos de cultivos para generar distintos escenarios de SAALL. Los cultivos considerados fueron: Frijol y tomate, debido a que son comúnmente sembrados en este sector. Se obtuvo la información de los cultivos necesaria para calcular los requerimientos de agua: i) duración de la etapa de crecimiento, donde se consideraron las etapas iniciales (INIT), desarrollo (DEVE), media (MID) y final (LATE) en días; ii) coeficiente de cultivo K_c ; iii) profundidad de raíces (D); iv) factor de reducción de rendimiento K_y ; y v) la altura promedio del cultivo (Arteaga, 2011). Estos datos fueron obtenidos en las partes B y C del manual Evapotranspiración del Cultivo: Guías Para Determinación de los Requerimientos de Agua de los Cultivos (Estudios FAO: Riego y Drenaje) (FAO, 2006), como se puede ver en la Tabla 1 (FAO, 2006).

Tabla 1.

Características para cada Cultivo Seleccionado en el Caso de Estudio.

	Duración etapas de cultivo (días)				Valores de Kc				Profundidad radicular máxima (m)	Fracción de agotamiento
	Inic	Des	Med	Fin	Kcini	Kcmed	Kcfin	Alt max(m)		
Tomate	30	40	40	25	1	1,2	0,8	0,6	0,7-1,5	0,4
Frijol	20	30	40	20	0,4	1,15	0,35	0,4	0,6-0,9	0,45

Nota. Tomado de: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. FAO, 2006

2.3.4 Precipitación Efectiva

A partir de los datos de precipitación mensual promedio de los diez años para los cuales se escogió el diseño, CROPWAT entregó la precipitación efectiva, la cual se puede calcular con varios métodos. En este caso se usó el método del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) que fue desarrollado a partir de balances hídricos, relacionándose los ingresos de agua por precipitación con las salidas por escurrimiento superficial y percolación, así como el agua retenida en la zona radicular para varios cultivos (Villazón Gómez, Noris, & Martín Gutiérrez, 2021).

2.3.5 Requerimiento de Agua

Haciendo uso de la herramienta RAC en el software CROPWAT, se obtuvo el requerimiento hídrico para cada cultivo en milímetros por década - cada diez días [mm/dec]. Estos resultados de déficit son para un área de cultivo de 1 [m²]. A partir de estos valores, se calcula la demanda de agua según el tipo de plantación. Finalmente, se calculó la cantidad de agua requerida de manera diaria tanto para los animales como para los cultivos y se sumaron para obtener la demanda total de agua.

2.4 Dimensionamiento de los Componentes del SAALL

Con la información recopilada en las fases anteriores, se realizó el dimensionamiento de cada componente del sistema: captación; conducción; tanque de almacenamiento; tratamiento; y distribución. A continuación, se describe el procedimiento para el dimensionamiento de estos componentes:

2.4.1 Módulo de Captación

El área de captación del sistema es el techo de la vivienda, donde se consideraron las dimensiones y materiales típicos recomendados por la literatura (WASH Institute, 2016). Se tuvo en cuenta criterios como impermeabilidad y uniformidad. Con base en estos, se determinó el factor de escorrentía, con base en los valores encontrados en la literatura (FAO, 2013). Luego, se realizó el cálculo del caudal de escorrentía de agua lluvia mediante el método simplificado (ver Ecuación 1) (FAO, 2013).

$$Q = C * I * A \quad (1)$$

Donde: Q es la caudal de agua recolectada [m^3/s], C es el coeficiente de escorrentía (ver anexo: Apéndice F), I es la intensidad de lluvia media anual [m/s] y A es el área de captación en [m^2].

2.4.2 Módulo de Conducción

Se configuró el módulo de conducción por medio de tres partes: las canaletas que están fijadas en el borde del techo alrededor de donde se recolecta el agua lluvia para su posterior transporte (WASH Institute, 2016), los bajantes ubicados en el punto de salida de la canaleta (Texas Water Development Board, 2005) y accesorios que son necesarios tanto para la conexión al bajante en la salida de la canaleta como en el desviador del primer flujo y además en la conducción hasta el tanque de almacenamiento (Gutiérrez, 2021). Pueden ser conexiones Y o T y

también codos a 45° o 90° como se presenta en la Norma Técnica Colombiana 1341 (ICONTEC, 2006).

Se determinó las dimensiones de la canaleta teniendo en cuenta los parámetros recomendados por Villazón Gómez et al. (Villazón Gómez, Noris, & Martín Gutiérrez, 2021) y haciendo uso de la ecuación de Manning (Pérez Carmona, 2010):

$$Q = \frac{A * R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}}}{n} \quad (2)$$

Donde: Q es el caudal de agua lluvia recolectada [m³/s], A es el área de la sección transversal de la canaleta[m²], R es el radio hidráulico de la sección transversal de la canaleta[m], S es la pendiente de la línea de agua que se desplaza a través de la canaleta[m/m] y n es el coeficiente de rugosidad de Manning del material de la superficie.

La geometría y dimensión de los bajantes se seleccionó según la norma NTC 1500 y teniendo en cuenta el caudal que debe ser transportado (ICONTEC, 2020).

También se comprobó los valores que se presentan para velocidad terminal (Vt) y la longitud terminal (Lt) dentro del tramo con el fin de asegurar que no se producirán daños a los accesorios que reciben el flujo estos se expresan por medio de las siguientes ecuaciones (Pérez Carmona, 2010).:

$$Vt = 2.76 \left(\frac{q}{d} \right)^{0.4} \quad (3)$$

$$Lt = 0.17 * Vt^2 \quad (4)$$

Donde: Vt es la velocidad terminal[m/s], q es el caudal [L/s], d el diámetro del bajante [pulg] y Lt es la longitud terminal.

2.4.3 Tanque de almacenamiento

Para el dimensionamiento del tanque se tuvieron en cuenta: la precipitación de la zona, la demanda de agua de las actividades para las que será usada el agua lluvia, la temporada de sequía

proyectada in situ, el área de captación, presupuesto entre otros (Texas Water Development Board, 2005). La capacidad de almacenamiento se calculó realizando un balance hídrico entre la oferta de agua y la demanda para determinar la capacidad de almacenamiento y a su vez establecer un margen de seguridad, dimensionar para un caso crítico (Texas Water Development Board, 2005).

Para determinar las dimensiones del tanque se hizo uso de tres métodos con un enfoque de balance de masa, cada uno de ellos con sus respectivas ecuaciones de balance hídrico cuyos nombres son YAS, YBS y una forma general para la variable THETA (Fewkes, 1999).

Método YAS: en este método la escorrentía de agua de lluvia en el intervalo de tiempo actual se agrega luego al volumen de agua de lluvia almacenada del intervalo de tiempo anterior con cualquier exceso que se derrame a través del desbordamiento y luego se resta el rendimiento.

$$V_t = \min \left\{ \begin{array}{l} V_{t-1} + Q_t - Y_t \\ S - Y_t \end{array} \right. \quad (5)$$

$$Y_t = \min \left\{ \begin{array}{l} D_t \\ V_{t-1} \end{array} \right. \quad (6)$$

Método YBS: en este método la escorrentía de agua de lluvia en el intervalo de tiempo actual se agrega luego al volumen de agua de lluvia almacenada del intervalo de tiempo anterior antes de restar el rendimiento y permitir que cualquier exceso se derrame a través del desbordamiento.

$$V_t = \min \left\{ \begin{array}{l} V_{t-1} + Q_t - Y_t \\ S - Y_t \end{array} \right. \quad (7)$$

$$Y_t = \min \left\{ \begin{array}{l} D_t \\ V_{t-1} + Q_t \end{array} \right. \quad (8)$$

Método Theta (θ): en este método θ es un parámetro entre 0 y 1. Si $\theta = 0$, el algoritmo es YAS y si $\theta = 1$ el algoritmo es YBS, este es un intermedio entre los métodos anteriores y θ toma un valor de 0.5.

$$V_t = \min \left\{ \begin{array}{l} (V_{t-1} + Q_t - \theta * Y_t) - (1 - \theta) * Y_t \\ S - (1 - \theta) * Y_t \end{array} \right. \quad (9)$$

$$Y_t = \min \left\{ \begin{array}{l} D_t \\ V_{t-1} + \theta * Q_t \end{array} \right. \quad (10)$$

Además de realizar los balances con los tres métodos citados, se calculó la eficiencia de ahorro de E_T (Dixon, Butler, & Fewkes, 1999), que representa la cantidad de agua que se ha conservado en comparación con la demanda total y se define según la ecuación 11:

$$E_T = \frac{\sum_{t=1}^T Y_T}{\sum_{t=1}^T D_T} * 100 \quad (11)$$

Donde: Q_t es la escorrentía de agua de lluvia [m3] durante el intervalo de tiempo t , V_t es el Volumen almacenado [m3] durante el intervalo de tiempo t , Y_t es el rendimiento del almacenamiento [m3] durante el tiempo intervalo t , D_t es la Demanda [m3] durante el intervalo de tiempo t , S es la Capacidad de almacenamiento [m3] y T es el tiempo total que se tiene en cuenta.

Por medio de este criterio fue posible realizar una comparación entre los métodos y se determinó cual presentaba la mayor eficiencia de ahorro de agua para el tanque de almacenamiento y la respectiva capacidad seleccionada. (Ver anexo: Dimensionamiento componentes.)

2.4.4 Módulo de Tratamiento

Se diseñó un módulo de tratamiento sencillo y que remueve únicamente partículas de un tamaño considerable, puesto que no se necesita garantizar la disposición de agua para consumo humano y únicamente su finalidad será cumplir con los requerimientos de uso productivo.

El módulo se compone de un desviador de primer flujo que se encarga de conducir el primer flujo de agua proveniente de la captación a un lugar alejado del tanque de almacenamiento. El desviador de primer flujo más simple es un tubo vertical de PVC, el cual se llena de agua al principio de un evento de lluvia y el resto del agua se dirige a el tanque. Para el dimensionamiento de este componente se tuvo en cuenta la recomendación de redireccionar entre uno a dos galones

de agua por cada 100 pies cuadrados de área de recolección disponible para el sistema (WASH Institute, 2016). Además, se dimensionó una unidad de filtración sencilla usada para remover partículas suspendidas provenientes del agua lluvia recolectada.

2.4.5 Riego

Se propuso la implementación de un sistema de riego, acorde a las condiciones en la zona, teniendo en cuenta que, actualmente en la zona de estudio se realiza el riego de los cultivos de forma manual y la implementación de riego facilitaría las actividades del cultivo y mejoraría la eficiencia en el uso del agua (FAO, 2006). Por lo tanto, existen distintos métodos de riego, el más sencillo es realizarlo de forma manual transportando el agua en un recipiente, pero también existen otros métodos básicos: riego por superficie, riego por aspersión y riego por goteo (FAO, 1985). (Briceño & Álvarez, 2012). En el presente estudio se realizó la selección del método de riego teniendo en cuenta la disponibilidad de agua in situ y las condiciones económicas de los habitantes de la vivienda tipo. Además, se consideraron las ventajas y desventajas de los diferentes sistemas de riego expuestos en Carrazón (Carrazón, 2007). Una vez seleccionado el método se siguieron los pasos propuestos en la guía de instalación y uso de micro riego de baja presión. (IICA, 2013), que brinda una solución de implementación de riego para condiciones similares a las del caso de estudio.

2.5 Estimación de Costos para la Implementación del Sistema

Como resultado del dimensionamiento y configuración del sistema fue posible conocer la cantidad y el tipo de materiales necesarios en cada módulo. Con esta información, se consultó a diferentes proveedores cercanos a la zona del proyecto que tuviera la disponibilidad de estos según cantidad, dimensiones y tipo de material necesario; en caso de falta de disponibilidad en algún componente se consultó en almacenes de grandes superficies como Homecenter el costo de los

materiales. Se solicitaron cotizaciones para los insumos y para la mano de obra relacionada con la instalación del sistema. Además, se buscó información en la página web de Construdata (Construdata, 2023), en su apartado “Presupuestar”. Una vez se determinaron los costos de materiales y mano de obra se desarrolló un análisis de precios unitarios (INVIAS, 2023). Finalmente, se realizó un presupuesto total para la construcción del sistema teniendo en cuenta los costos que conlleva la realización de las actividades constructivas que contribuyen a la ejecución del proyecto de implementación del SAALL.

3. Resultados y Discusión

A continuación, se presentan los resultados obtenidos para cada una de las fases del proyecto, es de aclarar que estos están enfocados en un modelo a pequeña escala solo para actividades productivas de la vivienda tipo para la vereda Garbanzal.

3.1 Vivienda Tipo

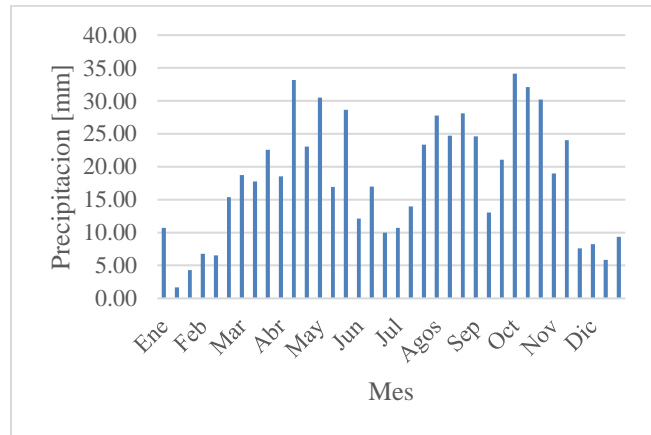
Las características principales de la vivienda tipo son: cuatro residentes, 100 [m²] de área de techo de lámina de Zinc, 105 [m²] de cultivo de frijol y tomate, para cada semestre del año respectivamente y 20 gallinas.

3.2 Oferta

La figura 2 muestra los valores de precipitación promedio mensual para la zona de estudio, donde se puede observar que los meses de enero, febrero junio y julio son los meses más secos del año. Estos meses coinciden con las fechas de inicio de los cultivos que justamente son las épocas en las que se tiene el menor requerimiento de agua. Por el contrario, los meses en que más llueve son abril, mayo, octubre y noviembre que son las fechas para las cuales los cultivos están a punto de cosechar.

Figura 2.

Valores de Precipitación Promedio en Periodos de Diez Días Multianual entre los años 2011-2021.



3.3 Demanda de Agua en la Zona de Estudio

La demanda de agua encontrada para los cultivos es equivalente a la diferencia entre la ETC de la planta en mm/dec y la precipitación efectiva de la zona de cultivo (Bolaños, 2011). En el caso de estudio se encontró que el déficit total durante el periodo de siembra oscila entre 18000 L y 26000 L, dependiendo del tipo de cultivo. También se encontró que, de los dos cultivos evaluados, el tomate es el que presenta una mayor demanda de agua. Los requerimientos de los cultivos se organizaron en décadas (periodos de diez días) (Figura 3-4).

Figura 3.

Requerimientos de Agua para Usos Productivos para el Caso de Cultivo de Frijol.

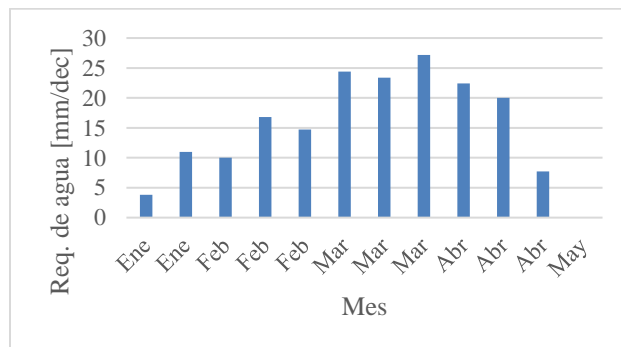
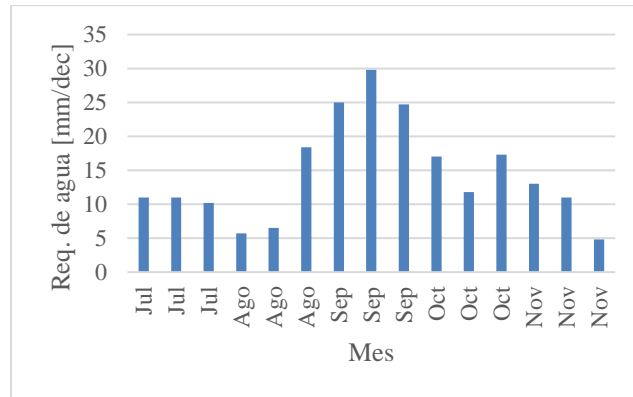


Figura 4.

Requerimientos de Agua para Usos Productivos para el Caso de Cultivo de Tomate



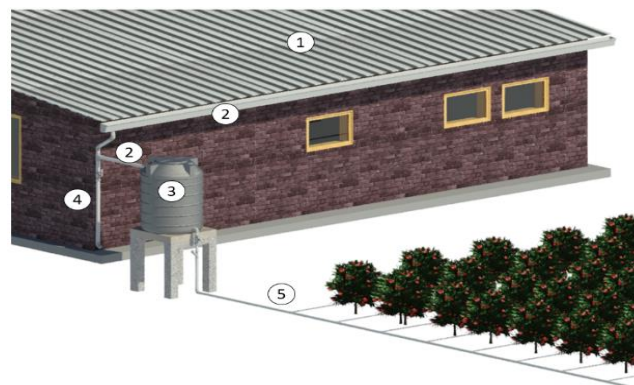
Como se puede observar en las figuras anteriores, los meses con mayor requerimiento hídrico son abril y mayo para el caso del frijol, mientras que para el tomate, septiembre y octubre son los meses con mayor demanda de agua. Por último, se encontró que para las 20 gallinas que hacen parte de la vivienda tipo se necesitan 3 L/día.

3.4 Dimensiones

La configuración de cada una de las partes del SAALL diseñado se presentan en el modelo 3d que aparece en la Figura 5.

Figura 5.

Modelo del Sistema de Recolección de Agua Lluvia.



Nota. 1) captación, 2) Conducción, 3) Almacenamiento, 4) Tratamiento, 5) Riego.

A continuación, se detallan los resultados del dimensionamiento de los componentes del sistema.

3.4.1 Módulo de Captación

Para la captación se escogió el techo de la vivienda tipo, conformado totalmente por lámina galvanizada y con un área de 100 m². Se asumió que el techo se encuentra en condiciones óptimas y no presenta ninguna clase de irregularidad o daño, garantizando así que cumple con su función de captación de escorrentía de agua lluvia, sin afectar el dimensionamiento de los demás componentes dentro del SAALL.

El material del área de captación es únicamente lámina galvanizada. Se asumió un coeficiente de escorrentía asociado de 0.8 siendo este un valor intermedio dentro de los rangos de valores posibles para techos que están dispuestos en (FAO, 2013).

A partir del periodo de retorno y el tiempo de concentración seleccionados, 3 años y 15 minutos respectivamente, se obtuvo un valor de intensidad de lluvia de 88.81 mm/hr, según las curvas IDF de la estación El Cucharó (Pinchote) obtenidas del IDEAM.

- Caudal de agua recolectada

Teniendo en cuenta los valores obtenidos anteriormente para el área de captación, el coeficiente de escorrentía asociado a lámina galvanizada y la intensidad de lluvia para el caso de estudio, se obtuvo un caudal de agua recolectada por la superficie de captación que fue de 118.41 L/min (Tabla 2).

Tabla 2.

Variables Usadas para la Determinación del Caudal de Agua Recolectada por la Superficie de Captación.

Variable	Unidad	Valor
Área	m ²	100,00
Coef. escorrentia		0,80
Intensidad	mm/hr	88,81
Qrec	L/min	118,41

3.4.2 Módulo de Conducción

- Canaleta

El material seleccionado para la canaleta es PVC porque cuenta con un coeficiente de rugosidad que facilita el transporte de agua. Las dimensiones para canaletas rectangular se muestran en la Tabla 3, Se decidió utilizar este tipo de canaleta con base en la disponibilidad de esta por parte de los proveedores cerca de la zona del proyecto. Las medidas necesarias para poder transportar el caudal de diseño son de 1 ½” x 2 ½” de base y de altura respectivamente. Para la instalación, se consideraron soportes cada 50 cm siguiendo las recomendaciones del manual para instalaciones de canaletas y bajantes de PAVCO. Para finalizar, se hicieron las respectivas revisiones de esfuerzo cortante y velocidad mínima (Tabla 4).

Tabla 3.

Dimensiones de la Canaleta en el Módulo de Conducción.

Tipo de sección	Variable	Unidad	Valor
Rectangular	Coef. Rugosidad		0,009
	Pendiente	m/m	0,02
	Base	m	0,038
	Altura	m	0,035

Tabla 4.*Revisiones de Velocidad y Esfuerzo Cortante en la Canaleta*

Componente		Unidad
Base	0,038	[m]
Perimetro	0,035	[m]
Área	0,00133	[m ²]
Velocidad	1,49	[m/s]
Pendiente	1	%
Esfuerzo cortante	1,21	[Pa]

- Bajante.

El bajante propuesto es del mismo material de la canaleta, con diámetro de 2 ½ ", y una longitud terminal de 1.1 m. Además, para asegurar su estabilidad, el bajante tiene abrazadera cada 50 cm. Por último, se verificó el bajante cumpliera con la velocidad terminal (Tabla 5).

Tabla 5.*Dimensiones de Bajante para el Módulo de Conducción.*

Variable	Unidad	Valor
Diametro	m	0,064
Velocidad terminal	m/s	2,51
Longitud terminal	m	1,1

3.4.3 Tanque de Almacenamiento

Inicialmente se encontró la demanda total diaria con su respectivo caudal de esorrentía. En la Tabla 6 se muestra un ejemplo de estos resultados para la primera semana de cultivo.

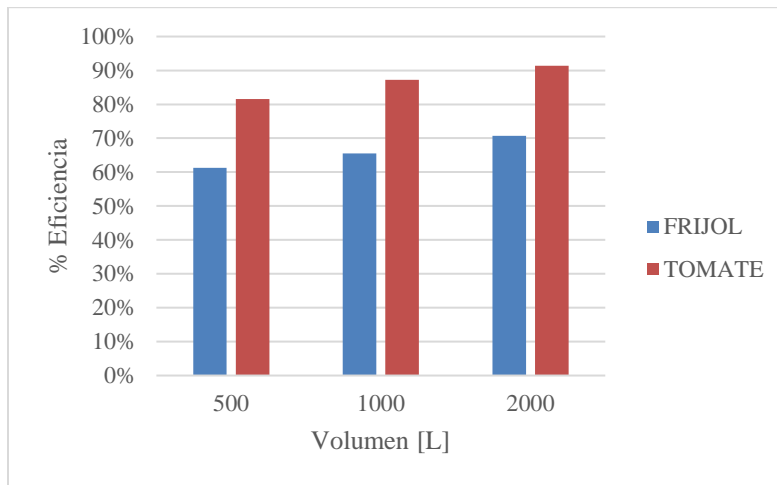
Tabla 6.*Valores de Oferta y Requerimientos de Agua*

Fecha	Demanda total [L/día]	Precipitacion [mm/día]	Caudal de escorrentia [L/día]
ene-11	42,9	0,000	0,00
ene-12	42,9	0,473	37,82
ene-13	42,9	0,000	0,00
ene-14	42,9	0,000	0,00
ene-15	42,9	0,000	0,00
ene-16	42,9	0,000	0,00
ene-17	42,9	0,200	16,00
ene-18	42,9	0,409	32,73
ene-19	42,9	0,309	24,73
ene-20	42,9	0,291	23,27

Para volumen óptimo del tanque, Celis (2018) señala que para facilidad en el análisis y evitar un sobredimensionamiento del tanque se debe alcanzar aproximadamente un 65% de la eficiencia. Entre los tanques evaluados se encontró que el tanque de 500 L no cumple con este requisito para los dos cultivos y el tanque de 2000 L sobredimensiona el sistema. Por lo tanto, el tanque seleccionado fue el de 1000L. Esta selección se hizo basándonos principalmente en criterios económicos de la zona de estudio. En la Figura 6 se puede evidenciar la comparación de la eficiencia promedio de los tres métodos de dimensionamiento (YAS, YBS y THETA), variando el volumen del tanque.

Figura 6.

Eficiencia del Tanque de Almacenamiento.



Por último, se compararon los métodos de balance hídrico para cada cultivo, el tomate alcanza una mayor eficiencia que el frijol, además los métodos YBS y THETA ofrecen una eficiencia similar y que es mayor a la que se obtiene por el método YAS, esta información se puede evidenciar en las figuras 7-8.

Figura 7.

Comparación de las Diferentes Eficiencias para el Frijol.

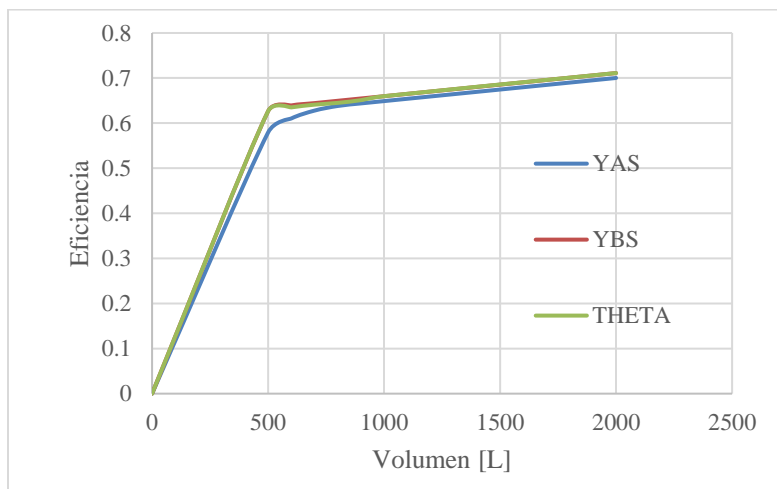
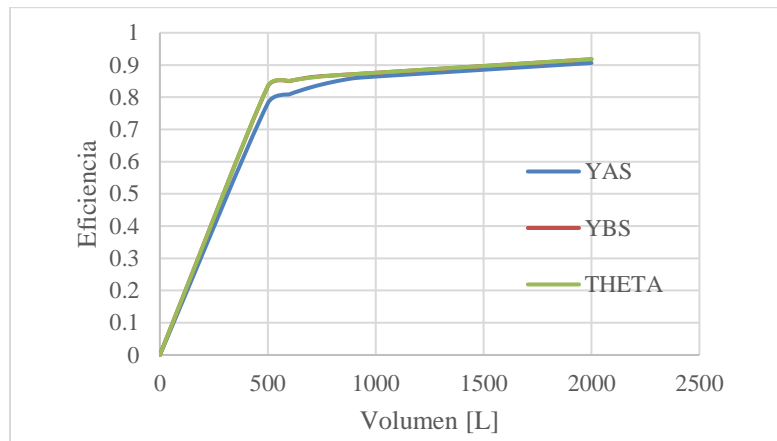


Figura 8.

Comparación de las Diferentes Eficiencias para el Tomate.



3.4.4 Módulo de Tratamiento

El tratamiento propuesto está conformado por los componentes que se seleccionaron para el tratamiento del caudal de lluvia recogido por el módulo de captación. Para el caso de estudio se seleccionó un desviador de primer flujo y un filtro de malla (Tabla 7).

- Desviador de primer flujo.

Se determinó la instalación de un desviador de primer flujo para el bajante, teniendo en cuenta la recomendación de redireccionar entre uno a dos galones de agua por cada 100 pies cuadrados de área de recolección (Texas Water Development Board, 2005). Se asumió redireccionar un galón para reducir el gasto de agua y se realizaron las respectivas conversiones encontrando que el volumen de agua requerido para el lavado de la zona de captación corresponde a 41.6 L, lo que equivale a un desviador de primer flujo de longitud de 13,2 [m] y diámetro de 2 ½”.

- Filtro de malla.

Se propuso la instalación de un filtro de malla de 1 ¼” para riego (IICA, 2013). Este se ubica a la salida del tanque de almacenamiento, posterior a la válvula de paso, de forma que

garantice la calidad del agua usada en el riego por goteo y evitando la obstrucción en el sistema.

Se recomienda limpiar el filtro al menos una vez al mes.

Tabla 7.

Componentes Propuestos para el Módulo de Tratamiento.

Componente	Unidad	Cantidad
Desviador de primer flujo	L	41.6
Filtro de malla	un	1

3.4.5 Módulo de Riego

Se seleccionó el sistema riego por goteo, debido a sus ventajas de ahorro de agua teniendo en cuenta que la zona de estudio es una zona seca y las fuentes de agua para usos productivos son limitadas. Este método tiene una efectividad mayor en la aplicación del agua en la zona de cultivo al compararse con otros métodos de riego, evita el crecimiento de maleza alrededor del cultivo, es posible aplicar aguas con contenidos salinos ya que se realiza sobre la tierra y no sobre el follaje, aplica el agua de forma uniforme y permite un ahorro en la mano de obra (Liotta, Carrión, Ciancaglini, & Olguín, 2015).

Este método de riego es presurizado y para evitar hacer uso de una bomba que incrementaría los costos al sistema se optó por hacer uso de un riego por gravedad ubicando el tanque de almacenamiento en una posición elevada del suelo, conformando un sistema de riego por goteo a baja presión. Es de importancia aclarar que para este diseño no se realizó un chequeo de las presiones en el sistema, pero se recomienda hacerlo para casos futuros.

- Componentes del sistema de riego por goteo a baja presión

La configuración del sistema fue definida teniendo en cuenta las recomendaciones del Instituto Internacional de Cooperación para la Agricultura (IICA), que en el año 2013 publicó su guía “Tecnología de bajo costo: guía de instalación y uso de micro riego de baja presión” (IICA,

2013). Sus componentes son:

- Tanque de almacenamiento de 1000 L dimensionado previamente, este debe ubicarse al menos 1 metro elevado sobre el suelo sobre un soporte que tenga capacidad de soportar el peso generado cuando el tanque se encuentre lleno

- Manguera principal de 1 ¼ "

- Accesorios de PVC (adaptadores macho y hembra, codos, niples, reductores, conectores de manguera, conexiones Tee y pegamento PVC)

- Llave principal de 1 ¼ "

- Tubos cortos o niples de PVC

- Perforador metálico para manguera principal

- Manguera lateral plástica de 16 mm de diámetro

3.5 Costos del Sistema

Se elaboró un APU para la actividad “Suministro e instalación bajantes de agua lluvia y accesorios” y se determinó un costo de \$36.061 COP por cada metro lineal, otros APUs fueron tomados directamente de Construdata (FAO, 1985). Se seleccionó un porcentaje de imprevisto del 8% para la naturaleza de este proyecto de acuerdo a (Bohórquez & Rojas, 2009) y se determinó las cantidades requeridas en cada actividad. Se realizó finalmente la estimación del costo total de la ejecución del proyecto “Sistema De Aprovechamiento De Aguas Lluvia Con Fines Productivos En Una Vivienda Rural De La Vereda Garbanzal” obteniendo un valor de \$1.547.030 COP. (Ver anexo: Estimación de costos.)

4. Conclusiones

Este estudio se enfocó en el diseño de un sistema de aprovechamiento de aguas lluvia con fines productivos para el contexto de una vivienda rural en la vereda Garbanzal (Santander), teniendo en cuenta las condiciones del lugar y sus habitantes. Los resultados indican que la oferta hídrica en la zona ha variado a través de los años desde la fecha de instalación del pluviómetro hasta la actualidad, por eso fue necesario tener en cuenta los datos históricos de día pluviómetro solamente de los últimos diez años, siendo los meses secos desde diciembre hasta febrero y los meses de lluvia de marzo a noviembre, conformando así dos únicas temporadas en la zona de estudio.

Para la demanda hídrica se evidenció que en la zona se desarrollan actividades productivas de pequeña escala y que es posible, con un sistema compuesto por un área de captación de 100 m², un tanque de 1000L y un sistema de riego por goteo a baja presión, mantener una parcela de 150 m², en la que se alternen cultivos de frijol y tomate durante el año, además de mantener 20 gallinas. Para este sistema, el cultivo de mayor demanda de agua es el tomate y el de menor demanda, el frijol.

El dimensionamiento de este sistema reflejó que se puede alcanzar una eficiencia óptima para la demanda de agua sin sobredimensionar el diseño, lo cual facilitará la accesibilidad a los habitantes de la zona de estudio.

La estimación de costos para el SAALL reflejó que el sistema tiene un costo de \$1.547.030 COP, donde los módulos más costosos son la conducción y almacenamiento representando estos un 38.6 y 32.8 % respectivamente del costo total de la ejecución del proyecto.

Finalmente, se concluye de forma general que la implementación de un SAALL en la vereda Garbanzal representa una solución potencialmente viable para suplir los requerimientos de

agua derivados de actividades productivas, esta alternativa va de la mano con lo sugerido por el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2021), en el cual se recomienda como iniciativa para las poblaciones rurales que no pueden ser atendidas con sistemas centralizados, buscar soluciones individuales que les permitan suplir sus necesidades, para lo cual se sugiere tener el espacio suficiente para el sistema de captación, almacenamiento y tratamiento del agua.

Referencias Bibliográficas

- Alcaldía Municipal de Los Santos. (2022). *Economía*. Obtenido de <https://www.lossantos-santander.gov.co/MiMunicipio/Paginas/Economia.aspx>
- Arteaga, R., Ángeles, V., & Vázquez, M. A. (2011). Programa CROPWAT para planeación y manejo del recurso hídrico. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 2(2), 179-195.
- Berger, M., & Finkbeiner, M. (2010). *Water footprinting: how to address water use in life cycle assessment?* *Sustainability*, 2(4), 919-944. Universidad de Berlín. Departamento de tecnología ambiental.
- Bohórquez, N., & Rojas, M. (2009). *Aproximación metodológica para el cálculo del aiu*. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Minas.
- Bolaños, M. (2011). *Determinación de la huella hídrica y comercio e agua virtual en los principales productos agrícolas de Honduras. Tesis para optar el título de Ingeniería en Administración de Agronegocios*. Universidad de Honduras. Zamorano-Honduras, 49.
- Briceño, M., & Álvarez, F. B. (2012). *Manual Riego y Drenaje*. Escuela Agrícola Panamericana, Carrera de Ciencia y Producción Agropecuaria El Zamorano, Honduras, Centroamérica.
- Carrazón, J. (2007). *Manual práctico para el diseño de sistemas de minirriego. Tecnologías y metodologías validadas para mejorar la seguridad alimentaria en las zonas de actuación del Programa PESA en Honduras*.
- Castro, A. (2017). *Los Santos no ve la hora de que se termine el acueducto*. Obtenido de Vanguardia: <https://www.vanguardia.com/>
- Celis, D. (2018). *Evaluación de los métodos para el dimensionamiento del tanque de almacenamiento de un sistema de recolección y aprovechamiento de agua lluvia en el área metropolitana de Bucaramanga (Santander)*. Universidad Industrial de Santander.

- Chaparro, D., & Briceño, C. (2020). *Análisis de la aceptación social de los sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias en la zona rural de los santos, Santander*. Universidad Industrial de Santander.
- Construdata. (2023). *Portal especializado en construcción*. Obtenido de <https://www.construdata.com/>
- Dixon, A., Butler, D., & Fewkes, A. (1999). *Computer simulation of domestic water reuse systems: investigating greywater and rainwater in combination*. *Water Science Technology*, 38(4), 25-32.
- EAAB. (2009). *Norma Técnica De Servicio. (NS 085)*. Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB), Bogotá.
- FAO. (1985). *Irrigation Water Management: Training Manual No. 1 - Introduction to Irrigation*. Food and Agriculture Organization (FAO), Roma.
- FAO. (2006). *Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. Food and Agriculture Organization (FAO), Roma.
- FAO. (2013). *Captación y almacenamiento de agua de lluvia. Opciones técnicas para la agricultura familiar en América Latina y el Caribe*. Food and Agriculture Organization (FAO), Chile.
- Fewkes, A. (1999). *Modelling the Performance of Rainwater Collection Systems: Towards A Generalised Approach*. *Urban Water*, 1 (4), 323-333.
- Gutiérrez, J. & Bulnes, M. (2016): *Manual de uso, operación, mantenimiento y construcción. Sistema doméstico de cosecha de agua de lluvia*. México: SARAR Transformación, S.C.
- ICONTEC. (2006). *Norma Técnica Colombiana 1341*. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC), Colombia.

- ICONTEC. (2020). *Norma Técnica Colombiana 1500*. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC), Colombia.
- IDEAM. (2023). *Consulta y Descarga de Datos Hidrometeorológicos-DHIME*. Obtenido de <http://dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/>. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), Colombia.
- IDEAM. (2023). *Curvas IDF*. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/curvas-idf>. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), Colombia.
- IICA. (2013). *Tecnología de bajo costo: guía de instalación y uso de micro riego de baja presión*. Proyecto Red SICTA. Cooperación Suiza en América Central. Instituto Internacional de Cooperación para la Agricultura (IICA), Managua.
- INVIAS. (2023). *Análisis de Precios Unitarios*. Obtenido de <https://www.invias.gov.co/index.php/informacion-institucional/hechos-detransparencia/analisis-de-precio-unitarios>. Instituto Nacional de Vías (INVIAS), Colombia.
- Lebel, S., Fleskens, L., Forster, P., Jackson, L., & Lorenz, S. (2015). *Evaluation of in situ rainwater harvesting as an adaptation strategy to climate change for maize production in rainfed Africa*. *Water resources management*, 29(13), 4803-4816.
- Liang, X., & Van Dijk, M. (2011). *Economic and financial analysis on rainwater harvesting for agricultural irrigation in the rural areas of Beijing*. *Resources, conservation and recycling*, 55(11), 1100-1108.
- Liotta, M., Carrión, R., Ciancaglini, N., & Olguín, A. (2015). *Manual de capacitación: riego por goteo*. Unidad para el cambio rural (UCAR), Buenos Aires.
- Londra, P., Kotsatos, I., Theotokatos, N., Theocharis, A., & Dercas, N. (2021). *Reliability Analysis*

- of Rainwater Harvesting Tanks for Irrigation Use in Greenhouse Agriculture*. . Hydrology, 8(3), 132.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Económico. (2000). *Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico RAS-2000: Título B, Sistemas de acueducto*. Bogotá D.C: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Económico.
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2021). *Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico: Título J, Alternativas tecnológicas en agua y saneamiento para el sector rural*. Bogotá D.C.
- Odhiambo, K., Iro Ong'or, B., & Kanda, E. (2021). *Optimization of rainwater harvesting system design for smallholder irrigation farmers in Kenya: a review*. AQUA—Water Infrastructure, Ecosystems and Society, 70(4), 483-492.
- Pachpute, J., Tumbo, S., Sally, H., & Mul, M. (2009). *Sustainability of rainwater harvesting systems in rural catchment of Sub-Saharan Africa*. Water Resources Management, 23(13), 2815-2839.
- Pérez Carmona, R. (2010). *Instalaciones Hidrosanitarias y de Gas para Instalaciones 6ta ed*.
- Prieto, D. (2023). *Propuesta de herramienta de selección de sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias para asentamientos rurales andinos, considerando criterios técnicos, sociales y económicos*. Universidad Industrial de Santander.
- Rojas-Valencia, M., Gallardo-Bolaños, J., & Martínez-Coto, A. (2012)). Implementación y caracterización de un sistema de captación y aprovechamiento de agua de lluvia. TIP. *Revista especializada en ciencias químico-biológicas*, 15(1), 16-2.
- Texas Water Development Board. (2005). *The Texas Manual on Rainwater Harvesting*.
- Villazón Gómez, J., Noris, P., & Martín Gutiérrez, G. (2021). *Determinación de la precipitación*

efectiva en áreas agropecuarias de la provincia de Holguín. Idesia (Arica), 39(2), 85-90.

WASH Institute. (2016). *A Practical Guide on Roof top Rainwater Harvesting*. Obtenido de <https://www.washinstitute.org/GuideBooksPdf/Rain%20water%20harvesting%20guide%20book.pdf>. Water, Sanitation and Hygiene Institute (WASH), Nueva Delhi.

Apéndices

Apéndice A. Datos Climáticos

Tabla 1.

Datos climáticos relacionados a la zona de estudio.

MES	TEMPERATURA		% Humedad	Horas de sol	Viento (km/día)
	Máxima	Mínima	relativa		
Enero	21,3	20,8	81	9,4	205
Febrero	21,4	20,8	83	8,3	210
Marzo	21,2	20,6	85	9,2	209
Abril	21,4	20,8	86	9,4	200
Mayo	21,5	20,9	87	9,4	197
Junio	20,7	20,1	88	9,3	185
Julio	21,7	21	84	9,6	186
Agosto	21,2	20,5	85	9,7	194
Septiembre	21,7	21	82	9,7	210
Octubre	21,3	20,7	85	9,4	208
Noviembre	20,9	20,3	87	9,4	199
Diciembre	21,1	20,6	86	7,1	205

Nota. Tomado de Grupo De Investigación En Recursos Hídricos Y Saneamiento Ambiental

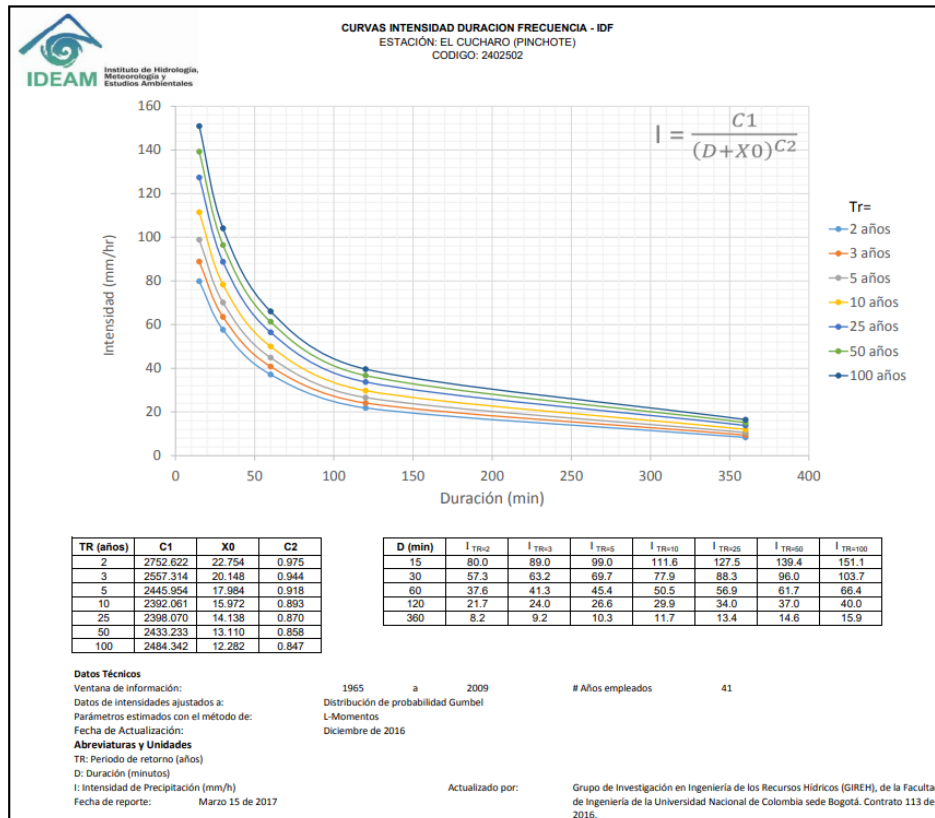
(GPH)¹.

¹Prieto, D. (2023). *Propuesta de herramienta de selección de sistemas de aprovechamiento de aguas lluvias para asentamientos rurales andinos, considerando criterios técnicos, sociales y económicos*. Universidad Industrial de Santander.

Apéndice B. Curva IDF

Figura 1.

Curvas IDF, estación El Cucharó (Pinchote).



Nota. Tomado de Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM)².

²IDEAM. (2023). *Curvas IDF*. Obtenido de <http://www.ideam.gov.co/curvas-idf>. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), Colombia.

Apéndice C. Valores de demanda de agua debida a animales

Tabla 2.

Dotación de agua de algunas especies para diferentes condiciones.

Especie		Condición de consumo	Consumo
Aves	Gallinas		15 litros día ⁻¹ por 100 cabezas
	Pavos		30 litros día ⁻¹ por 100 cabezas
Bovinos			450 litros día ⁻¹ por 10 cabezas
Cerdos		Primeros 12 meses	10 a 12 litros día ⁻¹ por 100 kg de peso
		Engorde	3 a 4 litros día ⁻¹ por kg de MS* consumida
		Marranas en lactancia	15 a 20 litros día ⁻¹
Ovinos	De pelo (San Pablo, Brasil)	32-35 kg de peso	3,0 litros día ⁻¹ (invierno) 3,8 litros día ⁻¹ (verano)
	En pastoreo (Chile)	Bajo sombra Sin protección	8,0 litros día ⁻¹ 11,0 litros día ⁻¹
Caprinos			4,5 a 8,0 litros día ⁻¹
Camélidos	Alpaca		2,9 litros día ⁻²
Cuyes	Hembras primerizas		30 a 70 ml día ⁻¹
	Machos y hembras destetados		45 a 198 ml día ⁻¹

Nota. Tomado de Captación y almacenamiento de agua lluvia. FAO,2013³.

³FAO. (2013). *Captación y almacenamiento de agua de lluvia. Opciones técnicas para la agricultura familiar en América Latina y el Caribe.* Food and Agriculture Organization (FAO), Chile.

Apéndice D. Características de cultivo

Tabla 3.

Características para cada cultivo seleccionado en el caso de estudio.

	Duración etapas de cultivo (días)				Valores de Kc			Alt max(m)	Profundidad radicular máxima (m)	Fracción de agotamiento
	Inic	Des	Med	Fin	Kcini	Kcmed	Kcfin			
Tomate	30	40	40	25	1	1,2	0,8	0,6	0,7-1,5	0,4
Frijol	20	30	40	20	0,4	1,15	0,35	0,4	0,6-0,9	0,45

Nota. Tomado de Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos.

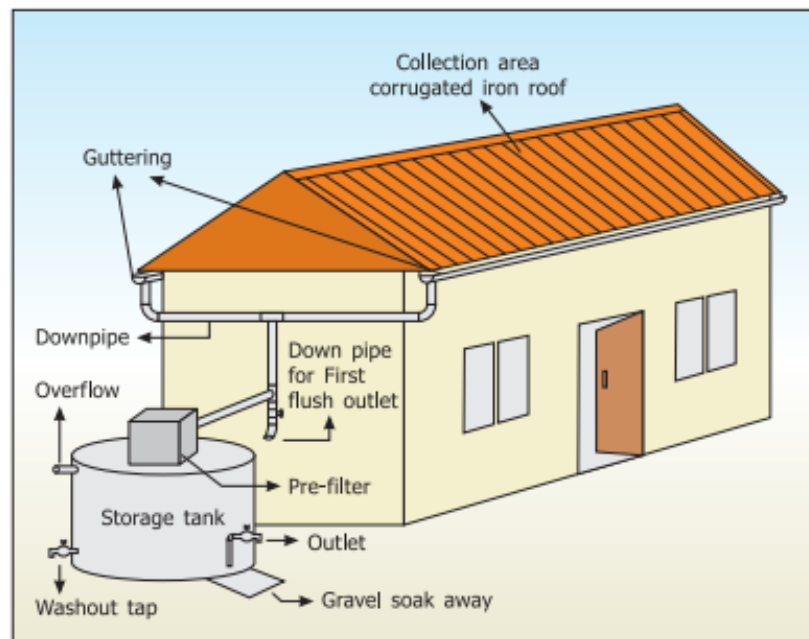
FAO,2006⁴.

⁴FAO. (2006). *Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. Food and Agriculture Organization (FAO), Roma.

Apéndice E. Componentes de SAALL

Figura 2.

Configuración de los componentes de un sistema de aprovechamiento de aguas lluvia.



Donde: Collection area corrugated iron roof es área de recolección en techo corrugado de acero, Guttering es canaletas, Downpipe es bajante, First flush outlet es salida del desviador de primer flujo, Overflow es rebosadero, Storage tank es tanque de almacenamiento, Pre-filter es prefiltro, Gravel soak away es pozo de absorción de grava, Outlet es salida y Washout tap es grifo de lavado

Nota. Tomado de A Practical Guide on Roof top Rain Water Harvesting. WASH, 2016⁵.

⁵WASH Institute. (2016). *A Practical Guide on Roof top Rainwater Harvesting*. Obtenido de <https://www.washinstitute.org/GuideBooksPdf/Rain%20water%20harvesting%20guide%20book.pdf>. Water, Sanitation and Hygiene Institute (WASH), Nueva Delhi.

Apéndice F. Valores de coeficiente de escorrentía

Tabla 4.

Valores de referencia para el coeficiente de escorrentía (C) en diferentes tipos de superficies y coberturas.

Tipos de superficie o coberturas del área de captación	Coficiente de escorrentía (C)
Lámina plástica de polietileno	0,90
Mortero (mezcla de cemento y arena)	0,88
Asfalto	0,88
Tejas de arcilla recocida	0,75
Manta plástica + grava	0,70
Suelo de textura fina (arcilloso), emparejado con lámina	0,55
Suelo de textura fina (arcilloso), en barbecho	0,24
Suelo de textura gruesa (arenoso)	0,20
Pasto bu el (<i>Cenchrus ciliaris</i>)	0,15
Áreas cultivadas	0,08 – 0,41
Pastos	0,12 – 0,62
Techos	0,75 – 0,95
Hormiqón	0,70 – 0,95

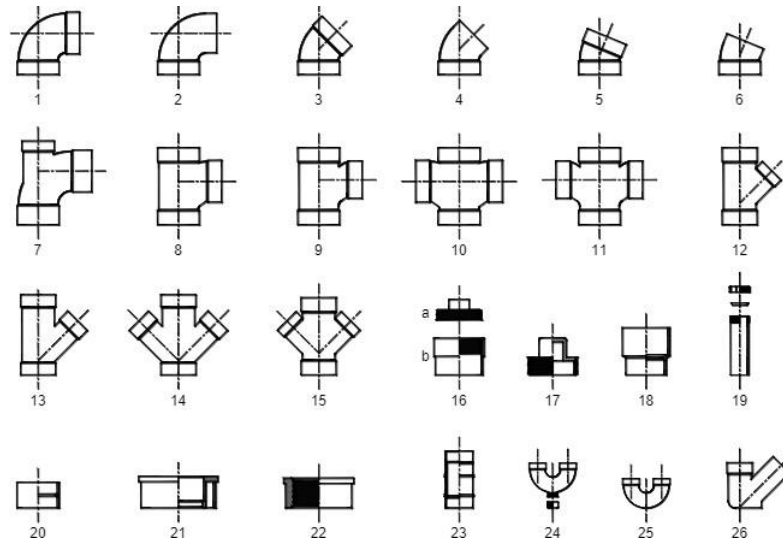
Nota. Tomado de Captación y almacenamiento de agua lluvia. FAO, (2013)⁶.

⁶FAO. (2013). *Captación y almacenamiento de agua de lluvia. Opciones técnicas para la agricultura familiar en América Latina y el Caribe.* Food and Agriculture Organization (FAO), Chile.

Apéndice G. Accesorios para canaletas y bajantes.

Figura 3

Accesorios en PVC para instalaciones sanitarias-aguas lluvias y de ventilación.



Nota. Tomado de NTC 1341, 2006⁷

Tabla 5.

Accesorios en PVC para instalaciones sanitarias-aguas lluvias y de ventilación.

Número	Accesorio	Número	Accesorio
1	Codo 90° campana x campana	14	Y sanitaria-aguas lluvias doble
2	Codo 90° campana x espigo	15	Y sanitaria-aguas lluvias doble reducida
3	Codo 45° campana x campana	16	Adaptador de limpieza
4	Codo 45° campana x espigo	17	Tapón macho roscado
5	Codo 22,5° campana x campana	18	Adaptador HF a PVC

⁷ICONTEC. (2006). *Norma Técnica Colombiana 1341*. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC), Colombia.

Número	Accesorio	Número	Accesorio
6	Codo 22,5° campana x espigo	19	Adaptador de sifón
7	Codo ventilado	20	Unión
8	T sanitaria-aguas lluvia	21	Buje soldado
9	T sanitaria-aguas lluvia reducida	22	Buje roscado
10	T sanitaria-aguas lluvia doble	23	Junta de expansión
11	T sanitaria-aguas lluvia doble reducida	24	Sifón 180° con tapón, campana x campana
12	Y sanitaria-aguas lluvias reducida	25	Sifón 180° campana x campana
13	Y sanitaria-aguas lluvias	26	Sifón 135° campana x espigo

Nota. Tomado de NTC 1341, 2006⁷.

⁷ICONTEC. (2006). *Norma Técnica Colombiana 1341*. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC), Colombia.

Apéndice H. Dimensiones para canaletas

Tabla 6.

Dimensiones de canaleta horizontal y sus respectivas capacidades.

Dimensiones de canaleta ^a mm (pulgadas)	Pendiente mm/m (pulgadas por pie)	Capacidad L/m (gpm)
38.1 x 63.5 (1 ¹ / ₂ x 2 ¹ / ₂)	20.83 (1/4)	98.41 (26)
38.1 x 63.5 (1 ¹ / ₂ x 2 ¹ / ₂)	41.65 (1/2)	151.4 (40)
101.6 (4)	10.41 (1/8)	147.61 (39)
57.15 x 76.2 (2 ¹ / ₄ x 3)	20.83 (1/4)	208.17 (55)
57.15 x 76.2 (2 ¹ / ₄ x 3)	41.65 (1/2)	329.30 (87)
127 (5)	10.41 (1/8)	280.10 (74)
101.6 x 63.5 (4 x 2 ¹ / ₂)	20.83 (1/4)	401.21 (106)
76.2 x 88.9 (3 x 3 ¹ / ₂)	41.65 (1/2)	594.25 (156)
152.4 (6)	10.41 (1/8)	416.35 (110)
76.2 x 127 (3 x 5)	20.83 (1/4)	594.25 (157)
76.2 x 127 (3 x 5)	41.65 (1/2)	851.62 (225)
203.2 (8)	5.21 (1/16)	651.02 (172)
203.2 (8)	10.41 (1/8)	934.90 (247)
114.3 x 152.4 (4 ¹ / ₂ x 6)	20.83 (1/4)	1317.18 (348)
114.3 x 152.4 (4 ¹ / ₂ x 6)	41.65 (1/2)	1869.79 (494)
254 (10)	5.21 (1/16)	15252.83 (331)
254 (10)	10.41 (1/8)	1786.52 (472)
127 x 203.2 (5 x 8)	20.83 (1/4)	2464.03 (651)
101.6 x 254 (4 x 10)	41.65 (1/2)	3993.17 (1055)

For SI: 25.4 mm = 1 pulgada, 1 foot = 304.8 mm, 1 gallon per minute = 3.785 L/m, 1 inch per foot = 83.3 mm/m.

1. a. Las dimensiones son ancho por profundidad para formas rectangulares. Las dimensiones individuales son los diámetros de un semicírculo.

Nota. Tomado de NTC 1500, 2020⁸.

⁸ICONTEC. (2020). *Norma Técnica Colombiana 1500*. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC), Colombia.

Apéndice I. Dimensiones para bajantes

Tabla 7.

Dimensiones para tubo de bajante vertical y respectivas capacidades.

Dimensión de la bajante vertical (pulgadas)	CAPACITY Capacidad L/m (gpm)
2	113.55 (30)
2 × 2	113.55 (30)
1½ × 2½	113.55 (30)
2½	204.4 (54)
2½ × 2½	204.4 (54)
3	348.22 (92)
2 × 4	348.22 (92)
2½ × 3	348.22 (92)
4	726.72 (192)
3 × 4¼	726.72 (192)
3½ × 4	726.72 (192)
5	1326.6 (360)
4 × 5	1326.6 (360)
4½ × 4½	1326.6 (360)
6	2130.96 (563)
5 × 6	2130.96 (563)
5½ × 5½	2130.96 (563)
8	4572.3 (1208)
6 × 8	4572.3 (1208)

For SI: 25.4 mm =1 pulgada, 1 L/ min = 0,3.galón/min,.

Nota. Tomado de NTC 1500, 2020⁸⁸ICONTEC. (2020). *Norma Técnica Colombiana 1500*. Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC), Colombia.

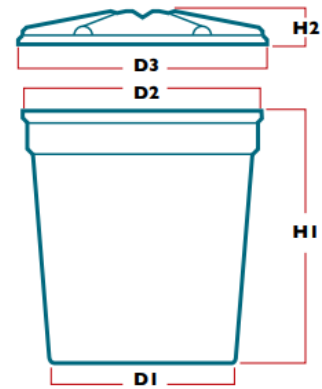
Apéndice J. Dimensiones de tanque de almacenamiento

Figura 4.

Dimensiones de tanque de almacenamiento según su capacidad.

Producto	TANQUES			TAPAS		Peso del Kit (Tanque + Tapa)
	"Diámetro Inferior (D1)"	"Diámetro Superior (D2)"	Altura (H1)	Diámetro (D3)	Altura (H2)	
250 L	545	740	930	778	100	7
500 L	700	940	1050	1000	165	11
1000 L	910	1185	1270	1230	185	18
2000 L	1170	1515	1580	1530	220	37
5000 L	1670	2080	1910	2220	370	100
6000 L	1740	2080	2110	2220	370	119
Bebedero / Jr 250 L	800	950	460	980	190	11
Bebedero / Jr 550 L	1010	1220	660	1255	210	15,5

Unidad de Medida dimensiones: Milímetros (mm)
 Unidad de Medida Pesos: Kilogramos (Kg)

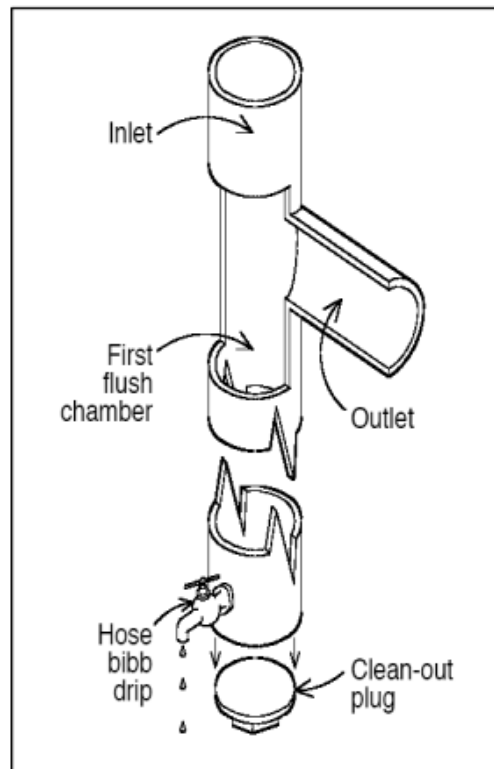


Nota. Tomado Ficha Técnica Tanques Acuaviva, s.f.⁹

⁹Acuaviva. (sf). Ficha técnica tanques de almacenamiento Acuaviva. Recuperado el 10 de enero de 2023, de <https://www.acuaviva.com/siteassets/documentos/fichas-tecnicas/ficha-tecnica-tanques-acuaviva.pdf?v=4aa32f>.

Apéndice K. *Desviador de primer flujo*

Figura 5.

Componentes del desviador de primer flujo.

Nota. Tomado de TWDB, 2005¹⁰

¹⁰Texas Water Development Board. (2005). *The Texas Manual on Rainwater Harvesting*.

Apéndice L. Factores para seleccionar el método de riego.

Existen numerosos factores a tener en cuenta entre usar un método de riego u otro (Fernández, 2010)¹¹

- La topografía del terreno y la forma de la parcela, es decir la pendiente, longitud y anchura, si existen caminos, acequias u otro tipo de elemento que pueda interferir en el riego y la posibilidad de que el agua pueda ser llevada hasta la parcela sin un coste excesivo.
- Las características físicas del suelo, en particular las relativas a su capacidad para almacenar el agua de riego que debe ser puesta a disposición de las raíces de las plantas.
- Tipo de cultivo, del que es especialmente necesario conocer sus requerimientos de agua para generar producciones máximas, así como su comportamiento en situaciones de falta de agua.
- La disponibilidad de agua, aspecto muy relevante en cuanto puede ser necesario programar los riegos no en función de las necesidades de agua del cultivo sino de la posibilidad de que exista agua suficiente para regar y el precio de la misma.
- La calidad del agua de riego, lo que puede ser determinante en la elección tanto del método de riego como de ciertos componentes de la instalación.
- La disponibilidad de mano de obra, con la que se garantice la ejecución de todas las labores precisas durante el desarrollo del cultivo, en particular las referidas al riego.
- El coste de la instalación de cada sistema de riego en particular, tanto en lo que se refiere a inversión inicial como en la ejecución de los riegos y mantenimiento del sistema.
- El efecto en el medio ambiente, especialmente en el uso eficiente del agua, la calidad de las aguas de escorrentía y la erosión del suelo.

¹¹Fernández, R. (2010). Manual de riego para agricultores: módulo 1. Fundamentos del riego: manual y ejercicios. Sevilla: Consejería de Agricultura y Pesca, Servicio de Publicaciones y Divulgación.

Apéndice M. Métodos de riego

Figura 6.

Riego por superficie.



Nota. Tomado de Fernández, 2010¹¹

¹¹Fernández, R. (2010). Manual de riego para agricultores: módulo 1. Fundamentos del riego: manual y ejercicios. Sevilla: Consejería de Agricultura y Pesca, Servicio de Publicaciones y Divulgación.

Figura 7.

Riego por aspersión.



Nota. Tomado de Fernández, 2010¹¹

¹¹Fernández, R. (2010). Manual de riego para agricultores: módulo 1. Fundamentos del riego: manual y ejercicios. Sevilla: Consejería de Agricultura y Pesca, Servicio de Publicaciones y Divulgación.

Figura 8.

Riego por goteo.



Nota. Tomado de Fernández, 2010¹¹

¹¹Fernández, R. (2010). Manual de riego para agricultores: módulo 1. Fundamentos del riego: manual y ejercicios. Sevilla: Consejería de Agricultura y Pesca, Servicio de Publicaciones y Divulgación.

Apéndice N. Ventajas y desventajas en métodos de riego

Tabla 8.

Comparativa entre los métodos de riego principales en distintos aspectos.

Tabla 19 Ventajas e inconvenientes de los principales sistemas de riego.				
	Riego por superficie	Riego por aspersión a alta presión	Riego por aspersión a baja presión	Riego por goteo
Costo de inversión	Bajo en terreno plano	Elevado	Elevado	Elevado
Necesidades energéticas (para bombeo)	Bajo o nulo	Elevado	Mediano	Bajo
Nivel técnico necesario para la operación y mantenimiento	Bajo	Mediano	Mediano	Elevado
Carga de trabajo para la operación	Elevado	Bajo	Mediano	Bajo
Eficiencia del riego	Baja (50 – 70%)	Elevada	De mediana a elevada	Elevada
Costo del riego (por hora de trabajo)	De bajo a mediano	Elevado	De mediano a elevado	Elevado
Comentarios	No conviene en terrenos arenosos o accidentados	Utilización muy flexible Posibles problemas fitosanitarios	Posibles problemas fitosanitarios	Conveniente para cultivos de alto valor agregado o con aguas salinas

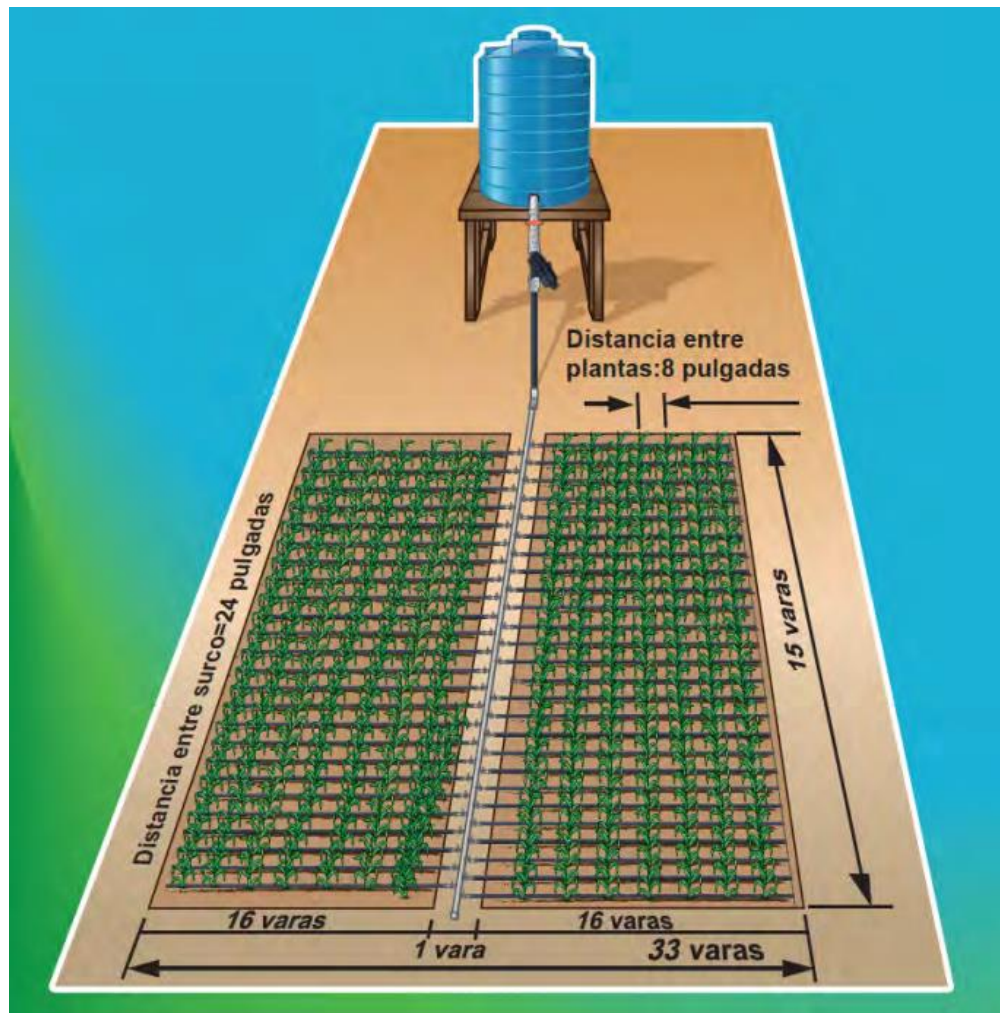
Nota. Tomado de Carrazón, 2007¹².

¹²Carrazón, J. (2007). *Manual práctico para el diseño de sistemas de minirriego. Tecnologías y metodologías validadas para mejorar la seguridad alimentaria en las zonas de actuación del Programa PESA en Honduras.*

Apéndice O. *Componentes del sistema de riego*

Figura 9.

Configuración de los componentes de un sistema de riego por goteo a baja presión.



Nota. Tomado de Manual práctico para el diseño de sistemas de miniriego, IICA 2013¹³.

¹³IICA. (2013). *Tecnología de bajo costo: guía de instalación y uso de micro riego de baja presión*. Proyecto Red SICTA. Cooperación Suiza en América Central. Instituto Internacional de Cooperación para la Agricultura (IICA), Managua.

Figura 10.

Salida del tanque de almacenamiento.



Nota. Tomado de Manual práctico para el diseño de sistemas de miniriego, IICA 2013¹³.

Figura 11.

Conexión de mangueras de riego a tubería principal

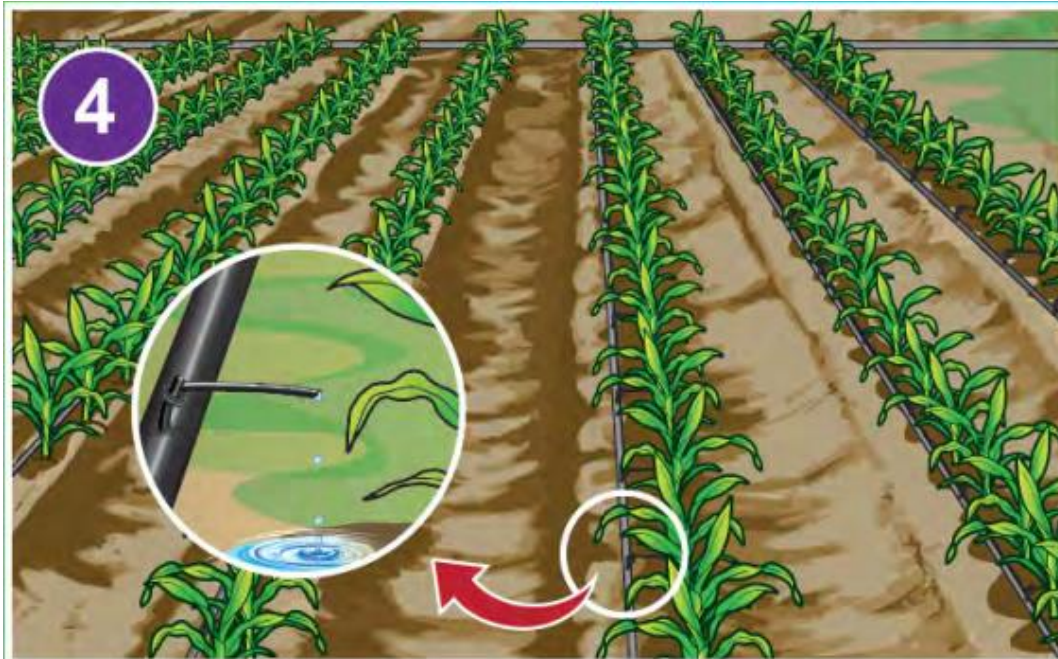


Nota. Tomado de Manual práctico para el diseño de sistemas de miniriego, IICA 2013¹³.

¹³IICA. (2013). *Tecnología de bajo costo: guía de instalación y uso de micro riego de baja presión*. Proyecto Red SICTA. Cooperación Suiza en América Central. Instituto Internacional de Cooperación para la Agricultura (IICA), Managua.

Figura 12.

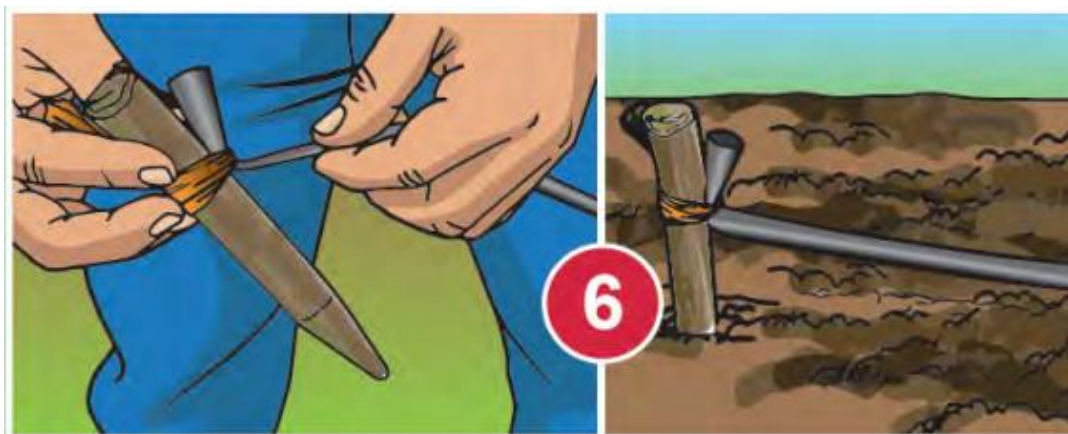
Aplicación de agua a los cultivos



Nota. Tomado de Manual práctico para el diseño de sistemas de miniriego, IICA 2013¹³.

Figura 13.

Fijación de mangueras de riego mediante estacas.



Nota. Tomado de Manual práctico para el diseño de sistemas de miniriego, IICA 2013¹³.

¹³IICA. (2013). *Tecnología de bajo costo: guía de instalación y uso de micro riego de baja presión*. Proyecto Red SICTA. Cooperación Suiza en América Central. Instituto Internacional de Cooperación para la Agricultura (IICA), Managua.

Apéndice P. Cotizaciones tipo

Figura 14.

Precio de algunos componentes para SAALL

Documento: COT Impresión Automática **MENU >>** **COTIZACION**
 Número: 020956 Día: 23 **ENERO DE 2023**
 Cliente: 22222222222 CLIENTE Condiciones L Precio: 01 **PRECIO PUBLICO**
 Municipio: Dirección: MESA LOS SANTOS
 Fecha: 23/01/2023 Plazo: 0 Vcto: 23/01/2023 Asesor: 002 YANIRA ORTIZ
 Detalle: Unidad UNIDAD 509,999.49 Saldo: 5.00

Código	Nombre	Bodega	Cantidad	Precio	% Iva	% Dcto	Valor Dcto	
	TANQUE 1000 LTS ACUAVIVA BICOLOR	0001	0.00	0.00	19.00	0.00	0.00	
#	PRODUCTO	BOD	NOMBRE	Unidad	CANTIDAD	PRECIO	% DCTO % IVA	TOTAL
8	002706	0001	TANQUE 1000 LTS ACUAVIVA BICOLOR	UNIDA	1.00	510,000.00	0.00 19	510,000.00
7	001839	0001	TUBO PRESION 1/2 T.P. (METROS) RDE-9	UNIDA	6.00	3,200.00	0.00 19	19,200.00
6	001512	0001	SOLDADURA PVC 1/8	UNIDA	1.00	43,000.00	0.00 19	43,000.00
5	001669	0001	TEE PRESION 1/2	UNIDA	1.00	1,000.00	0.00 19	1,000.00
4	000377	0001	CODO PRESION 1/2	UNIDA	1.00	700.00	0.00 19	700.00
3	000030	0001	ADAPTADOR HEMBRA 1/2	UNIDA	1.00	700.00	0.00 19	700.00
2	000035	0001	ADAPTADOR MACHO 1/2	UNIDA	1.00	700.00	0.00 19	700.00
1	004168	0001	SISTEMA RIEGO 1 1/4	UNIDA	1.00	177,500.00	0.00 0	177,500.00


Subtotal: 660,945.39 Dcto: 0.00 IVA: 91,854.61 Impoco: 0.00 Retas, Seguros y Otras: 0.00 **Neto Total: 752,800.00**
 Det: Rete-Fuente: 0.00 Rete-Iva: 0.00 Rete-Ica: 0.00 Rete-Fte2: 0.00 Otra-Rete: 0.00 752,800.00 Aplicar Retenciones

Nota. Tomado de VillaGres S.A.S, 2023¹⁴.

¹⁴Ortiz, Y. (2023). Cotización de materiales No.020956. VillaGres SAS. Los Santos

Figura 15.

Precio de algunos componentes para SAALL

		FERRELINDEROS S.A.S NIT. 901352665-6 VEREDA LINDEROS LOS SANTOS - COLOMBIA 3013901226 ferrelinderos@hotmail.com		COTIZACION No. 0000 000125		
SEÑORES : CLIENTE MOSTRADOR		N.I.T: 222		FECHA : 2023/01/21		
DIRECCION: LOS SANTOS				BODEGA:		
TELEFONO: 3192920083		CIUDAD: LOS SANTOS - Santander		VENDEDOR: DIANA MARCELA		
CODIGO	PRODUCTO	CANTIDAD	UNIDAD	PRECIO UNIT.	IVA	TOTAL
000951	TANQUE BICAPA TOPTEC 500 LTS	1.00	UND	258,000	19	258,000
004130	CANALETA 32 X 12	1.00	UND	12,000	19	12,000
002107	VALVULA BOLA LISA 2 PVC	1.00	UND	35,000	19	35,000
001678	ABRAZADERA INDUSTRIAL 515	15.00	UND	4,000	19	60,000
000651	TUBO 2 S/P SANT	15.00	MTR	9,500	19	142,500
000916	CANAL RAINGO C 30	1.00	UND	56,900	19	56,900
000931	UNION CANAL RAINGO C30	2.00	UND	8,850	19	17,700
000910	BAJANTE CANAL 3 MTS	1.00	UND	70,700	19	70,700
000913	CODO BAJANTE 90	4.00	UND	8,200	19	32,800

Nota. Tomado de Ferrelinderos S.A.S, 2023¹⁵.

¹⁵Cotización de materiales No.000125. (2023). Ferrelinderos S.A.S. Los Santos.

Apéndice Q. Análisis precio unitario

Tabla 9.

Análisis de precio unitario para la actividad de suministro e instalación de bajante.

PROYECTO SISTEMA DE APROVECHAMIENTO DE AGUAS LLUVIA PARA FINES PRODUCTIVOS EN VEREDA GARBANZAL LOS SANTOS						
ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS						
ID	DESCRIPCIÓN					UNIDAD
1.1.2	Suministro e instalación bajantes de agua lluvia y accesorios					m
I. EQUIPO						
DESCRIPCIÓN	MARCA	UND	TARIFA / UND	RENDIMIENTO	Vr. UNITARIO	
Herramienta menor	-	-	513.60	0.10	\$ 51.36	
SUBTOTAL \$					\$51.36	
II. MATERIALES						
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	PRECIO UNIT.	CANTIDAD	Vr. UNITARIO		
Tubo PVC sanitario 3"	ml	\$ 23,715.00	1.050	\$ 24,900.75		
Soldadura PVC NTC 576 (1/8GL)	un	\$ 2,581.00	0.050	\$ 129.05		
Abrazadera fija doble ala 3"	un	\$ 5,573.00	1.000	\$ 5,573.00		
Limpiador para PVC Y CPVC (1/4GL)	un	\$ 1,403.00	0.030	\$ 42.09		
Conexión TEE PVC 3"	un	\$ 10,318.00	0.100	\$ 1,031.80		
Codo PVC bajante 3"	un	\$ 5,443.80	0.200	\$ 1,088.76		
Chazo para tornillo 1/8 x 1-1/4	un	\$ 520.00	2.000	\$ 1,040.00		
DESPERDICIO (5%)				1,690.27		
SUBTOTAL \$					\$35,495.72	
III. TRANSPORTES						
MATERIAL	VOL. o PESO	DISTANCIA	M ³ -Km	TARIFA	Vr. UNITARIO	
No aplica	-	-	-	-	\$ -	
SUBTOTAL \$					\$0.00	
IV. MANO DE OBRA						
TRABAJADOR	UNIDAD	PRECIO UNIT.	CANTIDAD	Vr. UNITARIO		
Cuadrilla instalaciones basicas	hc	\$ 5,136.00	0.10	\$ 513.60		
SUBTOTAL \$					\$ 513.60	
TOTAL COSTO DIRECTO \$					\$36,061.00	

Apéndice R. Presupuesto

Tabla 10.

Presupuesto total Sistema De Aprovechamiento De Aguas Lluvia Con Fines Productivos En Una Vivienda Rural De La Vereda Garbanzal

PROYECTO SISTEMA DE APROVECHAMIENTO DE AGUAS LLUVIA PARA FINES PRODUCTIVOS EN VEREDA GARBANZAL LOS SANTOS					
PRESUPUESTO					
PROYECTO VEREDA GARBANZAL					
N°	CONCEPTO	UNIDAD DE MEDIDA	VALOR UNITARIO	CANTIDAD	SUBTOTAL ESTIMADO
1.1	CONDUCCIÓN				\$ 593,930
1.1.1	Suministro e instalación de canaleta de recolección y accesorios	ml	\$ 20,000	12.00	\$ 240,000
1.1.2	Suministro e instalación bajantes de agua lluvia y accesorios	ml	\$ 35,393	10.00	\$ 353,930
1.2	ACCESORIOS				\$ 137,495
1.2.1	Suministro e instalación conexión canaleta-bajante	un	\$ 14,900	1	\$ 14,900
1.2.2	Suministro e instalación de válvula de paso 1 1/4"	un	\$ 7,900	2	\$ 15,800
1.2.3	Suministro e instalación de válvula de paso 2 1/2"	un	\$ 67,300	1	\$ 67,300
1.2.3	Suministro e instalación de filtro de malla	un	\$ 39,495	1	\$ 39,495

PROYECTO SISTEMA DE APROVECHAMIENTO DE AGUAS LLUVIA PARA FINES PRODUCTIVOS EN VEREDA GARBANZAL LOS SANTOS					
PRESUPUESTO					
PROYECTO VEREDA GARBANZAL					
1.3	TANQUE				\$ 510,000
1.3.1	Suministro e instalación de tanque de almacenamiento y accesorios	un	\$ 510,000	1	\$ 510,000
1.4	RIEGO				\$ 191,010
1.4.1	Suministro e instalación de tubería PVC 1 1/4 y accesorios	ml	\$ 9,318	15.00	\$ 139,770
1.4.2	Suministro e instalación de cinta de riego y accesorios	ml	\$ 488	105.00	\$ 51,240
SUBTOTAL PRESUPUESTO					\$ 1,432,435
IMPREVISTOS (8%)					\$ 114,595
PRESUPUESTO TOTAL					\$ 1,547,030