

Información Importante

La Universidad Santo Tomás, informa que el(los) autor(es) ha(n) autorizado a usuarios internos y externos de la institución a consultar el contenido de este documento a través del catálogo en línea, página web y Repositorio Institucional del CRAI-USTA, así como en las redes sociales y demás sitios web de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad.

Se permite la consulta a los usuarios interesados en el contenido de este documento, para todos los usos que tengan **finalidad académica**, siempre y cuando mediante la correspondiente cita bibliográfica se le dé crédito al trabajo de grado y a su autor, nunca para usos comerciales.

De conformidad con lo establecido en el Artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, la Universidad Santo Tomás informa que “los derechos morales sobre documento son propiedad de los autores, los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.”

Centro de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación, CRAI-USTA
Universidad Santo Tomás, Bucaramanga

**Diseño de un Sistema de Aprovechamiento de Agua Lluvia como Alternativa de
Abastecimiento para el Sistema de Riego en la Finca Jema Ubicada en la Vereda**

Palonegro - Lebrija

María Angélica Duarte Argüello

Trabajo de grado para optar el título de Ingeniero Civil

Director

Jherson Mauricio Suarez Santos

Msc. Ingeniería Civil

Universidad Santo Tomás, Bucaramanga

División de Ingenierías y Arquitectura.

Facultad Ingeniería Civil

2021

Dedicatoria

Dedico mi trabajo a Dios por haberme guiado a lo largo de mi vida y carrera profesional. A mi madre, por apoyarme incondicionalmente en cada una de mis decisiones y demostrarme su cariño. A mi padre por creer siempre en mí y a mi hermano por ser parte de mi vida y alegrarla cada día.

A la memoria de mi abuelo Clemente, por enseñarme el verdadero amor.

Agradecimientos

Primero quiero iniciar dándole las gracias a Dios por haberme guiado a lo largo de mi vida y carrera profesional. A mi familia por su apoyo y comprensión. A mi director, el ingeniero Jherson Mauricio Suarez por su dedicación y paciencia brindado a este trabajo. También agradezco a los docentes Sandra Duran y David Gutiérrez por su orientación durante la formulación del proyecto.

Gracias por todo.

Contenido

	Pág.
Introducción.....	15
1. Diseño de un Sistema de Aprovechamiento de Agua Lluvia como Alternativa de Abastecimiento para el Sistema de Riego en la Finca Jema Ubicada en la Vereda Palonegro – Lebrija.	16
1.1 Planteamiento del Problema.....	16
1.2 Justificación.....	18
1.3 Objetivos	19
1.3.1 Objetivo General	19
1.3.2 Objetivos Específicos	20
2. Marco Teórico.....	20
2.1 Antecedentes Implementación de Sistemas de Aprovechamiento de Agua Lluvia	20
2.1.1 Experiencia Implementación de Sistemas de Aprovechamiento de Agua Lluvia	20
2.1.2 Beneficios Implementación de Sistemas de Aprovechamiento de Agua Lluvia	22
2.2 Sistemas de Aprovechamiento de Agua Lluvia	22
2.2.1 Diseño de sistema de Aprovechamiento Agua lluvia.....	24
2.3 Sistemas de Drenaje.....	36
2.3.1 Drenajes a Cielo Abierto	37
2.3.2 Drenes Subterráneos.....	40
2.4 Riego	42
2.4.1 Sistemas de Riego	42
3. Método.....	48

3.1 Etapa 1: Cálculo de Áreas Potenciales Para Captación de Agua Lluvia	50
3.1.1 Cálculo de Área y Caracterización del material de Cubierta.....	50
3.1.2 Cálculo de Área de la Superficie del Terreno.....	51
3.2 Etapa 2: Selección Drenaje Óptimo para Captación de Agua Lluvia de la Superficie del Terreno.....	51
3.3 Etapa 3: Recolección de Datos Pluviométricos de Estaciones del IDEAM.....	52
3.4 Etapa 4: Estimación del Volumen del Tanque de Almacenamiento	54
3.4.1 Estimación de la Demanda	54
3.4.2 Estimación de la Oferta	55
3.5 Etapa 5: Dimensionamiento del Drenaje	55
3.6 Etapa 6: Dimensionamiento del Sistema de Captación, Recolección y Conducción	56
3.7 Etapa 7: Selección sistema de Riego	56
4. Resultados.....	56
4.1 Etapa 1: Cálculo de Áreas Potenciales para Captación de Agua Lluvia	56
4.1.1 Cálculo de Área y Caracterización del Material de Cubierta	56
4.1.2 Cálculo de Área de la Superficie del Terreno.....	58
4.2 Etapa 2: Selección Drenaje Óptimo para Captación de Agua Lluvia de la Superficie del Terreno.....	59
4.3 Etapa 3: Recolección de Datos Pluviométricos de Estaciones del IDEAM.....	60
4.4 Etapa 4: Estimación del Volumen del Tanque de Almacenamiento	65
4.4.1 Estimación de la Demanda	65
4.4.2 Estimación de la Oferta	66
4.5 Etapa 5: Dimensionamiento del Drenaje	68

4.6 Etapa 6: Dimensionamiento del Sistema de captacion, recolección y conducción	70
4.6.1 Canales.....	71
4.6.2 Red de Tubería	72
4.7 Etapa 7: Selección del Sistema de Riego	75
5. Conclusiones	79
6. Recomendaciones.....	80
Referencias	81
Apéndices	84

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. <i>Coeficientes de escorrentía según la superficie de cubierta</i>	25
Tabla 2. <i>Tabulación datos determinación de volumen a almacenar</i>	26
Tabla 3. <i>Coeficiente de rugosidad de Manning</i>	30
Tabla 4. <i>Coeficiente de Manning de acuerdo con la condición del dren</i>	39
Tabla 5. <i>Talud de la pared de acuerdo con el material de excavación</i>	39
Tabla 6. <i>Coeficiente de rugosidad de Manning de acuerdo con el material de la tubería.</i>	42
Tabla 7. <i>Tabla para la estimación del volumen del tanque de almacenamiento</i>	54
Tabla 8. <i>Dimensiones del Área Productiva de Cubierta – Finca Jema</i>	58
Tabla 9. <i>Dimensiones de la superficie de empozamiento.</i>	59
Tabla 10. <i>Evaluación sistema de drenaje zanjas colectoras y drenes de tubería</i>	60
Tabla 11. <i>Precipitaciones mensuales periodo 2005-2019</i>	61
Tabla 12. <i>Precipitación anual periodo 2005-2019.</i>	61
Tabla 13. <i>Precipitaciones máximas en 24 horas</i>	62
Tabla 14. <i>Intensidades para periodo de retorno 5, 10 y 15 años</i>	63
Tabla 15. <i>Estimación demanda de agua</i>	65
Tabla 16. <i>Oferta de agua lluvia - Finca Jema</i>	67
Tabla 17. <i>Volumen del tanque de Almacenamiento</i>	67
Tabla 18. <i>Promedio de volumen de agua lluvia a almacenar</i>	68
Tabla 19. <i>Caudales de diseño</i>	70
Tabla 20. <i>Dimensionamiento del Canal</i>	71
Tabla 21. <i>Calculo diámetro bajantes</i>	72

Tabla 22. <i>Cálculo de tubería de flujo horizontal 1</i>	73
Tabla 23. <i>Cálculo de tubería de flujo horizontal 2</i>	73
Tabla 24. <i>Verificación parámetros tubería de flujo horizontal</i>	74
Tabla 25. <i>Comparación entre los sistemas de Riego</i>	77

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. <i>Diagrama de Precipitaciones Lebrija</i>	16
Figura 2. <i>Empozamiento de agua lluvia – Finca Jema</i>	17
Figura 3. <i>Edificio de posgrados de ciencias humanas Universidad Nacional</i>	22
Figura 4. <i>Sistema de Aprovechamiento de agua lluvia.</i>	23
Figura 5. <i>Elementos geométricos de secciones de canal</i>	31
Figura 6. <i>Dimensiones de tubería horizontal</i>	34
Figura 7. <i>Dimensionamiento de desagües principales de cubierta, ramales y bajantes de aguas lluvias.</i>	36
Figura 8. <i>Drenes a cielo abierto</i>	37
Figura 9. <i>Sección transversal Zanja Colectora</i>	37
Figura 10. <i>Drenes Subterráneos</i>	40
Figura 11. <i>Dren de tubería</i>	41
Figura 12. <i>Riego por surco</i>	45
Figura 13. <i>Riego por inundación</i>	45
Figura 14. <i>Riego por aspersión</i>	46
Figura 15. <i>Riego por microaspersión</i>	47
Figura 16. <i>Riego por goteo</i>	48
Figura 17. <i>Etapas de la metodología</i>	49
Figura 18. <i>Cubierta a dos aguas</i>	50
Figura 19. <i>Sección transversal techo a dos aguas.</i>	51
Figura 20. <i>Sección transversal de la cubierta - Finca Jema</i>	57

Figura 21. <i>Planta de la cubierta – Finca Jema</i>	57
Figura 22. <i>Vista satelital de la zona de empozamiento</i>	58
Figura 23. <i>Zona de Empozamiento</i>	59
Figura 24. <i>Curvas IDF-Estación Aeropuerto Palonegro</i>	64
Figura 25. <i>Precipitación promedio mensual [2005-2019]</i>	66
Figura 26. <i>Sección transversal dren de tubería subterráneo.</i>	69
Figura 27. <i>Vista en planta sistema de drenaje</i>	69
Figura 28. <i>Sección transversal del canal</i>	71
Figura 29. <i>Sección transversal desagüe del Canal</i>	72
Figura 30. <i>Boceto red de tubería aprovechamiento de agua lluvia</i>	73
Figura 31. <i>Vista en planta del sistema de captación de agua lluvia</i>	74
Figura 32. <i>Identificación de la Finca Jema y trazado Longitudinal</i>	75
Figura 33. <i>Recta Longitudinal – Ubicación del Cultivo</i>	76
Figura 34. <i>Perfil de elevación – recta longitudinal anterior</i>	76

Lista de Apéndices

	Pág.
Apéndice A. <i>Cálculos para la elaboración de las Curvas IDF</i>	84
Apéndice B. <i>Sistema de drenaje – zona de empozamiento. (Sin Escala). Unidades en metros</i> ...	85
Apéndice C. <i>Cálculos tubería flujo horizontal.</i>	86
Apéndice D. <i>Sistema de captacion de agua lluvia y tanque de almacenamiento. (sin Escala). Unidades en metros</i>	87

Resumen

El presente trabajo contiene el diseño del sistema de captación de aguas lluvias de cubierta y terreno de la finca Jema ubicada en la vereda Palonegro del municipio de Lebrija-Santander; el cual pretende dar fin a los empozamientos de aguas lluvias durante eventos de fuertes y prolongadas precipitaciones, y poder abastecer el sistema de riego de cultivos.

Este se realizó de acuerdo con la normatividad vigente en Colombia, los fundamentos hidráulicos y la base de datos pluviométricos del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) durante el periodo 2005-2019. Este proyecto se desarrolló gracias a una metodología de tipo cuantitativa y cualitativa compuesta por 7 etapas: en estas se obtuvieron datos de precipitaciones, áreas productivas, se realizaron evaluaciones para determinar el tipo de drenaje y sistema de riego óptimo, y se diseñó el sistema de captación de agua lluvia con su respectivo almacenamiento.

Finalmente se diseñó un sistema de recolección de agua lluvia que recolecta en el año 150,82 m³ de agua lluvia y cubre la demanda de riego de 146,40 m³, y se recomendó un sistema de riego por goteo el cual distribuye de una manera eficiente el agua recolectada.

Palabras clave: Agua lluvia, recolección, diseño, sistema de aprovechamiento, captación.

Abstract

This work contains the design of the rainwater catchment system for the roof and land of the Jema farm located in the Palonegro village of the municipality of Lebrija-Santander; which aims to end the pools of rainwater during events of heavy and prolonged rainfall, and to supply the irrigation system for crops.

This was carried out in accordance with the regulations in force in Colombia, the hydraulic fundamentals and the rainfall database of the Institute of Hydrology, Meteorology and Environmental Studies (IDEAM) during the period 2005-2019. This project was developed thanks to a quantitative and qualitative methodology composed of 7 stages: in these, data on rainfall, productive areas were obtained, evaluations were carried out to determine the type of drainage and optimal irrigation system, and the system of rainwater catchment with its respective storage.

Finally, a rainwater collection system was designed that collects 150.82 m³ of rainwater in the year and covers the irrigation demand of 146.40 m³, and a drip irrigation system was recommended, which distributes efficiently the collected water.

Keywords: Rainwater, collection, design, harvesting system, catchment.

Introducción

El agua es un recurso natural fundamental para la supervivencia del hombre; al igual que para llevar a cabo actividades como la agricultura y la ganadería. Ante el cambio climático, la escasez de agua es cada vez más frecuente, provocando el déficit de este recurso. Esto hace que el agua sea un tema de prioridad para todos los ciudadanos, es por ello, que los gobiernos han buscado formas para hacer uso adecuado del agua y alternativas que permitan suplir la demanda de agua en zonas declaradas con déficit del recurso hídrico.

Para el caso de Colombia, el Reglamento Técnico para el Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico fija criterios para llevar a cabo diferentes tipos de alternativas tecnológicas para el abastecimiento de agua en viviendas rurales, en base a documentos de entidades internacionales como la organización panamericana de la salud y el centro panamericano de ingeniería sanitaria y ciencias del ambiente (CEPIS). Entre estas alternativas para el abastecimiento de agua se encuentra la captación o también conocida como cosecha de agua lluvia.

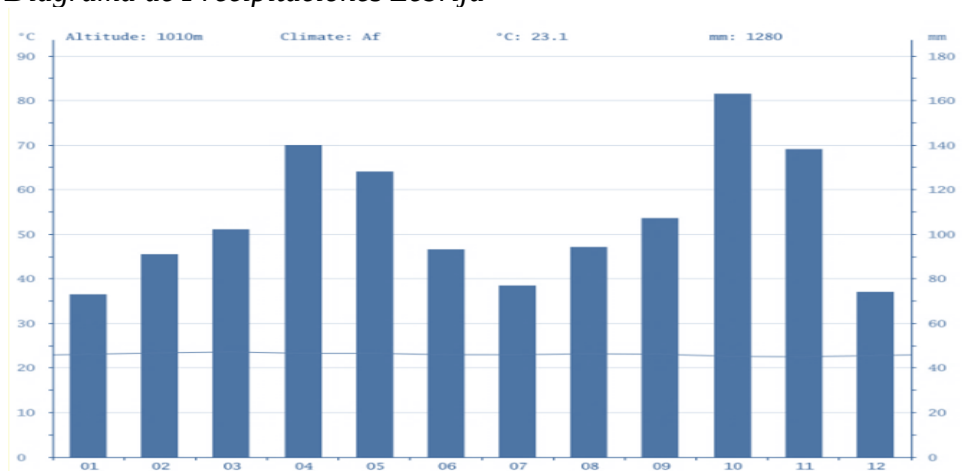
En esta ocasión con el fin de solucionar los problemas de déficit del recurso hídrico para desarrollar la actividad agrícola en la Finca Jema, Ubicada en la Vereda Palonegro del municipio de Lebrija, Santander; se busca por medio de este proyecto diseñar un sistema de aprovechamiento de agua lluvia para su respectivo uso en el riego de los cultivos. A lo largo de este documento se hablará de la importancia de estos sistemas de aprovechamiento de agua, sus beneficios y casos de éxito alrededor del mundo y en Colombia, el diseño del sistema de captacion de agua lluvia, su almacenamiento y respectivos resultados que permitan la implementación de este sistema con éxito. Adicional a esto, se sugiere un sistema de riego que se adapte al terreno y al tipo de cultivo existente permitiendo un aprovechamiento total del agua lluvia almacenada.

1. Diseño de un Sistema de Aprovechamiento de Agua Lluvia como Alternativa de Abastecimiento para el Sistema de Riego en la Finca Jema Ubicada en la Vereda Palonegro – Lebrija.

1.1 Planteamiento del Problema

Colombia se encuentra ubicada próxima a la línea del ecuador, por esta razón solo presenta temporadas de verano e invierno. Para el caso del municipio de Lebrija, departamento de Santander, se cuenta con un régimen climático de veranos cortos y calientes entre diciembre y finales de febrero, y entre mediados de junio hasta mediados de agosto. De igual manera, cuenta con inviernos cortos y húmedos desde los meses de marzo hasta mediados de junio, y desde mediados de agosto hasta finales de noviembre, como se puede observar en la siguiente gráfica:

Figura 1. *Diagrama de Precipitaciones Lebrija*



Adaptada de Climate Data [1].

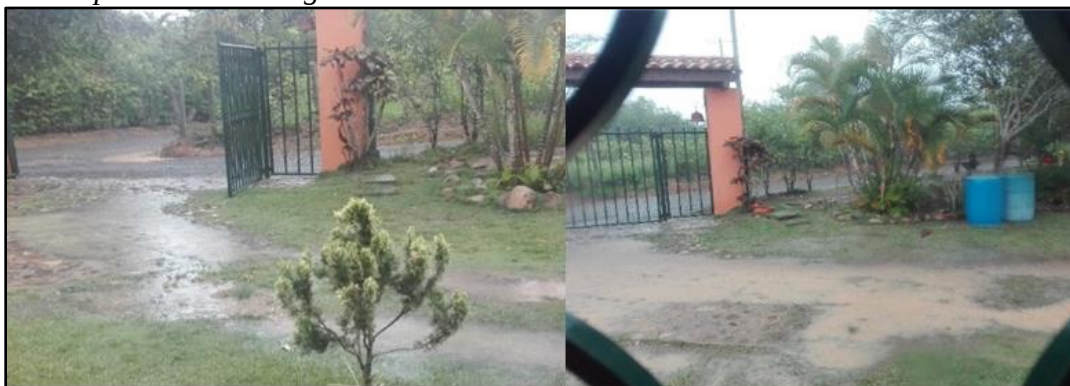
Como parte del municipio de Lebrija, encontramos la vereda Palonegro en la cual podemos ubicar la Finca Jema, cuya actividad principal es la agricultura, y en los meses de verano tiene déficit para desarrollar sus actividades. Esto, además, es paradójico, teniendo en cuenta el

empozamiento que se produce en invierno. A continuación, se expone a detalle los motivos por los cuales se presenta el problema.

Primero, de acuerdo con el plan de desarrollo 2016-2019, de las zonas rurales del municipio de Lebrija, el 13,5% cuenta con sistemas de acueductos, mientras que el 86,5% restante acuden a nacientes, perforaciones o quebradas aledañas a sus predios para obtener recurso hídrico el cual suministrara agua para uso humano y agrícola. En el caso de la finca Jema esta cuenta con una quebrada aledaña compartía con otro predio para uso agrícola y agua previamente tratada extraída de una “perforación” para consumo humano. Sin embargo, en épocas de verano debido al bajo nivel del agua en la quebrada, se opta por usar el agua previamente tratada para la agrícola con tal de no generar pérdidas en los cultivos.

Adicionalmente, según el esquema de ordenamiento territorial de Lebrija (EOT 2003), el municipio está consolidado sobre 17 formaciones litológicas de origen sedimentario formado por capas arcillosas y arenosas. En épocas de invierno, cuando las precipitaciones son tan fuertes el suelo se satura obstruyendo su filtración y generando empozamiento de agua lluvia en él, debido a su conformación litológica como se puede observar en las siguientes imágenes.

Figura 2. *Empozamiento de agua lluvia – Finca Jema*



Por último, como consecuencia del cambio climático presenciado en los últimos años, el ser humano ha tenido que buscar alternativas para obtener el recurso hídrico y dar un correcto uso a este. De allí la importancia de identificar oportunidades en el entorno como lo es en la Finca Jema la cual cuenta con un área en cubierta de 139 m² aproximadamente; características como estas, permiten pensar en un sistema de aprovechamiento de agua lluvia de cubierta y superficie que den solución a la falta de agua en verano para el riego de cultivos y del empozamiento de agua lluvia en invierno; este estará dividido en dos: un drenaje que filtre y capte el agua lluvia de la superficie, y el sistema de recolección de agua lluvia de cubierta compuesta por la captación, recolección, conducción y almacenamiento.

En conclusión, teniendo en cuenta la insuficiente oferta hídrica para el desarrollo de actividades agrícolas en época de verano y el empozamiento existente durante los periodos de invierno; existe un déficit de agua en la finca Jema que fácilmente podrían ser cubiertas si se aprovechara la precipitación invernal existente en el lugar.

1.2 Justificación

El cambio de clima ha hecho que la humanidad este en constante innovación buscando alternativas para hacer uso responsable de los recursos. Uno de los recursos que tiene un consumo elevado es el agua dulce, donde a nivel mundial se extrae aproximadamente 3600 km³ al año de los cuales de un 50%, el 65% de esta es utilizada en la agricultura según el portal profesional del medio ambiente [2]. Entre esas alternativas se encuentra el aprovechamiento de agua lluvia como fuente principal para el riego, la cual en Colombia está regida por la RAS 2000, en su título J, de Alternativas tecnológicas en aguas y saneamiento para el sector Rural [3].

Al paso de los años en Colombia son cada vez más las empresas que optan por la implementación de estos sistemas de captación de agua lluvia; un ejemplo de ello es el Hipermercado Alkosto Venecia, Ubicado en la Ciudad de Bogotá; el cual cuenta con un área de captación tipo cubierta de 6000 m², que permite la captación de aproximadamente 6000 m³ de agua lluvia anual siendo este volumen suficiente para satisfacer la demanda total de la edificación [4].

En el caso del municipio de Lebrija, donde se encuentra ubicada la Finca Jema; la agricultura es una de las principales actividades económicas, la cual abarca desde pequeñas hasta extensas tierras cultivadas, teniendo un alto consumo de agua. Es por esto de la importancia de desarrollar este proyecto de aprovechar el agua lluvia para el riego, ya que permite que la agricultura de la región en pequeñas extensiones se desarrolle sosteniblemente y la oferta de agua para el consumo humano aumente. Adicional a esto recolectar las aguas lluvias que el suelo no es capaz de filtrar ante las prolongadas precipitaciones permite que el suelo no se erosione ni que se generen encharcamientos en la finca Jema. De no llevarse a cabo, la actividad agrícola desarrollada en la finca Jema representara incrementos en gastos de los servicios de agua en los periodos de verano y en un futuro, las aguas empozadas por las fuertes lluvias en invierno provocaran daños a la cimentación de la edificación.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Diseñar un sistema de aprovechamiento de agua lluvia como alternativa de abastecimiento de agua para el sistema de riego en la finca Jema vereda Palonegro.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Estimar el volumen de precipitación mensual existente en el lugar de estudio.
- Definir el sistema de drenaje óptimo para la captación de agua lluvia superficial.
- Diseñar el sistema de captación y almacenamiento agua lluvia de cubierta.
- Proponer un sistema de riego de acuerdo con las necesidades del lugar.

2. Marco Teórico

En el siguiente capítulo se presenta las experiencias de la implementación de sistemas de aprovechamiento de agua lluvia en el mundo a través de los años y los beneficios que estos han traído. Adicional a esto, se exponen los elementos que conforma un sistema de captación de agua lluvia y la teoría necesaria para el diseño de este tipo de sistemas. Finalmente, se describen los diferentes tipos de sistemas de drenajes y de riego que permiten aprovechar al máximo el agua lluvia y distribuirla de manera eficiente.

2.1 Antecedentes Implementación de Sistemas de Aprovechamiento de Agua Lluvia

2.1.1 Experiencia Implementación de Sistemas de Aprovechamiento de Agua Lluvia

El hombre desde sus comienzos ha usado las aguas superficiales como fuente de abastecimiento, consumo y transporte, es por esto por lo que los ríos eran los lugares escogidos por las civilizaciones para establecerse. Pero al transcurrir el tiempo estas civilizaciones fueron creciendo de manera tal que algunos pueblos emigraron a zonas áridas o semiáridas iniciando nuevas formas de captación de aguas lluvias, como alternativa para el riego y el consumo doméstico [5]. Distintas maneras de captación de agua lluvia se han desarrollado y usado tradicionalmente a través del mundo como lo son:

- En el desierto de Negev, Israel y Jordania, fueron encontrados sistemas de captación de agua lluvia que consistían en desmontar los lomeríos para incrementar la escorrentía superficial la cual iba dirigida a las zonas más bajas donde se desarrollaba actividades agrícolas.
- Para los siglos III y IV A.C, las casas de la ciudad de Roma contaban con un espacio a cielo abierto en el cual se ubicada un tanque para la recolección del agua lluvia.
- En Irán se encuentran los abarbans, el sistema tradicional local para captación y almacenamiento de agua lluvia.
- El imperio maya recogía el agua en áreas entre 100 a 200 m² la cual era almacenada en cisternas excavadas en el subsuelo e impermeabilizadas con yeso de aproximadamente 5 metros de diámetro.

Siglos más tardes el uso de estos sistemas de aprovechamiento de agua lluvia disminuyo debido a la imposición de técnicas y obras para el aprovechamiento de aguas superficiales y subterráneas eliminando la posibilidad de sistemas de aprovechamiento de agua lluvia u otros sistemas alternativos [5].

En Colombia existen edificaciones que implementan sistemas de aprovechamiento de agua lluvia para cubrir su totalidad o parcialmente su demanda, como lo son:

- Almacén Alkosto Venecia (Bogotá), el cual aprovecha su cubierta de 6.000 m².
- Almacén Alkosto de Villavicencio aprovechando sus 1.061 m² de cubierta.
- Edificio de Posgrados de ciencias humanas, Universidad Nacional – Bogotá filtrando el agua de cubierta a través de una capa de grava para ser usada en la descarga de inodoros, alimentar fuentes y espejos de agua [5].

Figura 3. *Edificio de posgrados de ciencias humanas Universidad Nacional*



Adaptado de: Relaciones entre postulados posmodernos y la arquitectura de Rogelio Salmona: Edificio de Posgrados de Ciencias Humanas, Universidad Nacional de Colombia [6].

2.1.2 Beneficios Implementación de Sistemas de Aprovechamiento de Agua Lluvia

En los últimos años el uso de sistemas de aprovechamiento de agua lluvia han venido incrementando debido a la disminución del recurso hídrico; ofreciendo diferentes beneficios como son:

- Mejoramiento de la calidad de vida de la población de regiones secas, proporcionando suministro de agua.
- Hace posible la agricultura en aquellos lugares donde no hay fuentes de agua disponible para el riego.
- Mitiga empozamiento de agua lluvia, reduciendo la erosión del suelo.

Adicional a esto es un sistema de fácil construcción e implementación con un bajo costo desde su construcción a mantenimiento [7].

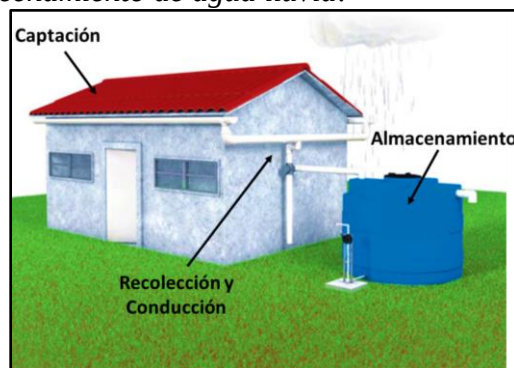
2.2 Sistemas de Aprovechamiento de Agua Lluvia

Los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia son la consecuencia de las necesidades de la población, los recursos disponibles (precipitación, dinero para invertir y materiales de

construcción) y las condiciones ambientales de las regiones [5]. Estos sistemas aprovechan el agua lluvia de cubiertas o suelos impermeables, siendo conducida hacia un tanque para luego ser usada; estos pueden ser sencillos en los cuales el agua es almacenada y aprovechada directamente, y complejos en el cual el agua es captada, tratada, almacenada y distribuida según las necesidades, en este, el sistema cuenta con filtros, procesos de desinfección y sistemas de bombeos [5]. El sistema de aprovechamiento de agua lluvia consta básicamente de 5 componentes básicos:

- Área de influencia o captación: Son aquellas zonas descubiertas que están en contacto con el agua lluvia como lo son cubiertas o cualquier superficie impermeable.
- Transporte: también conocido como recolección y conducción, son conductos que dirigen el agua al depósito como lo son canales y tubería.
- Limpieza: Elimina aquellos solidos que por efecto del arrastre del agua lluvia en la cubierta trae el agua.
- Depósito o Almacenamiento: Espacios en los que se almacenara el agua lluvia recolectada ya sea tanques o cisternas.
- Purificación: si el agua recolectada es para suministro de agua potable; esta debe ser tratada y purificada [8].

Figura 4. Sistema de Aprovechamiento de agua lluvia.



Adaptada de Sistema de captacion pluvial [9].

2.2.1 Diseño de sistema de Aprovechamiento Agua lluvia

Para el caso de Colombia, el diseño de los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia se realizan bajo los lineamientos del Reglamento Técnico del sector de Agua Potable y Saneamiento Básico -RAS 2000, título J- Alternativas tecnológicas en aguas y saneamiento para el sector Rural en su sección 8.9 Captación de agua lluvia, el cual, se apoya de la Guía de diseño para la captación de agua lluvia [10].

Además, se encuentra la ley 48 de 2017 la cual implementa e incentiva los sistemas de recolección, tratamiento y aprovechamiento de aguas lluvias y captación de energía solar en edificaciones nuevas o existentes en territorio nacional, con el propósito de cuidar el recurso hídrico y contribuir a la preservación del medio ambiente.

Para llevar a cabo el diseño del sistema de aprovechamiento de agua lluvia, se debe conocer el régimen hidrológico de la región donde se va a realizar el proyecto. El sistema debe estar basado en los datos de precipitación mensual, con base en registros de por lo menos los últimos 10 años; estos reportados por el instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales -IDEAM.

2.2.1.1 Determinación del Promedio Mensual de Precipitación. a partir de los datos del IDEAM se obtiene el valor promedio mensual del total de años [10].

$$P_{pi} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{n} \quad (\text{ecuación 1})$$

Donde:

P_{pi} = precipitación promedio mensual del mes “i” de todos los años evaluados. (litros/m²)

P_i = valor de la precipitación mensual del mes “i” (mm/m²)

N = número de años evaluados.

2.2.1.2 Determinación del Volumen del Tanque de Almacenamiento. Teniendo en cuenta los promedios mensuales de precipitación y el coeficiente de escorrentía, se procede a determinar el volumen de agua lluvia captada de acuerdo con la siguiente ecuación propuesta en el título J del reglamento de saneamiento básico (RAS) [3].

$$Vo = \frac{Ppi * c * Ac}{1000} \text{ (ecuación 2)}$$

Donde: Vo= oferta de agua en el mes “i” (m³/mes)

Ppi= precipitación promedio mensual del mes “i” (mm/mes)

c= coeficiente de escorrentía superficie de captación

Ac= Área de captación (m²)

Tabla 1. *Coeficientes de escorrentía según la superficie de cubierta*

Tipos de superficies o cobertura del área de captación	Coeficiente de escorrentía (c)
Teja de lámina plástica	0.9
Lamina metálica galvanizada	0.9
Teja de asbesto cemento	0.9
Teja de arcilla cocida	0.8 – 0.9
madera	0.8
paja	0.6 – 0.7
Piso cementado	0.9
Piso pavimentado con ladrillo	0.8

Nota: Esta tabla contiene el valor del coeficiente de escorrentía de algunas superficies de captación. Adaptado de RAS 2000 [3].

Teniendo el valor de demanda mensual y oferta de agua lluvia mensual, se calcula los acumulados de oferta y demanda de agua lluvia. con esto se procede a calcular la diferencia entre ellos para determinar el volumen de agua lluvia a almacenar.

$$Vi = Vo - Di \text{ (ecuación 3)}$$

Donde:

Vi = volumen de agua a almacenar en el mes “i” (m^3)

Vo = oferta de agua en el mes “i” (m^3)

Di = demanda de agua en el mes “i” (m^3)

Con esto se calculará el acumulado de agua a almacenar mes a mes para determinar cuál va a ser el volumen total del tanque de almacenamiento de la siguiente manera.

Tabla 2. *Tabulación datos determinación de volumen a almacenar*

Prom. Precipitación	Área Productiva	Oferta de agua	Oferta Acumulada.	Demanda de agua	Demanda Acumulada.	Diferencia Demanda Acum. y Oferta Acum.
------------------------	--------------------	-------------------	----------------------	--------------------	-----------------------	---

Nota: La tabla contiene los datos necesarios para la determinación del volumen de agua lluvia a almacenar de acuerdo con el método Rippl.

Adaptado de Rainwater Harvesting “Rippl Method” [11].

2.2.1.3 Curvas IDF. El Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, define las curvas IDF como:

La Curva Intensidad Duración Frecuencia, representa la intensidad (I) o magnitud de una lluvia fuerte expresada en milímetros por hora, para una duración (D) determinada que

usualmente puede ser 30, 60, 90, 120 o 360 minutos y que se estima tiene una probabilidad de ocurrencia, o frecuencia (F) expresada en años, lo que también se conoce como periodo de retorno [12].

En Colombia el IDEAM realiza las curvas IDF para ciertas estaciones, pero con ayuda de la metodología propuesta por Gustavo Silva basada en los valores máximos de precipitación [mm] en 24 horas se puede realizar la construcción de estas [13]. El cual plantea las siguientes relaciones.

$$P_x > X = \frac{1}{Tr} \text{ (Ecuación 4)}$$

$P_x > X$ = Probabilidad de que suceda la precipitación

Tr = tiempo de retorno como la cantidad de años analizados más 1. (años)

$$Tr = \frac{1}{P_{x>X}} \text{ (Ecuación 5)}$$

Donde

Tr = tiempo de retorno (años)

$P_x > X$ = Probabilidad de que suceda la precipitación.

$$\frac{\text{Precipitación máx.1 hr}}{\text{Precipitación máx.24 hr}} = 0.4 \text{ (Ecuación 6)}$$

Determinación de K para tiempo de retorno analizado.

$$I = \frac{K}{(t+b)^n} \text{ (Ecuación 7)}$$

Tomando:

I = Intensidad (precipitación máx. en 1 hora)

t = tiempo máximo en 1 hora en minutos.

n y b son constantes; que para Colombia son:

$n = 0.5$

$b = 10$

La intensidad para cada periodo de retorno en un rango de tiempo de 15 en 15 minutos hasta 120 minutos. Aplicando la ecuación de Gustavo Silva.

$$I = \frac{K}{(t+b)^n} \text{ (Ecuación 8)}$$

I= Intensidad en mm/hr.

t= tiempo en minutos.

K= Coeficiente partículas para cada periodo de retorno.

n = 0.5

b = 10

2.2.1.4 Desagües de Aguas Lluvias de Cubiertas. Para calcular el caudal que lleva los sistemas de agua lluvia, de acuerdo con la norma ICONTEC 1550 se determina la intensidad de la precipitación de acuerdo con las curvas IDF para un tiempo de retorno de 15 años y duración de 30 minutos.

2.2.1.4.1 Caudal de Diseño. Para estimar el caudal de diseño se puede utilizar el método racional, el cual calcula el caudal pico de agua lluvia con base en la intensidad media del evento de precipitación con una duración igual al tiempo de concentración del área y un coeficiente de escorrentía.

$$Q = C * i * A \text{ (Ecuación 9)}$$

Donde:

Q = Caudal de diseño en l/s.

I = Intensidad de la precipitación en l/s/m².

C = Coeficiente de escorrentía de la cubierta.

A = Área metros.

2.2.1.4.2 Fundamentos Teóricos Hidráulica.

- **Ecuación de Continuidad:** el caudal determina la cantidad de agua que pasa por una sección transversal en un tiempo determinado.

$$Q = V * A \text{ (Ecuación 10)}$$

- **Ecuación de Manning:** Permite el cálculo de la velocidad del agua tanto en tuberías como canales.

$$V = \frac{1}{n} * R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}} \text{ (Ecuación 11)}$$

Q= caudal [m³/s]

A=área sección [m²]

R= radio hidráulico [m]

V= velocidad

S= pendiente [m/m]

n= coeficiente de rugosidad de Manning.

El radio hidráulico, es la relación entre el área y perímetro mojado como se muestra a continuación.

$$R = \frac{A}{P} \text{ (Ecuación 12)}$$

Donde

R= radio hidráulico [m]

A= área hidráulica o área mojada [m²]

P= perímetro mojado [m]

Para determinar el coeficiente de Manning; este depende del tipo de material de la tubería a utilizar, como se puede observar en la tabla 3.

Tabla 3. *Coeficiente de rugosidad de Manning*

Material	Coeficiente de Rugosidad [n]
Asbesto-cemento	0.011 – 0.015
Concreto interior liso	0.011 – 0.015
Concreto interior rugoso	0.015 - 0.017
Arcilla vitrificada, gres	0.011 – 0.015
PVC y fibra de vidrio	0.010 – 0.015
Metal corrugado	0.022 – 0.026

Nota: Esta tabla muestra el coeficiente de rugosidad (n) de algunos materiales de tubería comunes. Adaptado de Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados [14].

2.2.1.4.3 Hidráulica de Canales. Para el diseño de los canales; estos están regidos por la ecuación de Manning (ecuación 11) y la de continuidad (ecuación 10). Con estas dos ecuaciones se obtiene:

$$Q = \frac{1}{n} * R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}} * A \quad (\text{Ecuación 13})$$

Donde

Q= caudal [m³/s]

A=área sección [m²]

R= radio hidráulico [m]

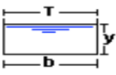
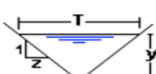
V= velocidad

S= pendiente [m/m]

n = coeficiente de rugosidad de Manning.

Para el Área de la sección transversal, los canales presentan a menudo secciones transversales de figuras geométricas regulares. La siguiente figura relaciona algunas figuras geométricas comúnmente utilizadas[15].

Figura 5. Elementos geométricos de secciones de canal

Sección	Área [A]	Perímetro mojado [P]	Radio hidráulico [R]	Ancho Superficial [T]	Profundidad Hidráulica [D]
Rectangular 	by	$b + 2y$	$\frac{by}{b + 2y}$	b	y
Trapezoidal 	$(b + zy)y$	$b + 2y\sqrt{1 + z^2}$	$\frac{(b + zy)y}{b + 2y\sqrt{1 + z^2}}$	$(b + zy)$	$\frac{(b + zy)y}{b + 2zy}$
Triangular 	zy^2	$2y\sqrt{1 + z^2}$	$\frac{zy}{2\sqrt{1 + z^2}}$	$2zy$	$\frac{y}{2}$

Adaptado de Libro Hidráulica de Canales Abiertos. [15]

2.2.1.4.4 Hidráulica de Desagües. Para los desagües las tuberías deberán tener flujo libre con condiciones uniformes; estará regido por la expresión de Manning (ecuación 11) y la de continuidad (ecuación 10) [16].

Para Flujo horizontal, estas se diseñan por medio de la ecuación 13 y se analiza a tubo lleno; para estos:

$$A = \frac{\pi * d^2}{4} \text{ (Ecuación 14)}$$

$$P = \pi * d \text{ (Ecuación 15)}$$

Donde

A= área hidráulica o área mojada [m²]

P= perímetro mojado [m]

d= diámetro de la tubería o sección circular [m]

Quedando el radio hidráulico para tubo lleno como:

$$R = \frac{d}{4} \quad (\text{Ecuación 16})$$

Teniendo esto se reemplaza la ecuación 16 en la ecuación 13. Y se despeja el diámetro.

Como se muestra a continuación.

$$d = \left(\frac{Q * n * 4^{\frac{5}{3}}}{\pi * S^{\frac{1}{2}}} \right)^{\frac{3}{8}} \quad (\text{Ecuación 17})$$

Con el diámetro de la tubería, se verifican los siguientes parámetros [16].

- Que la lámina de agua “y” sea máximo el 75% del diámetro de la tubería.
- Fuerza de atracción que permite control de sedimentos sea mayor a 0,15 Kg/ m².

$$F = \gamma * R * S \quad (\text{Ecuación 18})$$

F= fuerza de atracción en Kg/ m²

γ = peso específico agua en Kg/ m³ = 1000 Kg/ m³

R=radio hidráulico = d/4

S= pendiente en m/m

- El número de Froude debe ser menor a 0,9 o mayor a 1,1.

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{g * DH}} \quad (\text{Ecuación 19})$$

Fr= número de Froude

V = velocidad del agua m/s

g = gravedad ($9,8 \text{ m/s}^2$)

DH = profundidad hidráulica.

- Velocidad del agua debe estar comprendida entre $0,45 - 5 \text{ m/s}$.

Sin embargo, la norma técnica colombiana NTC 1500 – Código de Fontanería en su capítulo 12- Desagües de aguas lluvias, en la tabla 25 nos define las dimensiones de tubería horizontal de agua lluvia dependiendo del caudal, pendiente y la intensidad como se puede observar a continuación para periodos de retorno de 15 años con duración de 30 minutos.

Figura 6. Dimensiones de tubería horizontal

Diámetro nominal, mm	Caudal (L/s) pendiente del 1,0 ‰	Máximas áreas permitidas (m ²) de cubiertas proyectadas horizontales para diferentes precipitaciones					
		25 mm/h	50 mm/h	75 mm/h	100 mm/h	125 mm/h	150 mm/h
100	4,9	700	350	233	175	140	116
125	8,8	1 241	621	414	310	248	207
150	14,0	1 988	994	663	497	398	331
200	30,2	4 273	2 137	1 424	1 068	855	713
250	54,3	7 692	3 846	2 564	1 923	1 540	1 282
300	87,3	12 375	6 187	4 125	3 094	2 476	2 062
375	156,0	22 110	11 055	7 370	5 528	4 422	3 683

Diámetro nominal, mm	Caudal (L/s) pendiente del 2,0 ‰	Máximas áreas permitidas (m ²) de cubiertas proyectadas horizontales para diferentes precipitaciones					
		25 mm/h	50 mm/h	75 mm/h	100 mm/h	125 mm/h	150 mm/h
80	3,0	431	216	144	108	86	72
100	6,9	985	492	328	246	197	164
125	12,4	1 754	877	585	438	351	292
150	19,8	2 806	1 403	935	701	561	468
200	42,7	6 057	3 029	2 019	1 514	1 211	1 009
250	76,6	10 851	5 425	3 618	2 713	2 169	1 807
300	123,2	17 465	8 733	5 816	4 366	3 493	2 912
375	220,2	31 214	15 607	10 405	7 804	6 248	5 202

Diámetro nominal, mm	Caudal (L/s) pendiente del 4,0 ‰	Máximas áreas permitidas (m ²) de cubiertas proyectadas horizontales para diferentes precipitaciones					
		25 mm/h	50 mm/h	75 mm/h	100 mm/h	125 mm/h	150 mm/h
80	4,3	611	305	204	153	122	102
100	9,8	1 400	700	465	350	280	232
125	17,5	2 482	1 241	827	621	494	413
150	28,1	3 976	1 988	1 325	994	797	663
200	60,3	8 547	4 273	2 847	2 137	1 709	1 423
250	108,6	15 390	7 695	5 128	3 846	3 080	2 564
300	174,6	24 749	12 374	8 250	6 187	4 942	4 125
375	312,0	44 220	22 110	14 753	11 055	8 853	7 367

NOTAS:

1) Los datos de las dimensiones para tubería horizontal están basados en la tubería trabajando a tubo lleno.

2) Para precipitaciones diferentes de las indicadas, se deberá interpolar linealmente.

Adaptado de Código de Fontanería -NTC 1500 [17].

Para flujo vertical o flujo de bajantes, su caudal máximo de bajante es dado por la siguiente expresión [16].

$$q = 1.754 * R^{\frac{5}{3}} * D^{\frac{8}{3}} \text{ (Ecuación 20)}$$

q= caudal máximo de bajante [l/s]

R= relación de llenado 7/24 para las dimensiones de bajantes según NTC 1500.

D= Diámetro en pulgadas [in]

Adicional a esto se calcula la velocidad terminal junto con el de la longitud terminal para permitir que después del resalto hidráulico el fluido se normalice [16].

$$Vt = 2,76 * \frac{Q^{0,4}}{d} \text{ (Ecuación 20)}$$

$$Lt = 0,17 * Vt^2 \text{ (Ecuación 21)}$$

Vt= velocidad terminal en m/s

Q= caudal en l/s

d= diámetro de la bajante en pulgadas [in]

Lt= longitud terminal en m.

Se debe verificar que la longitud terminal no sea mayor a 10 veces el diámetro de la tubería. Para el caso de los bajantes; estos deberán llevar un filtro de bajante, el cual eliminara las hojas, insectos o desechos arrastrados por la superficie de captación que pueden entrar al tanque de almacenamiento.

Al igual que en flujo horizontal, la norma técnica colombiana NTC 1500 – Código de Fontanería en su capítulo 12- Desagües de aguas lluvias, en la tabla 24 nos define las dimensiones de desagües principales de cubierta, ramales y bajantes de aguas lluvias dependiendo del caudal, áreas máximas permitidas y la intensidad como se puede observar.

Figura 7. Dimensionamiento de desagües principales de cubierta, ramales y bajantes de aguas lluvias.

Diámetro nominal mm	Caudal, máximo L/s	Áreas máximas permitidas proyectadas horizontalmente en m ² para diferentes intensidades de lluvia					
		25 mm/h	50 mm/h	75 mm/h	100 mm/h	125 mm/h	150 mm/h
75	4,2	600	300	200	150	120	100
100	9,1	1 286	643	429	321	257	214
125	16,5	2 334	1 117	778	583	467	389
150	26,8	3 790	1 895	1 263	948	758	632
200	57,6	8 175	4 088	2 725	2 044	1 635	1 363

NOTAS:

- 1) Las dimensiones de bajantes y colectores están basadas en los caudales correspondientes a una relación de llenado de 7/24.
- 2) Para precipitaciones diferentes de las indicadas, se deberá interpolar linealmente.
- 3) La tubería vertical puede ser redonda, cuadrada o rectangular. La sección cuadrada debe contener la sección circular equivalente. La sección rectangular debe tener por lo menos la misma área transversal que la sección circular equivalente, excepto que la relación de sus dimensiones laterales no exceda 3 a 1.

Adaptado de Código de Fontanería -NTC 1500 [17].

2.3 Sistemas de Drenaje

El manual de captación – drenaje de suelos para uso agrícola definen la función del drenaje como la eliminación del exceso de agua abatiendo los niveles freáticos, incrementando la aireación del suelo, la explotación radicular y el acceso a nutrientes. Además de facilitar la remoción de sales y evitar la resalinización de los suelos. Esto hace que tierras potencialmente fértiles mejoren y se vuelvan productivas [18].

Existen varios factores que hacen que se produzca problemas de drenaje de los suelos ya sea por saturación de estos, formación de freáticas superficiales causado por lluvias prolongadas o exceso en el riego. Para resolver estos problemas existen dos tipos de drenaje, a cielo abierto y los subterráneos. Comúnmente los drenajes tienen forma de V, con un ángulo de 60° evitando desestabilizar el suelo [18].

2.3.1 Drenajes a Cielo Abierto

Los drenajes a cielo abierto debido a que están expuestos al entorno; son drenes que al transcurrir el tiempo pierden profundidad requiriendo un mantenimiento al menos una vez al año en el cual se realiza reprofundización y limpieza de este.

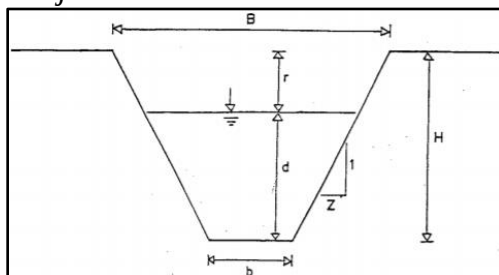
Figura 8. *Drenes a cielo abierto*



Adaptado de Manual de captación “Drenaje de suelos para uso agrícola” [18].

2.3.1.1 Zanjas Colectoras. son canales localizados en laderas para impedir la formación de corrientes de agua, o terrenos planos para evacuar el agua en exceso; estas zanjas recolectan el agua lluvia y la descargan en cauces naturales. Tiene pendientes superiores a 0,1% para evitar sedimentación; sin embargo, se debe controlar las pendientes excesivas para evitar altas velocidades [19].

Figura 9. *Sección transversal Zanja Colectora*



Adaptado de Drenaje en suelos agrícolas [19].

Estas zanjas colectoras pueden tener sección transversal en forma trapezoidal y en “V”; estas se dimensionan bajo la ecuación de continuidad del flujo y la fórmula de Manning.

$$Q = V * A \text{ [Ecuación 25]}$$

$$V = \frac{1}{n} * \left(\frac{A}{P}\right)^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}} \text{ [Ecuación 26]}$$

Donde

Q= caudal (m³/s)

V= velocidad de flujo (m/s)

n= coeficiente de rugosidad de Manning de acuerdo con la condición del dren.

A= área transversal de conducción (m²)

P= perímetro mojado (m)

S= pendiente. (m/m)

$$A = (b + zy)y \text{ [Ecuación 27]}$$

$$P = b + 2y\sqrt{1 + z^2} \text{ [Ecuación 28]}$$

P= perímetro mojado (m)

S= pendiente. (m/m)

b= base (m)

z= talud de la pared de acuerdo con el material de excavación.

y= tirante del flujo (m)

Tabla 4. *Coeficiente de Manning de acuerdo con la condición del dren*

condición del Dren	Valor de n
Muy limpio	0.022 – 0.030
Limpio	0.029 – 0.050
Con poca vegetación	0.040 – 0.067
Con moderada vegetación	0.050 – 0.100
Con exceso de vegetación	0.067 – 0.200

Nota: Esta tabla contiene la condición que puede presentar el dren o zanja recolectora con su respectivo valor de coeficiente de Manning.

Adaptada de Drenaje de suelos agrícolas [19].

Tabla 5. *Talud de la pared de acuerdo con el material de excavación*

Material de excavación	Z
Roca firme	0.25
Roca con fisuras	0.5
Grava cementada	0.75
Arcilla con grava. Suelos francos	1
Limo arcilloso	1
Suelos francos con grava	1.5
Suelos franco-arenosos	2
Suelos muy arenosos	3

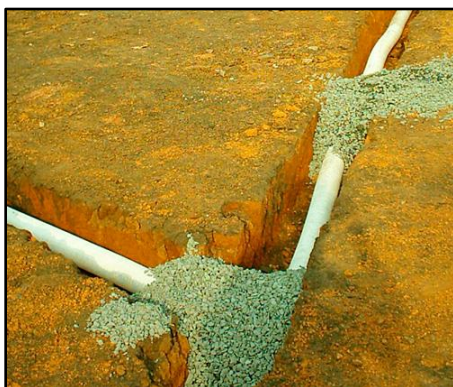
Nota: Esta tabla contiene el valor del talud de la pared correspondiente a cada tipo de material de excavación.

Adaptada de Drenaje de suelos agrícolas [19].

2.3.2 Drenes Subterráneos

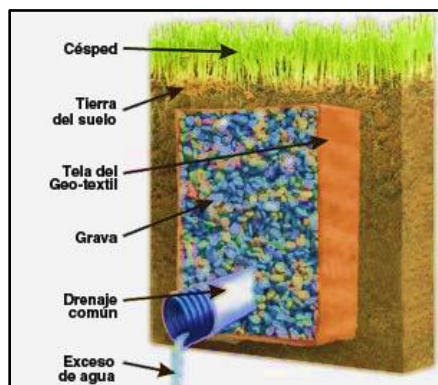
Los drenajes subterráneos Son zanjas recubiertas con un geotextil; en este se encuentra una tubería de PVC perforada la cual va cubierta con material filtrante como grava la cual impide el paso de sedimentos hacia la tubería. Su mantenimiento es mínimo siempre y cuando se respete los parámetros de diseño.

Figura 10. *Drenes Subterráneos*



Adaptada de Drenaje del Suelo “Remoción del excesos de agua por gravedad y por medio artificiales” [20].

2.3.2.1 Drenes de Tubería. Consisten en una tubería de drenaje enterrada en una zanja y revestida por un material filtrante. La principal ventaja, es que debido a que es subterránea no interrumpe la continuidad del terreno y requiere bajos costos de mantenimiento. Usualmente este tipo de drenes tienen una profundidad entre 0,3 a 0,5 metros y el ancho de 0,60 a un metro [21].

Figura 11. *Dren de tubería*

Adaptado de Drenes Filtrantes o franceses [22].

La tubería utilizada frecuentemente es de plástico de PVC o PV, en sus versiones lisa y corrugada. Sin embargo, para el drenaje agrícola la tubería más utilizada es la corrugada. Las perforaciones por las cuales el agua penetra son de 1,2 a 1,8 mm de ancho y de 3 a 5 mm de largo.

Para la determinación del diámetro de la tubería de drenaje se utiliza la fórmula de Manning, en la cual se asume que el flujo del agua es a tubería llena sin presión.

$$d = \left(\frac{Q \cdot n \cdot 4^{\frac{5}{3}}}{\pi \cdot S^{\frac{1}{2}}} \right)^{\frac{3}{8}} \text{ [Ecuación 29]}$$

d= diámetro interior de la tubería (m).

Q= caudal de drenaje (m³/s).

S= Pendiente (m/m)

n= coeficiente de rugosidad de Manning.

Tabla 6. *Coeficiente de rugosidad de Manning de acuerdo con el material de la tubería.*

Material Tubería	Coeficiente de Manning (n)
Arcilla	0,013
Concreto	0,013
PVC Liso	0,015
PVC corrugado	0,016

Nota: La tabla contiene el coeficiente de Manning para diferentes tipos de tubería de acuerdo con su material de fabricación.

Adaptada de Drenaje de suelos agrícolas[19].

Adicional a esto, el código de fontanería NTC-1500, en el capítulo 12, sección 12.1.5 drenajes de cimentación dicta ciertas especificaciones para tener en cuenta [17]:

- El tubo va perforado y este tendrá como mínimo diámetro de 75 mm.
- El tubo deberá de colocarse en material granular con recubrimiento mínimo de 100 mm alrededor de toda la tubería, protegido con geotextil o un material similar.

2.4 Riego

El Riego es la aplicación artificial de agua en cantidades adecuadas a un perfil de suelo, para proporcionar niveles óptimos de humedad que permitan el desarrollo de cultivos rentables en el menor tiempo con el más bajo sacrificio humano [23].

2.4.1 Sistemas de Riego

Los sistemas de riego son un conjunto de estructuras que permiten la distribución de agua de manera eficiente a disposición del cultivo [24].

2.4.1.1 Factores para la Determinación del Sistema de Riego. Para la elección de estos sistemas de riego se debe tener en cuenta: Tipo de cultivos, topografía, tipo de suelo, disponibilidad de agua, costos y otros criterios [24].

- Tipo de cultivo: este es el primer criterio al momento de elegir un sistema de riego por la importancia de conocer las necesidades del cultivo. Existen cultivos que requieren varios tipos de sistemas de riego o que de acuerdo con su naturaleza como en el caso de la papa es recomendable regar por medio de surcos [24].
- Topografía: en este factor intervienen cuatro sub-factores: ubicación de la fuente de agua, pendiente de la finca, relieve y micro relieve. Para el caso de riego por superficie este es conveniente para terrenos entre planos a ondulados con pendientes de 0,2%; sin embargo, para terrenos con pendientes entre 8% al 10% se recomiendan riego por superficie en el cual sus surcos vayan en el sentido de la menor pendiente. Para el caso de pendientes hasta 20% se puede implementar riego por aspersión y sistemas de microaspersión y goteo para pendientes hasta un 60% [24].
- Tipo de suelo: en este factor lo más importante es conocer la textura del suelo y su capacidad de filtración. Cuando existen suelos con velocidades altas de filtración es recomendable riegos presurizados preferiblemente por aspersión o hasta microaspersión ya que por su alta infiltración no retiene tanta humedad en el suelo necesitan que sean regados con mayor frecuencia. Para poder tener un riego por superficie su suelo debe tener baja capacidad de infiltración como el caso de los suelos arcillosos compactos [24].

- Disponibilidad de agua: de acuerdo con el caudal, su tiempo e intervalos de entregas se permite el empleo de algún tipo de sistema de riego. Cuando el caudal es grande, el tiempo de entrega corto e intervalos de entrega grande se recomienda un riego por inundación, cuando el caudal es escaso con tiempos de entrega y frecuencias en las entregas del recurso hídrico grandes se puede regar de manera eficiente con un sistema de riego por surcos. Para el caso en que exista un caudal escaso con entregas continuas, se destaca un sistema de riego presurizado que aumente su eficiencia [24].
- Costos: de acuerdo con el uso eficiente que se le dé al recurso hídrico se optara por riegos tradicionales como por superficie o riegos tecnificados como lo son los presurizados [24].
- Otros criterios: estos solo aplican para algunos sistemas de riego, en estos encontramos la velocidad del viento determinante en el caso de riegos por aspersores o el factor humano ya que algunos sistemas como los tecnificados requieren de cierto conocimiento y habilidades del operador (agricultor) para obtener la mayor eficiencia en el sistema de riego [24].

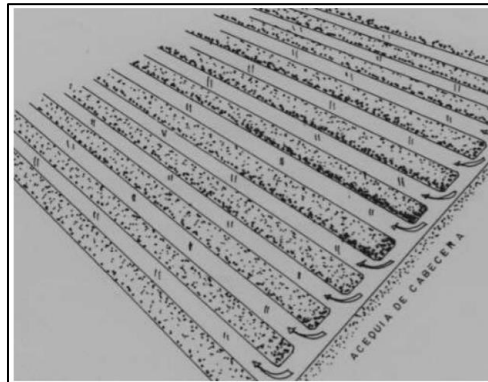
2.4.1.2 Tipos de Sistemas de Riego.

2.4.1.2.1 Riego Superficial o gravitacional. Caracterizado por distribuir el agua sobre la superficie del suelo, debido a la fuerza de gravedad. Entre ellas encontramos riego por surcos o por inundación.

- Riego por surcos: consiste en una serie de pequeños canales abiertos por los cuales fluye y se infiltra el agua lentamente. Esto surcos deben tener pendiente suave y

uniforme. Este tipo de riego es aplicable para cultivos en línea; debido a la sencillez de su infraestructura es uno de los más económicos, no requiere energía y no está limitado por el viento [24].

Figura 12. *Riego por surco*



Adaptada de Criterios de selección del método de riego [24].

- Riego por inundación: consiste en una lámina delgada de agua que cubre la superficie humedeciendo de esta manera el suelo. Es empleada en cultivos de gran densidad, para esto los terrenos deben ser llanos, tener buena velocidad de infiltración y baja erosividad.

Figura 13. *Riego por inundación*



Adaptado de Riego superficial [25].

2.4.1.2.2 Riego Presurizado. Caracterizado por tener distribución del agua a presión. Consiste en un sistema mecanizado que asegura un control preciso de la cantidad de agua a aplicarse. Entre ellos encontramos riego de aspersión, microaspersión y goteo.

- Riego por aspersión: Caracterizado por distribuir el agua de manera uniforme en forma de lluvia por medio de los aspersores que giran alrededor de un eje por la fuerza ejercida por la presión del agua (presión hidráulica). Su sistema está compuesto por los aspersores, tubería (ala de riego) y tubos elevadores verticales. Su eficiencia es superior a los riegos por superficie; recomendado cuando existe poca disponibilidad de agua, con baja o media velocidad de infiltración del suelo, una excesiva parcelación o con relieve accidentado. Es adecuado en zonas de vientos bajos y en cultivos cuyas hojas no se dañen al tener contacto con el agua. La intensidad del riego no debe ser mayor a la capacidad de infiltración del suelo [26].

Figura 14. Riego por aspersión



Adaptada Particularidades del riego por aspersión [27].

- Riego microaspersión: se distribuye el agua en forma de microgotas, recomendable para pequeños cultivos. Este puede ser de 3 formas: Micro aspersor(giratorio),

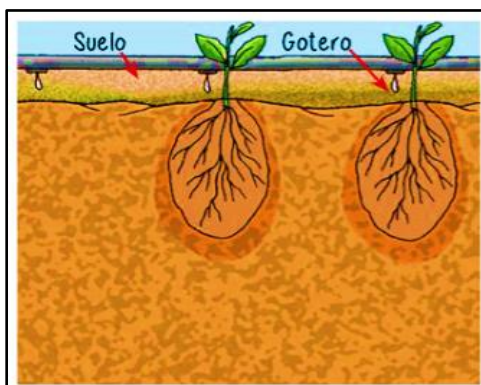
microjet (estático o dinámico) y nebulizador (estático). Ofrece beneficios como ahorro de agua, mayor uniformidad de riego que por goteo y son menos propensos que los goteros [26].

Figura 15. *Riego por microaspersión*



Adaptada de Riego por microaspersión [28].

- Riego por goteo: sistema con riego localizado debido a que aplica el agua de manera continua en forma de gotas en un lugar cercano a la planta con una presión de entrega baja; humedeciendo solo un 30% del volumen del suelo; este puede ser gracias al uso de goteros, mangueras de goteo, mangueras de exudación y microturbos. Uno de sus beneficios de este riego es el ahorro de agua, requiere menos esfuerzos, no se presenta erosión del suelo, fácil instalación y es adaptable a cualquier tipo de cultivo. Gracias a este tipo de riego se puede realizar una distribución diaria en volúmenes reducidos con una eficiencia de riego superior al 90% [26].

Figura 16. *Riego por goteo*

Adaptado de cartilla Uso eficiente de agua en agricultura [29].

3. Método

Para llevar a cabo el presente proyecto en la finca jema vereda Palonegro, este se dividirá en 7 etapas:

Figura 17. Etapas de la metodología



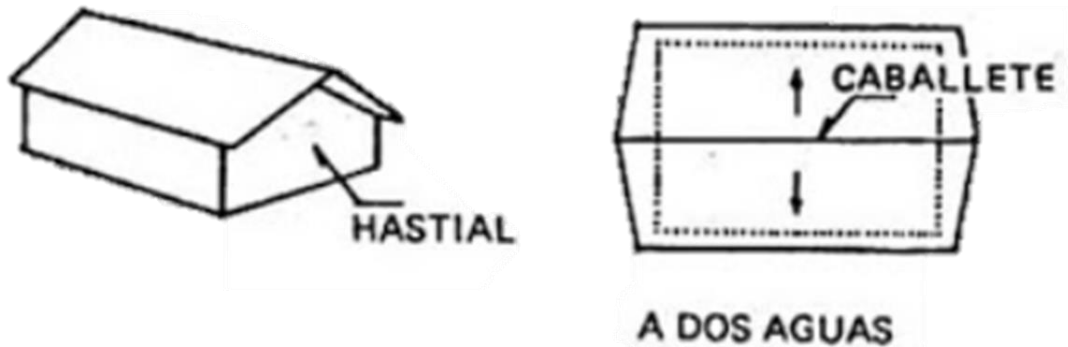
3.1 Etapa 1: Cálculo de Áreas Potenciales Para Captación de Agua Lluvia

El sistema cuenta con una captación de agua lluvia de cubierta y de superficie del terreno. Dependiendo del tipo de superficie del área de captación se asigna un coeficiente de escorrentía de acuerdo con la Tabla 1.

3.1.1 Cálculo de Área y Caracterización del material de Cubierta

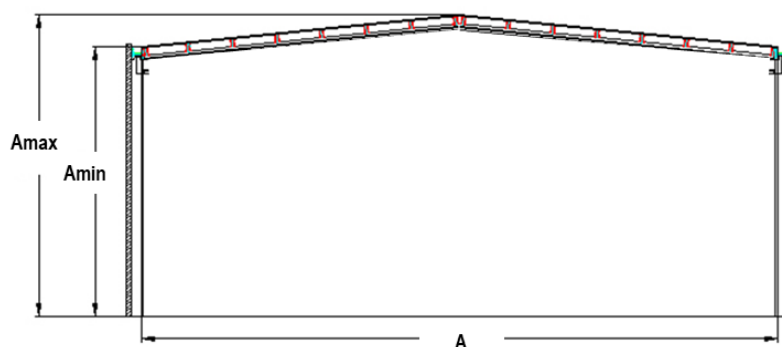
La cubierta presente en la finca jema, es la de la vivienda; un techo a dos aguas con teja de PVC con superficie totalmente lisa.

Figura 18. Cubierta a dos aguas



Adaptada de Cubierta y techumbre [30].

Para calcular su área se realiza la medición perimetral de la casa y se toma las altura máxima y mínimas de la cubierta para el respectivo cálculo del área real. Como se puede presenciar en la siguiente figura.

Figura 19. *Sección transversal techo a dos aguas.*

3.1.2 Cálculo de Área de la Superficie del Terreno

Para el cálculo del área de superficie del terreno, se seleccionará el área que presenta empozamiento al frente de la vivienda.

3.2 Etapa 2: Selección Drenaje Óptimo para Captación de Agua Lluvia de la Superficie del Terreno

Con el objetivo de poner fin al problema de empozamiento que presenta la finca Jema en el frente de la vivienda sin que este afecte el entorno; se crea una serie de exigencias acordes a las necesidades presentes en el lugar. Las exigencias para la selección del drenaje son:

1. Con el propósito de no afectar el paisaje en el frente de la vivienda de la Finca Jema, donde se presenta el empozamiento; el drenaje deberá ser de tipo subterráneo.
2. Teniendo en cuenta que la finca Jema está ubicada en una zona conformada por suelo de capas arcillosas y arenosas de acuerdo con el Esquema de Ordenamiento Territorial de Lebrija (EOT 2003), para el caso de la Finca Jema, en los días de empozamiento no será suficiente el traslado del nivel freático a una capa de suelo inferior por medio del drenaje

ya que por la naturaleza del suelo estos se seguirán saturando solo que a un nivel más bajo provocando que al seguir las altas precipitaciones los empozamientos se generen nuevamente; lo que hace que sea necesario la eliminación total de estos excesos de agua lluvia en el suelo, razón por la cual se requiere que el drenaje seleccionado transporte el agua drenada ya sea a una fuente de agua o a un sistema de recolección de aguas lluvias.

3. Para el caso de la Finca Jema, las agua lluvias de la zona de empozamiento irán al sistema de recolección de agua lluvia; razón por el cual el sistema de drenaje deberá tener función filtrante; de esta manera se evitará que existan obstrucciones en la tubería que transportará estas aguas.
4. Por último, adicional de cumplir todas las condiciones anteriormente mencionadas, el sistema de drenaje no debe requerir un mantenimiento contante debido a que será subterráneo; representando así bajos costos en su mantenimiento.

3.3 Etapa 3: Recolección de Datos Pluviométricos de Estaciones del IDEAM

Teniendo definidas las áreas potenciales de captación, se recolectarán los datos pluviométricos de la estación más cercana al lugar de estudio que tenga el IDEAM, la cual para la finca Jema es la estación con código 23195502 - AEROPUERTO PALONEGRO.

Para el análisis pluviométrico de acuerdo con la guía de diseño para captación de agua lluvia de la CEPIS (2004) como mínimo se debe conocer datos pluviométricos de los 10 ultimo años, para la realización de este proyecto se analizará datos pluviométricos del periodo comprendido entre 2005-2019. Estos datos serán recolectados a través de la página del IDEAM/descargar datos hidrometeorológicos. Debido a que en la zona solo se encuentra 1 sola estación; no existe posibilidad de realizar un llenado de datos faltantes con ayuda de otras

estaciones. Es por esta razón que en los meses donde no exista registro pluviométrico registrará SD (Sin Dato); el cual representara que en ese mes no hubo registro alguno y este no será tenido en cuenta en los cálculos.

Adicional a los datos de precipitación es necesario conocer la gráfica de Curvas IDF de la estación; sin embargo, como estos datos no los dispone la estación Aeropuerto Palonegro utilizada para el estudio del lugar, es necesario realizar la construcción de estas de acuerdo con la metodología empleada por el IDEAM de Gustavo Silva [13]. A continuación, los pasos para la construcción de las Curvas IDF.

1. Se tabulan los datos de la precipitación en 24 horas máxima mensual en milímetros de los últimos 15 años.
2. Luego se toma la precipitación máxima de cada año de estudio.
3. Obtenida la precipitación máxima en 24 horas de cada año se ordenan de mayor a menor.
4. Teniendo ordenadas las precipitaciones, se procede a hallar la probabilidad de que estas precipitaciones sucedan por medio de la ecuación 4.
5. Seguido de esto se halla el tiempo de retorno por medio de la ecuación 5.
6. Obtenidos los tiempos de retorno, se identifican los intervalos que comprenden el periodo de retorno a analizar; en este caso para 5, 10 y 15 años. Identificados los intervalos se interpola para determinar la precipitación máxima en 24 horas para año de retorno.
7. Teniendo la precipitación máxima en 24 horas, se halla la precipitación máxima en 1 hora para cada año de retorno por medio de la ecuación 6.
8. Luego se halla K, de acuerdo con la ecuación 7 del método Gustavo Silva para cada año de retorno.

9. Para finalizar se determina la intensidad para cada periodo de retorno en un rango de tiempo de 15 en 15 minutos hasta 120 minutos. Aplicando la ecuación 7 de Gustavo Silva.
10. Por último, se crea el grafico de las curvas IDF para cada año de retorno 5, 10 y 15 años.

3.4 Etapa 4: Estimación del Volumen del Tanque de Almacenamiento

Este es de suma importancia debido a que debe haber un equilibrio entre el agua de lluvia captada a almacenar y la demandada por el riego. Para esto es necesario conocer la demanda de agua para el riego, teniendo esto procederemos a calcular la oferta de agua lluvia y por último la capacidad del tanque de almacenamiento. Esta información se tabulara de la siguiente manera; la cual está adaptada de la guía de diseño para captacion del agua lluvia-CEPIS [10].

Tabla 7. *Tabla para la estimación del volumen del tanque de almacenamiento*

VOLUMEN DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO							
Mes	Promedio Precipitación	Área Productiva	Oferta de agua	Oferta Acumulada.	Demanda de agua	Demanda Acumulada.	Diferencia Demanda y oferta acumulada.

Nota: Esta tabla contiene los datos necesarios y la manera de tabulación de estos para la estimación del volumen del tanque de almacenamiento.

3.4.1 Estimación de la Demanda

Para la estimación de la demanda de agua para el cultivo en la Finca Jema es necesario saber qué clase de plantación existe y la cantidad; en el caso de la Finca Jema, esta cuenta con 150 árboles de Guayaba Pera. De acuerdo con el reporte del ICA – Manejo fitosanitario del cultivo de la Guayaba en Santander el requerimiento de agua de un cultivo de guayaba oscila entre 800 a

2000 mm de agua anuales.[31] Adicional a esto, en la demanda se contemplara los requerimientos de agua para la fumigación, estimados por el administrador del cultivo, el señor Orlando Reyes.

3.4.2 Estimación de la Oferta

Para determinar la capacidad del almacenamiento se aplicará el método Rippl [11], en el cual, obtenidos los datos pluviométricos, estos se tabularán para analizarlos y determinar en promedio mensual en la zona de estudio por medio la aplicación de la ecuación 1.

Luego, se halla la oferta de agua que ofrece la cubierta y la superficie del terreno en el mes, por medio de la ecuación 2. Con esto se calculará los volúmenes de agua lluvia a almacenar mensual por medio de la ecuación 3; obtenido estos datos se tabularán por medio del método Rippl. Tabla 2. Estos se sumarán para determinar el volumen máximo de almacenamiento del tanque.

Llegado el caso en que la precipitación del lugar de estudio sea más grande que la demanda del riego es necesario identificar zonas donde se pueda evacuar los excesos.

3.5 Etapa 5: Dimensionamiento del Drenaje

El diseño de estos elementos que facilitan el transporte de las aguas lluvias recolectadas hasta el depósito de almacenamiento funciona igual que en las tuberías de desagües, las cuales se rigen por la ecuación 13 y 16 diseñado a tubo lleno. Sin embargo, debido a que el empozamiento solo ocurre cuando existen eventos de precipitación prolongados y con intensidades altas, se diseñara con los valores mínimos que exige la NTC-1500; el cual dicta que los drenajes deben ir en tubería perforada, no menor de 75 mm de diámetro, y deben colocarse en material granular seleccionado con recubrimiento mínimo de 100 mm alrededor de toda la tubería protegida con geotextil [17].

3.6 Etapa 6: Dimensionamiento del Sistema de Captación, Recolección y Conducción

El diseño de estos elementos que facilitan el transporte de las aguas lluvias recolectadas hasta el depósito de almacenamiento funciona se rigen bajos los fundamentos de la hidráulica (ecuación de Manning y de la continuidad) ya sea para canales o desagües.[16]

3.7 Etapa 7: Selección sistema de Riego

La selección del sistema de riego se debe realizar con base al análisis de los factores anteriormente mencionados en el marco teórico: tipo de cultivo, topografía, disponibilidad de agua, entre otros. Para esto se realizará un cuadro comparativo con cada tipo de sistema de riego, analizando cada uno de los factores y así determinar el que mejor se adecua a las condiciones del cultivo de Guayaba de la finca Jema.

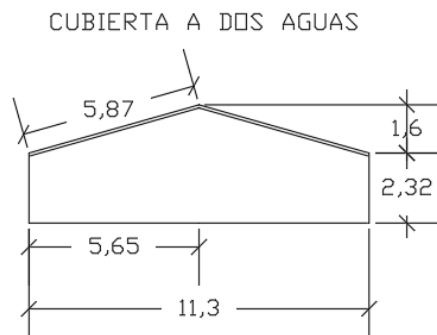
4. Resultados

4.1 Etapa 1: Cálculo de Áreas Potenciales para Captación de Agua Lluvia

4.1.1 Cálculo de Área y Caracterización del Material de Cubierta

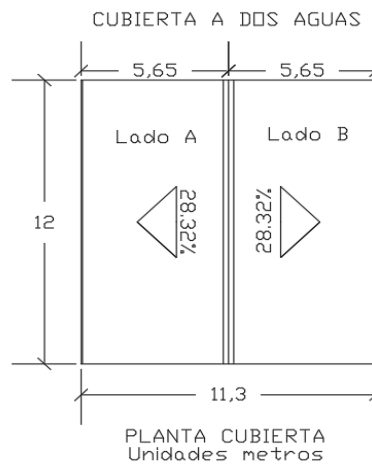
La cubierta proyectada como área de captacion de agua lluvia es el techo de la vivienda de la finca Jema. Esta cubierta es en teja plástica de PVC a dos aguas con coeficiente de escorrentía de 0,9 (teja de lámina plástica), para los cálculos del sistema de aprovechamiento de agua lluvia se analizará el techo como dos partes el lado A y lado B.

Para determinar el ancho real de cada lado del tejado, se tomaron las altura máximas y mínimas de la cubierta, teniendo estos datos aplicamos teorema de Pitágoras y encontrar el ancho real. A continuación, la sección transversal.

Figura 20. *Sección transversal de la cubierta - Finca Jema*

Nota: Unidades en metros.

El techo de la vivienda presenta pendiente de 28,32% y un largo de 12 metros como se puede observar en la vista en planta.

Figura 21. *Planta de la cubierta – Finca Jema*

Con esto se obtuvo un área productiva de cubierta de 67,8 m² para cada lado el A y B, para un total de área productiva de 135,6 m².

Tabla 8. Dimensiones del Área Productiva de Cubierta – Finca Jema

Lado A		Lado B	
Largo	12,00 m	Largo	12,00 m
Ancho	5,65 m	Ancho	5,65 m
Área Captación	67,80 m ²	Área Captación	67,80 m ²
Pend. %	28,32%	Pend. %	28,32%

Nota: Esta tabla contiene ciertas características del área productiva, tales como: Dimensiones y pendiente.

4.1.2 Cálculo de Área de la Superficie del Terreno

El área que presenta empozamiento ante las fuertes precipitaciones está ubicada en el frente de la vivienda aproximadamente en un rectángulo de 4 metros de largo por 2 metros de ancho con pendiente de 0%. El sistema de transporte del agua lluvia captada de superficie ira conectada a la red del sistema de captacion de agua lluvia, Para el cálculo del volumen del tanque de almacenamiento, esta área de empozamiento será considerada como área productiva (superficie tipo pasto o césped) la cual cuenta con un coeficiente de escorrentía entre 0,12-0,62 [32].

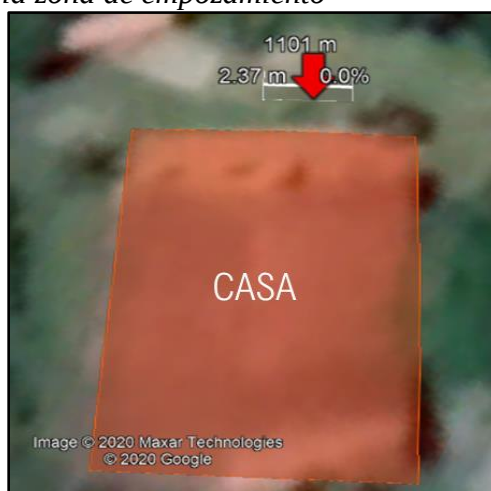
Figura 22. Vista satelital de la zona de empozamiento

Figura 23. *Zona de Empozamiento***Tabla 9.** *Dimensiones de la superficie de empozamiento.*

Área Empozamiento	
Largo	4,00 m
Ancho	2,00 m
Área influencia	8,00 m ²
Pend. %	0%

Nota: La tabla presenta las dimensiones del lugar de empozamiento, tales como: área y pendiente.

4.2 Etapa 2: Selección Drenaje Óptimo para Captación de Agua Lluvia de la Superficie del Terreno

Como se mencionó en la metodología; el sistema de drenaje deberá cumplir las siguientes condiciones:

- Ser subterráneo.
- Permita transportar el Agua.
- Función filtrante, para eliminar partículas que pueda obstruir la tubería.
- Mantenimiento casi nulo.

De acuerdo con la información contenida en el marco teórico, se puede realizar una evaluación con los aspectos anteriormente mencionados en los sistemas de drenaje de zanjas colectoras y drenes de tubería. Obteniendo la siguiente tabla.

Tabla 10. *Evaluación sistema de drenaje zanjas colectoras y drenes de tubería*

Tipo drenaje	Entorno		Mantenimiento		Función Filtrante		Permite Transporte	
	Superficial	Subterráneo	Constante	Rara Vez	Si	No	Si	No
Zanjas Colectoras	X		X			X	X	
Drenes de Tubería		X		X	X		X	

Nota: La tabla presenta la evaluación del tipo de drenaje Zanjas colectoras y drenes de tuberías en los aspectos de entorno, mantenimiento, función filtrante y transporte.

Teniendo en cuenta la evaluación realizada, el sistema de drenaje que se adapta a lo solicitado cumpliendo con todas las condiciones; es el sistema de drenes de tubería el cual es subterráneo, nos permitirá transportar el agua drenada y gracias a su función filtrante las partículas de suelo no obstruirán la tubería haciendo que el mantenimiento en el sistema de drenaje sea casi nulo.

4.3 Etapa 3: Recolección de Datos Pluviométricos de Estaciones del IDEAM

Los datos pluviométricos de las zonas se obtuvieron por medio de la red de estaciones del IDEAM, en este caso Estación Aeropuerto Palonegro código 23195502. Los datos descargados correspondían a la precipitación diaria comprendida entre el 01 de enero de 2005 y el 31 de diciembre de 2019 en milímetros por día (mm/día). Con la tabulación de esto se obtuvo la precipitación mensual (mm) durante el periodo analizado.

Tabla 11. *Precipitaciones mensuales periodo 2005-2019*

Año/Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2005	104,5	271,6	61,7	145,9	108,9	40,7	65,2	43,3	158,3	258,8	151,7	108,6
2006	85,8	58	115,6	109,4	124,6	140,5	45,8	105,2	46,3	264,7	41,1	22,4
2007	66,1	63,4	145,3	83	162	43,7	46,3	108,5	85,5	142,7	56,1	28
2008	52,7	300	300,7	50,6	204,3	36,3	81	87,3	88,4	81,7	211,5	18,1
2009	61,1	96,6	151,6	187,5	131,8	146,7	52,5	117	30,6	241,7	161,5	80,1
2010	3,2	39,7	33,8	51,3	188,7	120	118,2	129,9	195,4	151,3	235,1	305,9
2011	28,3	86,5	70	170,7	177,7	91,2	67,6	136,1	93,7	389,1	89,7	113,1
2012	62,9	10,9	99,3	168,3	35,7	142,8	103	87,5	35,4	269,8	165,6	139,6
2013	63,6	195,3	184,3	32,5	208,8	37,7	38,1	179,2	61,5	114,6	118,8	29,1
2014	33,7	148,4	41	71,8	88,7	60,3	88	97,6	81,4	224,6	121,8	40,5
2015	40,8	115,7	103	69,8	68,9	21,4	52	73,3	38,8	13,6	71,6	6,2
2016	49,5	43	75,8	79,8	142,8	72,1	92,6	52,6	38,7	105,9	138,3	19,3
2017	13,2	8,7	216,4	107,3	98,8	111,6	72,9	42,4	73,3	112,4	114,1	SD
2018	SD	SD	221,1	124,7	116,5	51,3	87,5	124,8	102,3	243,8	50,3	15,2
2019	43,9	21,9	147,2	162,5	151,8	56,2	44,8	78,2	SD	SD	SD	SD

SD - sin dato

Nota: La tabla presenta la precipitación mensual entre el año 2005 – 2019.

Tabla 12. *Precipitación anual periodo 2005-2019.*

Año/Mes	Precipitación total Anual [mm/año]
2005	1519,2
2006	1159,4
2007	1030,6
2008	1512,6
2009	1458,7
2010	1572,5
2011	1513,7
2012	1320,8
2013	1263,5
2014	1097,8
2015	675,1
2016	910,4
2017	971,1
2018	1137,5
2019	706,5
PROMEDIO	1189,96

Nota: Esta tabla contiene la precipitación anual de los 15 años, comprendidos entre el 2005 – 2019 con su respectivo promedio de precipitación anual.

Para este caudal de diseño es necesario contar con las Curvas IDF, con la cual se determinará la intensidad para un periodo de retorno 15 años y duración de 30 minutos. Debido a que la estación del IDEAM Aeropuerto Palonegro no cuenta con esta información se construyó la curvas IDF de acuerdo con la metodología de Gustavo Silva.

Para esto fue necesario determinar las precipitaciones máximas mensuales en 24 horas de los años de estudio comprendido entre 2005-2019. A continuación, se observa las precipitaciones mensuales máximas en 24 horas dada en mm.

Tabla 13. *Precipitaciones máximas en 24 horas*

Precipitación máxima en 24 horas													
Año/Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Prec. Máx. [mm]
2005	38,5	73,9	31	44,4	32	9,1	29,1	13,8	29,7	44,6	67,8	43,1	73,9
2006	27,1	33,2	23,8	33,2	25,5	32	13,4	27,4	16,8	106,7	15,8	13,2	106,7
2007	43,1	31,9	44,2	29,2	62,9	8,4	9,4	49,2	19,6	21,8	25,2	11,1	62,9
2008	21,4	99,8	117,2	23,6	72,5	12,4	18	17,2	18	21,3	63,6	14,7	117,2
2009	18	25,4	79,6	61,6	49,2	69,7	17,7	33,6	14,9	55,6	65	59	79,6
2010	2,4	9,8	16,5	15	42,3	36,2	19	47,4	60,4	48,8	54,6	77,6	77,6
2011	8,6	43,7	16,5	39,9	32,1	15	11,3	44,2	49,3	147,6	27,4	45,8	147,6
2012	26,6	4,9	16,7	43,5	11	55,7	63,5	25,9	7	76	114,1	82	114,1
2013	23,4	136,5	88,6	7,8	63,2	17,3	9	75,8	19,7	32,5	33,9	17,7	136,5
2014	22,9	54,7	25,6	40,9	26,6	23,4	43,7	30,2	21	41,9	48,1	24,9	54,7
2015	28,6	40,5	38,6	27,1	11,4	3	12,2	20,6	11,2	3	23	3	40,5
2016	20,9	24,1	41	12,3	39,3	20,9	29,6	7,1	10,8	30,9	53,2	7,1	53,2
2017	9,6	4,2	38,4	26	21,5	30	14,6	9,6	39,2	70,7	24,7	SD	70,7
2018	SD	SD	81,3	32,6	48,2	9	15,3	49,5	21,7	85,9	21,6	8,1	85,9
2019	15,6	13,6	62,6	48,8	65	12,3	15,7	16	SD	SD	SD	SD	65
SD - sin dato													

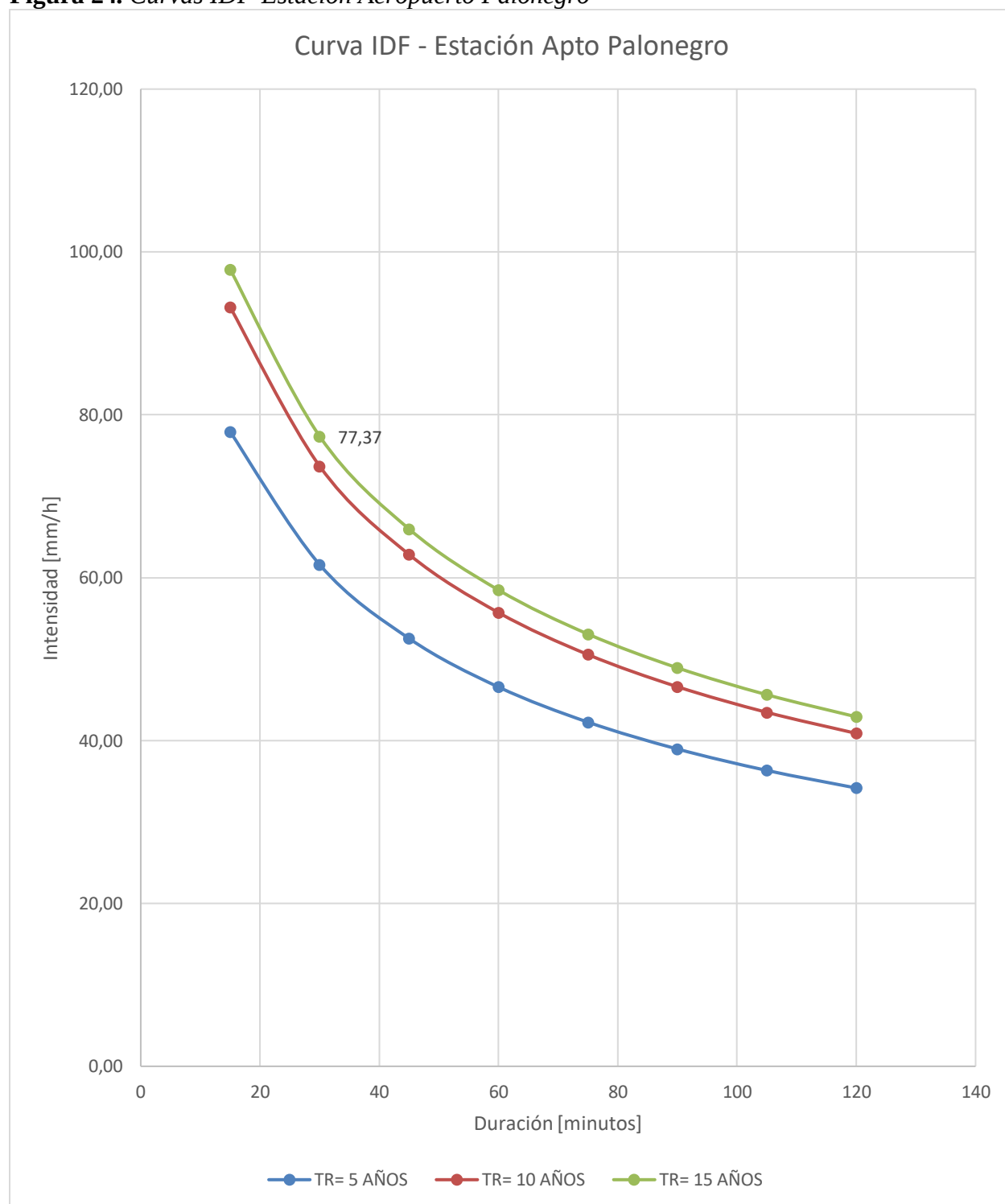
Nota: La tabla presenta la precipitación máxima mensual en 24 horas que se registró entre los años 2005 - 2019.

Con esto se pudo construir las curvas IDF para periodos de retorno de 5, 10 y 15 años. En el Apéndice A se puede encontrar los cálculos necesarios para la elaboración de las Curvas IDF.

Tabla 14. *Intensidades para periodo de retorno 5, 10 y 15 años*

Duración [minutos]	INTENSIDAD [mm/h]		
	TR= 5 AÑOS	TR= 10 AÑOS	TR= 15 AÑOS
15	77,93	93,22	97,86
30	61,61	73,70	77,37
45	52,54	62,85	65,98
60	46,57	55,71	58,49
75	42,26	50,56	53,07
90	38,96	46,61	48,93
105	36,33	43,46	45,63
120	34,17	40,88	42,92

Nota: La Tabla contiene la intensidad de la lluvia para periodos de retorno de 5, 10 y 15 años; con duraciones de 15,30,45,60,75,90,105 y 120 minutos.

Figura 24. *Curvas IDF-Estación Aeropuerto Palonegro*

Para un periodo de retorno (TR) de 15 años con duración de 30 minutos, se tiene una intensidad de lluvia de 77.37 mm/hr.

4.4 Etapa 4: Estimación del Volumen del Tanque de Almacenamiento

4.4.1 Estimación de la Demanda

De acuerdo con el reporte del ICA – Manejo fitosanitario del cultivo de la Guayaba en Santander, el cultivo de Guayana requiere anualmente entre 800 a 2000 mm de agua por árbol. Para el caso de la Finca Jema se tomará como requerimiento anual de agua la cantidad de 950 mm lo equivalente a 950 litros/m² anual; con esto semanalmente cada árbol requiere aproximadamente 20 litros de agua. Adicional a esto, de acuerdo con la información suministrada por el administrador del cultivo, la guayaba es fumigada 1 vez por mes necesitando 200 litros de agua para diluir el insecticida.

Para la Finca Jema, el requerimiento de agua mensualmente para el riego de sus 150 árboles de Guayaba y su respectiva fumigación es necesario 12,2, m³ de agua mensualmente. A continuación, el cálculo detallado.

Tabla 15. Estimación demanda de agua

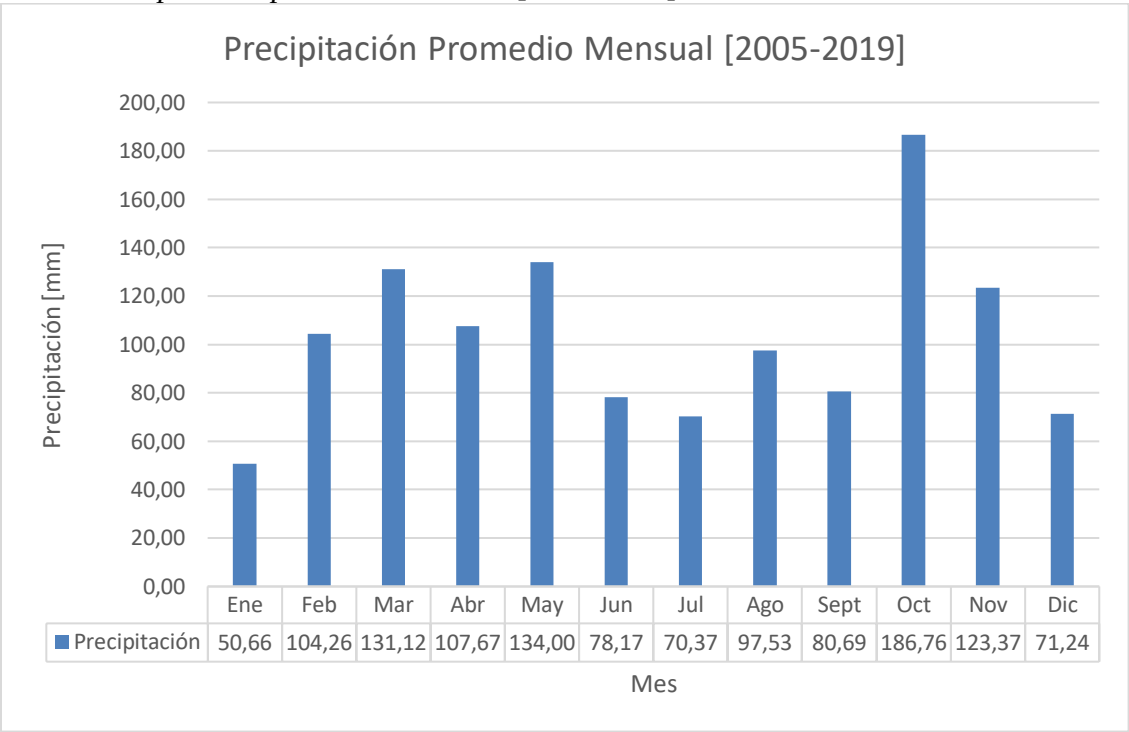
DEMANDA DE AGUA PARA RIEGO							
DEMANDA RIEGO				DEMANDA FUMIGACIÓN			
Cant. Árboles de guayabo	Cant. Agua requerida por árbol [litros]	Litros requeridos para riego semanal	M3 requeridos por riego semanal	Cant. veces riego mensual	M3 requeridos por mes	Cant. Agua para disolución [litros]	Cant. Agua para disolución [m3]
150	20	3000	3	4	12	200	0,2
DEMANDA DE AGUA DE CULTIVO DE GUAYABO (RIEGO + FUMIGACIÓN) MENSUAL [M3]							12,20 m3

Nota: La tabla presenta la cantidad de árboles de guayabo presente en la finca Jema y los requerimientos de agua del cultivo de Guayaba para su desarrollo.

4.4.2 Estimación de la Oferta

A fin de determinar la oferta de agua lluvia en la finca Jema se calculó el promedio mensual de precipitación de acuerdo con los datos obtenidos de la Estación Aeropuerto Palonegro durante el periodo comprendido entre 2005-2019.

Figura 25. Precipitación promedio mensual [2005-2019]



Con la precipitación promedio mensual, las áreas de captacion, la caracterización de la cubierta; se obtuvo la oferta de agua lluvia mensual.

Tabla 16. *Oferta de agua lluvia - Finca Jema*

Mes	Prom. Precipitación	Área Captación Cubierta	Coefficiente Escorrentía	Oferta de agua Cubierta	Área Captación Drenaje	Coefficiente Escorrentía	Oferta de agua Drenaje	Oferta de Agua Total (Vo)
Ene	50,66 mm	135,60 m ²	0,9	6,18 m ³	8,00 m ²	0,2	0,08 m ³	6,26 m ³
Feb	104,26 mm	135,60 m ²	0,9	12,72 m ³	8,00 m ²	0,2	0,17 m ³	12,89 m ³
Marzo	131,12 mm	135,60 m ²	0,9	16,00 m ³	8,00 m ²	0,2	0,21 m ³	16,21 m ³
Abril	107,67 mm	135,60 m ²	0,9	13,14 m ³	8,00 m ²	0,2	0,17 m ³	13,31 m ³
Mayo	134,00 mm	135,60 m ²	0,9	16,35 m ³	8,00 m ²	0,2	0,21 m ³	16,57 m ³
Junio	78,17 mm	135,60 m ²	0,9	9,54 m ³	8,00 m ²	0,2	0,13 m ³	9,66 m ³
Julio	70,37 mm	135,60 m ²	0,9	8,59 m ³	8,00 m ²	0,2	0,11 m ³	8,70 m ³
Agosto	97,53 mm	135,60 m ²	0,9	11,90 m ³	8,00 m ²	0,2	0,16 m ³	12,06 m ³
Septiembre	80,69 mm	135,60 m ²	0,9	9,85 m ³	8,00 m ²	0,2	0,13 m ³	9,98 m ³
Octubre	186,76 mm	135,60 m ²	0,9	22,79 m ³	8,00 m ²	0,2	0,30 m ³	23,09 m ³
Noviembre	123,37 mm	135,60 m ²	0,9	15,06 m ³	8,00 m ²	0,2	0,20 m ³	15,25 m ³
Diciembre	71,24 mm	135,60 m ²	0,9	8,69 m ³	8,00 m ²	0,2	0,11 m ³	8,81 m ³

Nota: Esta tabla contiene la oferta de agua lluvia en la finca Jema, de acuerdo con la precipitación promedio, áreas de captación y los respectivos coeficientes de escorrentía.

Para la determinación del volumen del tanque de almacenamiento se analiza la oferta total y demanda.

Tabla 17. *Volumen del tanque de Almacenamiento*

VOLUMEN DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO						
	Prom. Precipitación	Oferta de agua Total	Demanda de agua	Oferta Acumulada.	Demanda Acumulada.	Diferencia Demanda y oferta acumulada.
Enero	50,66 mm	6,26 m ³	12,20 m ³	6,26 m ³	12,20 m ³	0,00 m ³
Febrero	104,26 mm	12,89 m ³	12,20 m ³	19,16 m ³	24,40 m ³	0,00 m ³
Marzo	131,12 mm	16,21 m ³	12,20 m ³	35,37 m ³	36,60 m ³	0,00 m ³
Abril	107,67 mm	13,31 m ³	12,20 m ³	48,68 m ³	48,80 m ³	0,00 m ³
Mayo	134,00 mm	16,57 m ³	12,20 m ³	65,25 m ³	61,00 m ³	4,25 m ³
Junio	78,17 mm	9,66 m ³	12,20 m ³	74,91 m ³	73,20 m ³	1,71 m ³
Julio	70,37 mm	8,70 m ³	12,20 m ³	83,61 m ³	85,40 m ³	0,00 m ³
Agosto	97,53 mm	12,06 m ³	12,20 m ³	95,67 m ³	97,60 m ³	0,00 m ³
Septiembre	80,69 mm	9,98 m ³	12,20 m ³	105,65 m ³	109,80 m ³	0,00 m ³
Octubre	186,76 mm	23,09 m ³	12,20 m ³	128,74 m ³	122,00 m ³	6,74 m ³
Noviembre	123,37 mm	15,25 m ³	12,20 m ³	143,99 m ³	134,20 m ³	9,79 m ³
Diciembre	71,24 mm	8,81 m ³	12,20 m ³	152,80 m ³	146,40 m ³	6,40 m ³

Nota: Esta tabla contiene el volumen de agua lluvia acumulada a almacenar que permite determinar el volumen del tanque de almacenamiento.

Para definir el volumen del tanque de almacenamiento se tuvo en cuenta la demanda semanal la cual es de 3 m³ y el promedio de volúmenes de agua lluvia a almacenar para definir el volumen del tanque de almacenamiento; esto debido a que en el último trimestre del año se concentra la mayor cantidad de agua lluvia a almacenar.

Tabla 18. *Promedio de volumen de agua lluvia a almacenar*

Mes	Volumen para almacenar
Mayo	4,25 m ³
Junio	1,71 m ³
Octubre	6,74 m ³
Noviembre	9,79 m ³
Diciembre	6,40 m ³
Promedio	5,77 m³

Nota: La tabla presenta los meses del año en los cuales se requiere almacenar agua lluvia.

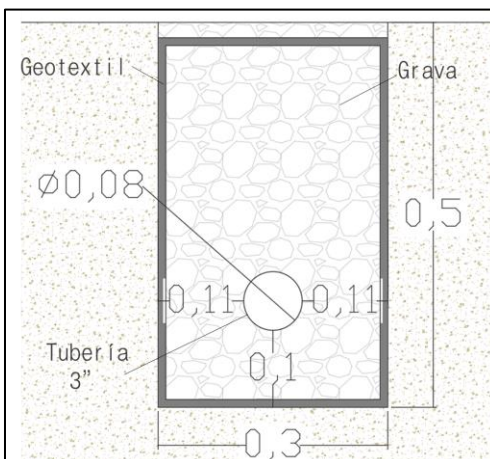
En base a los datos obtenidos, se selección un tanque de almacenamiento de 5m³; ya que este volumen solo almacena aproximadamente el 51% de la demanda en el mes de noviembre el tanque tendrá una red de tubería de 2" para la evacuación de excesos de agua lluvia en aquellos meses que se supere el volumen del tanque de almacenamiento, la cual va dirigida a la quebrada con la que colinda la Finca Jema.

4.5 Etapa 5: Dimensionamiento del Drenaje

Para el diseño del sistema de drenaje subterráneo de tipo dren de tubería; este se dimensionará bajos los valores mínimos expuestos en la NTC-1500 la cual expone que la tubería debe ir perforada, con diámetro mínimo de 75 mm recubierta por una capa de material granular de 100mm de espesor alrededor de la tubería la cual ira con una pendiente del 2%; esta se protegerá con geotextil que funciona como filtro evitando que las perforaciones se obstruyan. La zanja que

se hará para introducir el dren de tubería tendrá una profundidad de 0,5 metros con 0,30 metros de ancho.

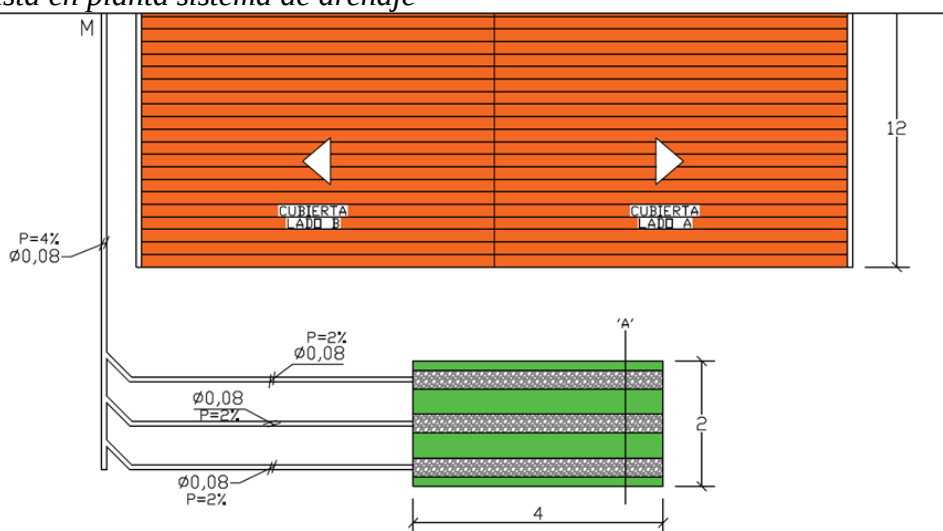
Figura 26. Sección transversal dren de tubería subterráneo.



Nota: Unidades en metros

Esta red se conectará a la red principal del sistema de captación de agua lluvia en el Punto M como se puede observar en la siguiente figura.

Figura 27. Vista en planta sistema de drenaje



En el apéndice B, se encontrará el plano del sistema de drenaje con sus respectivos detalles.

4.6 Etapa 6: Dimensionamiento del Sistema de captacion, recolección y conducción

Para el dimensionamiento del sistema de captacion y recolección de agua lluvia se determina el caudal de diseño (ecuación 9) para realizar los respectivos cálculos.

El coeficiente de escorrentía de la superficie de cubierta de una teja de lámina plástica es de 0,9 y la intensidad de acuerdo con la curva IDF de la estación Aeropuerto Palonegro para un tiempo de retorno 15 años y duración 30 minutos es de 77,37 mm/h.

Debido a que es una cubierta a dos aguas, la cubierta se dividió en lado A y lado B para los respectivos cálculos de dimensionamiento del canal, Bajantes y la tubería. En la siguiente tabla se observa los caudales de diseño para el lado A, lado B y el de toda la cubierta para estimar la tubería final a la cual llegan los caudales de los dos lados A y B.

Tabla 19. Caudales de diseño

Caudal de diseño para el Lado A					
Intensidad (Tr:15 años, d:30 min)		Coeficiente escorrentía	Área [m ²]	Caudal diseño	
[mm/h]	[l/s/m ²]			L/seg	m ³ /seg
77,37	0,021	0,9	67,80 m ²	1,311	0,001
Caudal de diseño para el Lado B					
Intensidad (Tr:15 años, d:30 min)		Coeficiente escorrentía	Área [m ²]	Caudal diseño	
[mm/h]	[l/s/m ²]			L/seg	m ³ /seg
77,37	0,021	0,9	67,80 m ²	1,311	0,001
Caudal de diseño - Cubierta					
Intensidad (Tr:15 años, d:30 min)		Coeficiente escorrentía	Área [m ²]	Caudal diseño	
[mm/h]	[l/s/m ²]			L/seg	m ³ /seg
77,37	0,021	0,9	135,60 m ²	2,623	0,003
Caudal de diseño - Drenaje					
Intensidad (Tr:15 años, d:30 min)		Coeficiente escorrentía	Área [m ²]	Caudal diseño	
[mm/h]	[l/s/m ²]			L/seg	m ³ /seg
77,37	0,021	0,2	8,00 m ²	0,034	0,000

Nota: En esta tabla se presenta los caudales de diseño de cada área de captacion.

Con el caudal de diseño se procede a dimensionar el canal y calcular los diámetros de la tubería que transporta el agua lluvia recolectada.

4.6.1 Canales

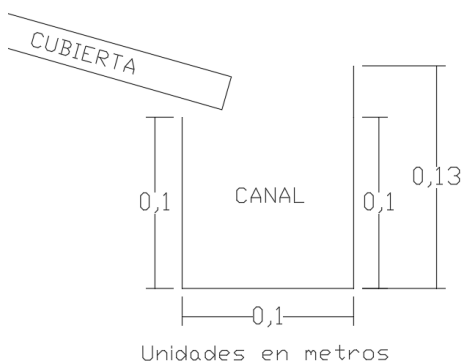
Tabla 20. Dimensionamiento del Canal

DISEÑO CANAL					
Q diseño [Qd]	0,001 m ³ /s	y	0,10 m	Q ofrecido [Qo]	0,010 m ³ /s
n PVC	0,01	A	0,01 m ²		
S	0,01 m/m	P	0,30 m	Verificación Qo>Qd	cumple
B	0,10 m	R	0,03 m		

Nota: Esta tabla contiene el dimensionamiento del canal y la verificación de parámetros de acuerdo con la norma.

Para el cumplimiento del caudal de diseño, se diseñó un canal de 0,1 metros x 0,1 metros, con área de 0,01 m² para el lado A como el lado B, el cual ira con una pendiente del 2%. Sin embargo, para el lado que recibe el golpe del agua por la caída de esta a través de la cubierta se le adiciono 0,03 metros para una altura en ese lado del canal de 0,13 metros como se puede observar en la figura 26.

Figura 28. Sección transversal del canal



4.6.2 Red de Tubería

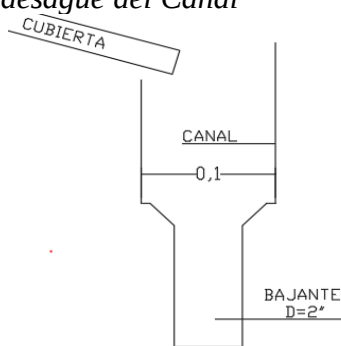
Tabla 21. *Calculo diámetro bajantes*

Flujo Vertical - Calculo diámetro de Bajante						
Superficie captada	Caudal diseño [l/s]	R [7/24]	D [in]	D [in]	Vt [m/s]	Lt [m]
LADO A	1,31	0,29	1,94"	2,00"	1,59	0,43
LADO B	1,31	0,29	1,94"	2,00"	1,59	0,43

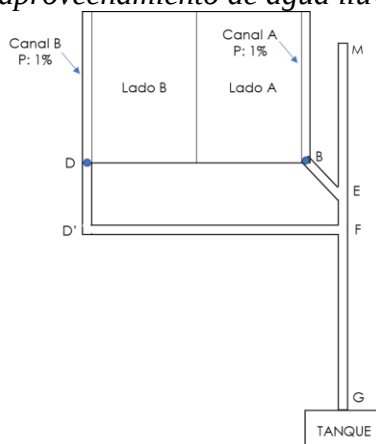
Nota: La tabla presenta el cálculo del diámetro de los bajantes junto con los parámetros necesarios para la determinación de este.

Estos bajantes deberán llevar un filtro que le permitirá eliminar las hojas y residuos sólidos que se arrastre en la cubierta.

Figura 29. *Sección transversal desagüe del Canal*



Para el diámetro de la tubería de flujo horizontal no se tuvo en cuenta las tablas de la NTC 1500 ya que sus valores mínimos son de 80mm para el diámetro y caudal de diseño de 4 l/s aproximadamente, debido a que el sistema de aprovechamiento de agua lluvia de la Finca Jema tiene un caudal de diseño es de 1,3l/s. Por esta diferencia de casi el 75% en los caudales, se calculó el diámetro de acuerdo con la teoría de hidráulica de desagües. A continuación, un boceto de la red de tubería aprovechamiento de agua lluvia y los cálculos del diámetro de la tubería. Los cálculos a detalle de la tubería se encontrarán en el apéndice C.

Figura 30. Boceto red de tubería aprovechamiento de agua lluvia**Tabla 22.** Cálculo de tubería de flujo horizontal 1

TRAMO		CAUDAL		PENDIENTE	DIAMETRO		n	Longitud [m]	caudal tubo lleno [Qo]	
DE	A	l/s	m³/s		metros	in			m³/s	l/s
B	E	1,31	0,00	2,00	0,05	2,00	0,01	0,75	0,01	11,11
D	D'	1,31	0,00	2,00	0,05	2,00	0,01	1,96	0,01	11,11
D	F	1,31	0,00	2,00	0,05	2,00	0,01	11,36	0,01	11,11
E	F	1,34	0,00	4,00	0,08	3,00	0,01	1,47	0,03	32,98
F	G	2,66	0,00	4,00	0,08	3,00	0,01	14,89	0,03	32,98

Nota: Esta tabla contiene la información de los parámetros necesarios para la determinación del diámetro de la tubería.

Tabla 23. Cálculo de tubería de flujo horizontal 2

TRAMO		Altura del Agua [m]	Vel. Tubo lleno Vo [m/s]	Vel. Agua V [m/s]	Fuerza atractiva Kg/m²	Froude
DE	A					
B	E	0,01	5,48	3,09	0,15	10,10
D	D'	0,01	5,48	3,09	0,15	10,10
D	F	0,01	5,48	3,09	0,15	10,10
E	F	0,01	7,23	2,88	0,28	10,42
F	G	0,02	7,23	3,58	0,40	10,66

Nota: Esta tabla contiene la información de los parámetros necesarios para la determinación del diámetro de la tubería.

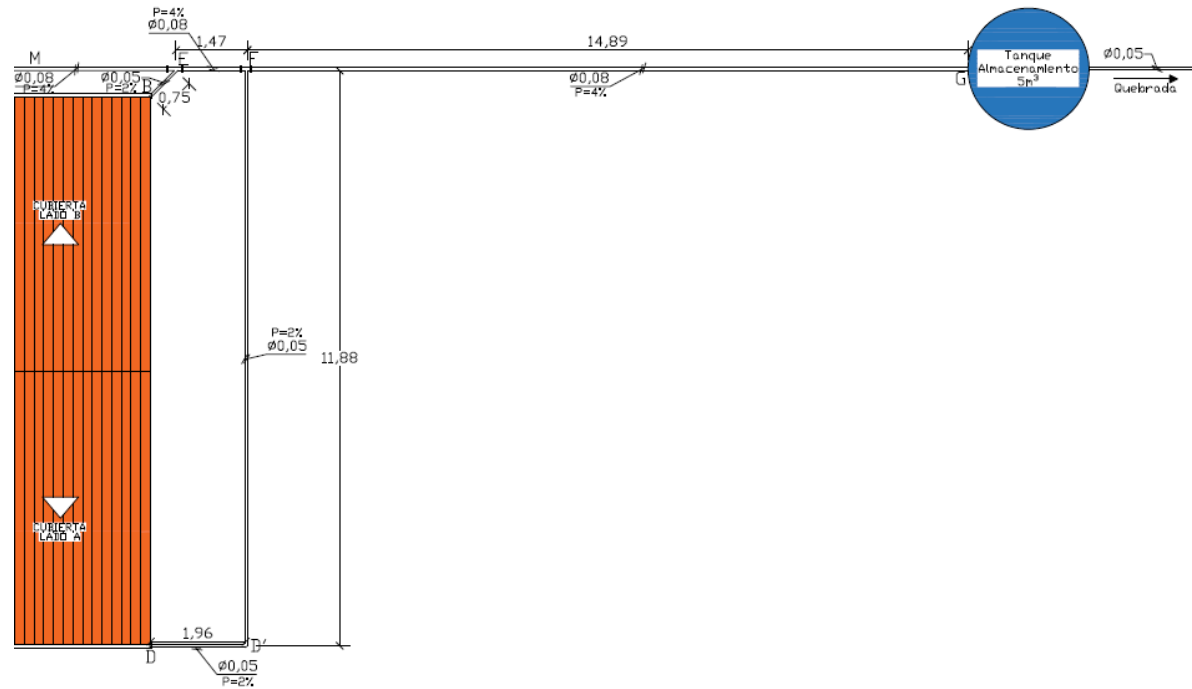
Tabla 24. Verificación parámetros tubería de flujo horizontal

TRAMO		Verificación Fuerza atractiva	Verificación "y"	Verificación Número de Froude	Verificación Velocidad del Agua
DE	A				
B	E	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
D	D'	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
D	F	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
E	F	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
F	G	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple

Nota: Esta tabla contiene la verificación de los parámetros de la tubería para flujo horizontal.

La red principal que conduce el agua lluvia recolectada al tanque, tubería en PVC Sanitaria-Aguas Lluvias será de 3”; la red secundaria que comunica los bajantes con la tubería principal será de 2”. Adicional a esto la red principal llevará una pendiente de 4%, mientras que la red secundaria tendrá pendiente del 2%.

Figura 31. Vista en planta del sistema de captación de agua lluvia



En el apéndice D, se encuentra el plano detallado del sistema de captacion de agua lluvia y el tanque de almacenamiento.

4.7 Etapa 7: Selección del Sistema de Riego

En busca de realizar una selección de sistema de riego que se adapte según la disponibilidad del agua, topografía y tipo de cultivo. Se realiza un cuadro comparativo que permite visualizar las características de cada tipo de riego.

Para la selección del sistema de riego se debe tener en cuenta que una parte del cultivo presenta pendiente aproximada de 14% mientras que en otras zonas hasta 35% esto se puede observar en este perfil de elevación realizado de un trazado longitudinal al lote como se puede visualizar en la figura 34 con ayuda de Global Mapper.

Figura 32. *Identificación de la Finca Jema y trazado Longitudinal*



Figura 33. *Recta Longitudinal – Ubicación del Cultivo*

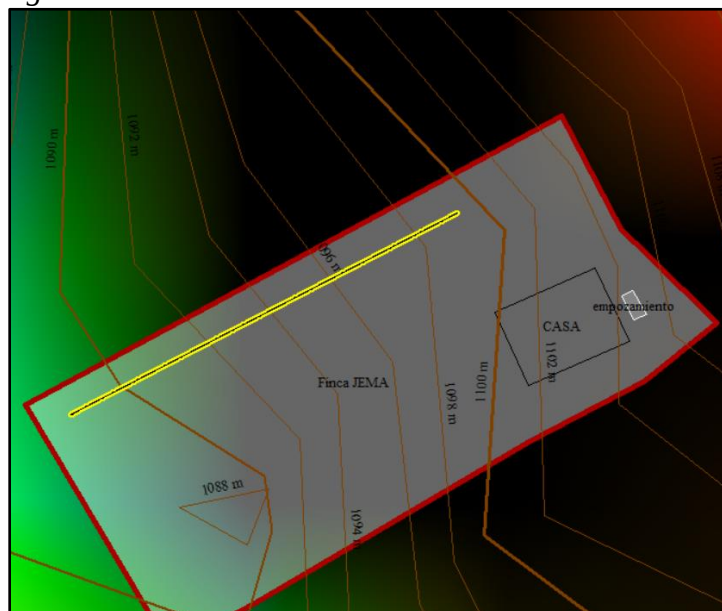
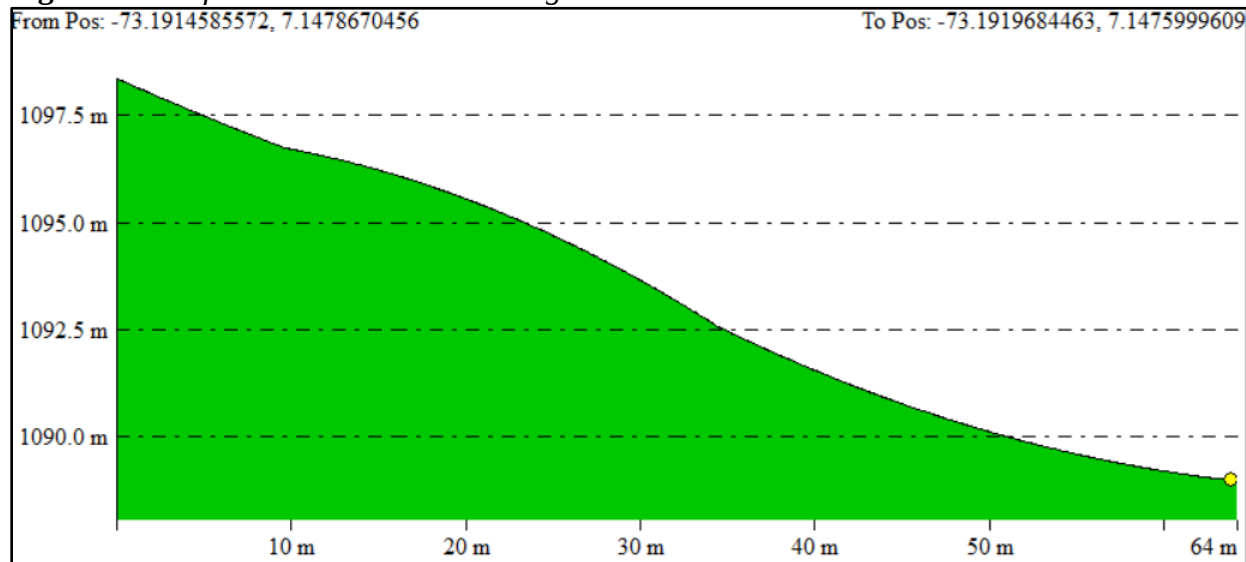


Figura 34. Perfil de elevación – recta longitudinal anterior



Adicional a esto se debe tener en cuenta que el cultivo de guayaba pera es un arbusto que alcanza hasta 2,5 metros de altura.

Tabla 25. Comparación entre los sistemas de Riego

	Tipos de sistema de riego			
	Aspersión	Por Goteo	Microaspersión	Inundación
Descripción	Sistema que no afecta la vegetación sometida a riego, debido a que elimina la presión que el agua ejerce sobre las plantas y además este sistema ofrece una cobertura total.	Tipo de sistema de riego localizado. Reduce la propagación de mala hierba en zonas no regadas, adicional a esto no permite la dispersión de plagas o enfermedades,	Tipo de sistema de riego localizado, no permite la dispersión de plagas o enfermedades. No produce erosión en el suelo debido a el diámetro de sus partículas tan pequeñas.	Sistemas más antiguos de riego, que permite que el suelo se humedezca de manera uniforme.
Distribución del Agua	Lluvia	Gota	Lluvia	Escurrimiento
Disponibilidad de agua	Media	Poca	Media	Alta
Topografía	Terrenos planos o semiplanos, o con pendiente poco pronunciada ya que el impacto que genera la gota en el suelo puede ocasionar erosión.	Terrenos irregulares, rocosos o con fuertes pendientes	Terrenos irregulares, rocosos o con fuertes pendientes	Terrenos planos o semiplanos

Tipos de sistema de riego				
	Aspersión	Por Goteo	Microaspersión	Inundación
Tipo de Cultivo	Cultivos bajos y no frondosos. Con pequeños espaciamientos ocupando casi el total del área del terreno. Ejemplo: Pasto	Cultivos con espaciamiento amplio y que requieren riego localizado ya que no ocupan toda el área del terreno. Aplica para cultivos altos, bajos o frondosos tales como: frutales, cítricos, vid y hortícolas.	Cultivo con espaciamiento amplio tales como: frutales arbóreos o no arbóreos.	Cultivos que permiten la inundación y posibilitan la construcción de surcos. Ejemplo: el arroz.
Vientos	Zonas con poco viento que no provoque el desplazamiento del agua.	No afecta.	Zonas con poco viento que no provoque el desplazamiento del agua.	No afecta.
Eficiencia	Entre 80-85%. Su coeficiente de uniformidad es del 80%, si se calcula bien las distancias entre aspersores.	Alta, ya que se aplica directamente en la zona de influencia radicular. 90-95%	Entre 85-90%	Entre 40 -65%

Nota: Esta tabla contiene la comparación de los sistemas de riego de aspersión, por goteo, microaspersión e inundación en distintos parámetros: eficiencia, vientos, tipo de cultivo, topografía, disponibilidad de agua y la distribución del agua.

De acuerdo con las características comparadas en la tabla anterior, el sistema de riego que mejor se adapta al cultivo de guayaba pera es el sistema de riego por goteo gracias a las siguientes características.

- Ofrecen una mayor eficiencia en el riego por la distribución de agua de manera puntual aumentando la eficiencia con que esta es utilizada; adicional a esto, que la distribución del riego sea puntual se disminuya la proliferación de hierba en el terreno restante.
- Debido a que este sistema es de distribución puntual, no se presenta problema con que el cultivo de guayaba sea tipo arbusto con alturas de más de 2 metros.
- El uso de este tipo de sistema de riego permite controlar erosiones en el suelo ya que el suelo no se verá afectado por el golpe que generan las gotas de agua sobre él.
- El hecho que este tipo de sistemas no requieran tecnología extra como los aspersores, permite que además de lograr eficiencia en el uso del agua se logre una disminución en los costos de implementación.

5. Conclusiones

Para llevar a cabo el diseño del sistema de aprovechamiento de agua lluvia fue necesario determinar la cantidad de lluvia que cae en el área donde se encuentra ubicada la Finca Jema, la cual de acuerdo con la información obtenido por la estación del IDEAM 23195502 – Aeropuerto Palonegro en el periodo comprendido entre el 2005 al 2019 en promedio al año llueve 1189,96mm de agua; proporcionando una cantidad considerable de agua lluvia la cual estará directamente relacionada al área de captación.

Para el empozamiento que presenta la finca Jema, se optó por un sistema de drenaje subterráneo que no afecte el frente de la vivienda y que transportara el agua empozada al tanque de almacenamiento de aguas lluvias; este sistema llevara un geotextil el cual filtra el agua e impedir el paso de partículas que puedan obstruir la tubería.

Adicional a esto, se diseñó un sistema de captación de agua lluvia de cubierta con un tanque de almacenamiento de 5m^3 el cual contará con una red de tubería que evacuará los excesos de agua lluvia almacenada a la fuente hídrica más cercana; siendo en este caso un lago, este tanque almacenará agua lluvia en los meses de mayo, junio, octubre, noviembre y diciembre. Este sistema proporcionará el agua para que se realice el respectivo riego del cultivo en la finca Jema supliendo sus necesidades agrícolas; y desarrollando esta actividad de manera sostenible presentando un ahorro en el servicio de acueducto. En busca que el agua almacenada se aproveche de la mejor manera al momento de ser utilizada para el riego se recomienda un sistema de riego por goteo el cual proporciona un consumo responsable del agua lluvia sin provocar desperdicios.

En definitiva, el proyecto es 100% viable y representa una opción beneficiosa para los demás pequeños agricultores del sector gracias a la oferta de agua lluvia en el sector; y así de esta manera poder generar un cambio de paradigma respecto a las alternativas tecnológicas que propone el Reglamento técnico para el sector de agua potable y saneamiento básico para el suministro de agua en sectores rurales como lo es la captación de agua lluvia, aportando al desarrollo sostenible y uso responsable del agua en la agricultura.

6. Recomendaciones

En caso de realizarse este tipo de proyecto en Fincas cuya actividad agricultura es a gran escala y con variedad de cultivos; se recomienda realizar el balance hídrico de la zona para determinar de manera precisa el requerimiento de agua de los cultivos y evitar excesos de agua en estos.

Referencias

- [1] “Clima Colombia: Temperatura, Climograma y Tabla climática para Colombia - Climate-Data.org.” <https://es.climate-data.org/america-del-sur/colombia-133/> (accessed Nov. 01, 2019).
- [2] “El consumo de agua en porcentajes - Enciclopedia Medioambiental.” https://www.ambientum.com/enciclopedia_medioambiental/aguas/el-consumo-de-agua-en-porcentajes.asp (accessed Sep. 15, 2020).
- [3] N. T. RAS, *Título J. Alternativas Tecnológicas en Agua y Saneamiento para el Sector Rural*. 2010.
- [4] “Revista del Agua Gerfor by Legis SA - issuu,” 2010. https://issuu.com/legissa2010/docs/revista_del_agua_gerfor (accessed Mar. 17, 2021).
- [5] J. A. Ballén Suárez, M. Á. Galarza García, and R. O. Ortiz Mosquera, “Historia de los sistemas de aprovechamiento de agua lluvia,” *Int. Symp. Hydraul. Struct. - XXII Congr. Latinoam. Hidraul.*, 2006.
- [6] J. C. Rivera D., “Relaciones entre postulados posmodernos y la arquitectura de Rogelio Salmona: Edificio de Posgrados de Ciencias Humanas, Universidad Nacional de Colombia,” *Kepes*, no. 8 SE-Artículos, pp. 217–233, Oct. 2015, [Online]. Available: <https://revistasoj.s.ucaldas.edu.co/index.php/kepes/article/view/471>.
- [7] T. Y. Oweis, *Water Harvesting for Agriculture in the Dry Areas*. .
- [8] H. Kinkade-Levario, *Design for water: rainwater harvesting, stormwater catchment, and alternate water reuse*. New society publishers, 2007.
- [9] “Sistema de captación Pluvial.” <https://rotoplascentroamerica.com/catalogo/sistema->

- captacion-pluvial/ (accessed Dec. 03, 2019).
- [10] C. P. CEPIS, “Guía de diseño para captación del agua lluvia,” *Lima, Perú*, 2004.
- [11] C. S. Quadros, “Rainwater Harvesting Case Study : FCT / UNL Campus,” 2010.
- [12] IDEAM, “CURVAS INTENSIDAD DURACIÓN FRECUENCIA –IDF.”
<http://www.ideam.gov.co/curvas-idf#:~:text=El IDEAM pone a su,que cuentan con esta informaci3n.&text=Las curvas IDF hacen parte,el grupo de Informaci3n Especial>.
- [13] G. Silva Medina, “Hidrología básica,” *Univ. Nac. Colomb. Fac. Ing. Bogotá*, 1998.
- [14] R. A. López, *Elementos de diseño para acueductos y Alcantarillados*. 1995.
- [15] V. Te Chow, *Hidráulica de canales abiertos.*, no. TC175. C6818 1994. CALIFORNIA SPANISH Books, 1994.
- [16] R. Pérez Carmona, *Instalaciones hidrosanitarias y de gas para edificaciones*, Sexta. Bogotá, 2010.
- [17] N. técnica colombiana NTC1500, “NTC 1500-Código de fontanería,” p. 85, 2004.
- [18] M. Liotta, “Drenaje De Suelos Para Uso Agrícola ,” *Man. Capacit.*, vol. 1, 2015, [Online]. Available:
https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_manual_drenaje_de_suelos_para_uso_agricola.pdf.
- [19] L. Ortega C, Leopoldo. Sagado S, “Drenaje en suelos Agrícolas,” Chile, 2001.
- [20] “Drenaje del Suelo.” <http://wamco.com.co/ingenieria-recursos-hidricos/drenaje-suelo/>
(accessed Nov. 12, 2019).
- [21] J. Suarez, “Obras de drenaje y subdrenaje,” *Deslizamientos Tec. Remediación*, vol. 2, pp. 47–106, 2008.
- [22] “Drenes Filtrantes o franceses.” <http://sudsostenible.com/tipologia-de-las->

- tecnicas/medidas-estructurales/drenes-filtrantes-o-franceses/ (accessed Nov. 12, 2019).
- [23] J. Soto, “Manual para el diseño y gestión de pequeños sistemas de riego por aspersión en laderas,” *Masal*, pp. 1–79, 2002.
- [24] T. Maldonado Rojas and FAO, “Criterios de selección del método de riego,” *Organ. las Nac. Unidas para la Agric. y la Aliment.*, pp. 33–34, 2001.
- [25] N. Ciancaglini, M. A. Liotta, A. Estevez, R. A. Carrión, M. L. Paz, and M. L. Graffigna, “Riego superficial,” PROSAP; INTA, 2015.
- [26] Á. M. Calvache-Ulloa, “Manejo del Agua de Riego en Zonas de Ladera,” *Eidos*, no. 2, p. 32, 1970, doi: 10.29019/eidos.v0i2.52.
- [27] “Particularidades del riego por aspersión,” 25 de febrero, 2015. <https://agriculturers.com/particularidades-del-riego-por-aspersion/> (accessed Feb. 03, 2020).
- [28] L. Muñoz, “Qué es el Riego por Microaspersión: Ventajas e inconvenientes,” 30 de mayo, 2016. <https://www.agrohuerto.com/riego-por-microaspersion/#:~:text=El riego por microaspersión es,y gotas son más pequeñas.> (accessed Feb. 03, 2020).
- [29] M. de M. A. y Agua, “Uso eficiente del agua Agricultura,” Bolivia, 2019.
- [30] Anonimo, “Cubiertas y techumbres,” [Online]. Available: http://aducarte.weebly.com/uploads/5/1/2/7/5127290/cubiertas_y_techumbres.pdf.
- [31] O. Insuasty, R. Monroy, A. Díaz, and J. Bautista, “Manejo fitosanitario del cultivo de la guayaba (*Psidium guajava* L.) en Santander,” *Corpoica-ICA Imprenta Nac. Colomb.*, p. 40, 2011.
- [32] FAO, *Captación Y Almacenamiento De Agua De Lluvia*. 2013.

Apéndices

Apéndice A. Cálculos para la elaboración de las Curvas IDF

CURVAS IDF - ESTACIÓN APTO PALONEGRO									
Nombre Estación:		Aeropuerto Palonegro		Código:	23195502	Altitud:	1189 msnm	Ubicación:	Lebrija - Santander
Metodología usada para la creación de curva IDF:		Metodología Gustavo Silva						Entidad:	IDEAM

Precipitación máxima en 24 horas									
Año/Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre
2005	38,5	73,9	31	44,4	32	9,1	29,1	13,8	29,7
2006	27,1	33,2	23,8	33,2	25,5	32	13,4	27,4	16,8
2007	43,1	31,9	44,2	29,2	62,9	8,4	9,4	49,2	19,6
2008	21,4	99,8	117,2	23,6	72,5	12,4	18	17,2	18
2009	18	25,4	79,6	61,6	49,2	69,7	17,7	33,6	14,9
2010	2,4	9,8	16,5	15	42,3	36,2	19	47,4	60,4
2011	8,6	43,7	16,5	39,9	32,1	15	11,3	44,2	49,3
2012	26,6	4,9	16,7	43,5	11	55,7	63,5	25,9	7
2013	23,4	136,5	88,6	7,8	63,2	17,3	9	75,8	19,7
2014	22,9	54,7	25,6	40,9	26,6	23,4	43,7	30,2	21
2015	28,6	40,5	38,6	27,1	11,4	3	12,2	20,6	11,2
2016	20,9	24,1	41	12,3	39,3	20,9	29,6	7,1	10,8
2017	9,6	4,2	38,4	26	21,5	30	14,6	9,6	39,2
2018	SD	SD	81,3	32,6	48,2	9	15,3	49,5	21,7
2019	15,6	13,6	62,6	48,8	65	12,3	15,7	16	SD

Nota: SD - sin dato

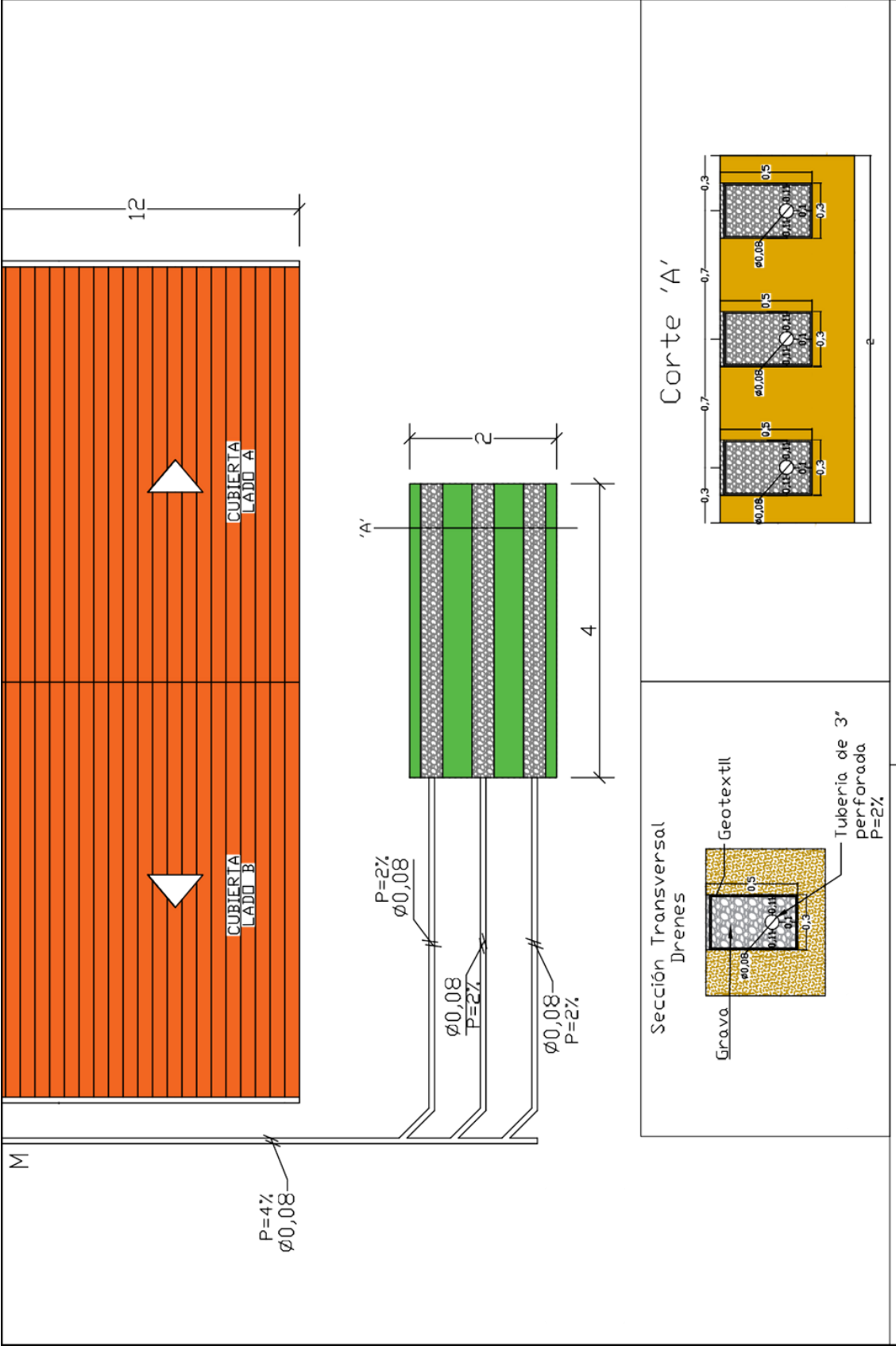
Tiempo de Retorno		P Máx. en 24 horas [mm]	P Máx. en 1 hora	K
5 Años		116,425	46,57	389,63
10 Años		139,275	55,71	466,10
15 Años		146,213	58,485	489,32

Duración [minutos]	INTENSIDAD [mm/h]		
	TR= 5 AÑOS	TR= 10 AÑOS	TR= 15 AÑOS
15	77,93	93,22	97,86
30	61,61	73,70	77,37
45	52,54	62,85	65,98
60	46,57	55,71	58,49
75	42,26	50,56	53,07
90	38,96	46,61	48,93
105	36,33	43,46	45,63
120	34,17	40,88	42,92

Datos para Colombia		n	b
		0,5	10

$n = 0.5$	$P_x > X = \frac{1}{Tr}$	$P_{max} \text{ en } 1 \text{ hr} = 0.4$ $\frac{P_{max} \text{ en } 24 \text{ hr}}{P_{max} \text{ en } 1 \text{ hr}}$	$I = \frac{K}{(t + b)^n}$	t debe estar en minutos
-----------	--------------------------	--	---------------------------	-------------------------

Apéndice B. Sistema de drenaje – zona de empozamiento. (Sin Escala). Unidades en metros



Apéndice C. Cálculos tubería flujo horizontal.

CÁLCULO RED DE TUBERÍA - FUJO HORIZONTAL														
Sistema de Aprovechamiento Agua Lluvia - Finca Jema, Lebrija, Santander														
TRAMO		CAUDAL		PENDIENTE	DIAMETRO		n	Longitud [m]	caudal tubo lleno [Qo]		Q/Qo Form.	Q/Qo Lista	Y/do Tabla	Altura del Agua [m]
DE	A	l/s	m3/s		metros	in			m3/s	l/s				
B	E	1,31	0,00	2,00	0,05	2,00	0,01	0,75	0,01	11,11	0,118	0,120	0,264	0,01
D	D'	1,31	0,00	2,00	0,05	2,00	0,01	1,96	0,01	11,11	0,118	0,120	0,264	0,01
D	F	1,31	0,00	2,00	0,05	2,00	0,01	11,88	0,01	11,11	0,118	0,120	0,264	0,01
E	F	1,34	0,00	4,00	0,08	3,00	0,01	1,47	0,03	32,98	0,041	0,040	0,148	0,01
F	G	2,66	0,00	4,00	0,08	3,00	0,01	14,89	0,03	32,98	0,080	0,080	0,215	0,02

TRAMO		Vel. Tubo lleno Vo [m/s]	V/Vo	Vel. Agua V [m/s]	Y/do escogido	R/do	Fuerza atractiva Kg/m2	V^2 / 2g [DV] m	Do/do	Froude	Verificación Fuerza atractiva	Verificación "y"	Verificación Número de Froude	Verificación Velocidad Agua
DE	A													
B	E	5,48	0,56	3,09	0,26	0,15	0,15	0,49	0,19	10,10	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
D	D'	5,48	0,56	3,09	0,26	0,15	0,15	0,49	0,19	10,10	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
D	F	5,48	0,56	3,09	0,26	0,15	0,15	0,49	0,19	10,10	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
E	F	7,23	0,40	2,88	0,15	0,09	0,28	0,42	0,10	10,42	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple
F	G	7,23	0,50	3,58	0,22	0,13	0,40	0,65	0,15	10,66	Cumple	Cumple	Cumple	Cumple

Apéndice D. Sistema de captacion de agua lluvia y tanque de almacenamiento. (sin Escala). Unidades en metros

