

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
VICERRECTORÍA DE DOCENCIA
ESCUELA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



Informe de Trabajo Final de Graduación presentado a la
Escuela de Ingeniería Agrícola como requisito parcial para
optar al grado de Licenciado en Ingeniería Agrícola

**DISEÑO DE SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO MEDIANTE COSECHA DE
AGUA PARA EL CULTIVO DE CÍTRICOS PARA 29 PARCELEROS
BENEFICIARIOS DEL INDER, EN EL ASENTAMIENTO RODOLFO COTO DE
LA GLORIA, CHIRES DE PURISCAL.**

MONTOYA CASTRO SERGIO FRANCISCO

CARTAGO, 2021

**DISEÑO DE SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO MEDIANTE COSECHA DE
AGUA PARA EL CULTIVO DE CÍTRICOS PARA 29 PARCELEROS
BENEFICIARIOS DEL INDER, EN EL ASENTAMIENTO RODOLFO COTO DE
LA GLORIA, CHIRES DE PURISCAL.**

MONTOYA CASTRO SERGIO FRANCISCO

Informe de Trabajo Final de Graduación presentado a la
Escuela de Ingeniería Agrícola como requisito parcial para
optar al grado de Licenciado en Ingeniería Agrícola

Ing. Milton Solórzano Quintana

Asesor

Dra. Isabel Guzmán Arias

Directora
Escuela de Ingeniería Agrícola

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

CARTAGO, COSTA RICA

2021



ACTA DE CALIFICACION DE TRABAJOS DE GRADUACION

A las 11:00 horas del día 19 del mes de Noviembre del año 2021 el estudiante:
Sergio Montoya Castro
presenta y defiende su trabajo final de graduación titulado:

Diseño de sistema de riego por goteo mediante cosecha de agua para el cultivo de cítricos para 29 parceleros beneficiarios del INDER, en el asentamiento Rodolfo Coto de la Gloria, Chires de Puriscal.

ante el Tribunal de Evaluación compuesto por los siguientes miembros:

Presidente (a): Laura Segura

Asesor (a) de la Escuela: Milton Solórzano

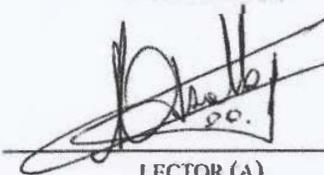
Lector (a): Osvaldo Mainieri

Firman conforme lo dispone el Reglamento de Trabajos Finales de Graduación:

LAURA PATRICIA SERRANO
(FIRMA)

Firmado digitalmente
por LAURA PATRICIA
SEGURA SERRANO
(FIRMA)
Fecha: 2022.01.03
14:08:16 -06'00'

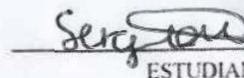
PRESIDENTE (A)


LECTOR (A)

MILTON ULISES
SOLORZANO
QUINTANA
(FIRMA)

Firmado digitalmente
por MILTON ULISES
SOLORZANO QUINTANA
(FIRMA)
Fecha: 2021.11.25
14:12:40 -06'00'

ASESOR (A) DE LA ESCUELA


ESTUDIANTE

DEDICATORIA

A mi padre Sergio Montoya y a mi madre Grace Castro, por confiar en mí y hacer todo lo humanamente posible para poder concluir mis estudios universitarios.
A mis abuelos Enaín y Adelaida por todo el amor que me han brindado.

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, agradezco a Dios y a la Virgen de los Ángeles por darme la sabiduría para
superar cada prueba difícil.

A mis padres y hermanos que cada uno de diversa forma siempre me brindaron su apoyo
incondicional, dedicándome tiempo y recursos para concluir esta etapa.

A Valeria Corrales por estar en los momentos más difíciles brindándome su apoyo, por nunca
dejar de creer en mí y en especial por acompañarme en las largas noches de estudio.

Al Ingeniero Luis Cordero Barrantes por la confianza depositada en mi persona y por
brindarme la oportunidad de realizar este proyecto junto a él.

Al Ingeniero Rodrigo Morales, por la disposición que tuvo para ayudarme y hacer posible la
culminación de mi trabajo de graduación.

Al Ingeniero y profesor Milton Solórzano por toda la ayuda y orientación que me brindó
durante el desarrollo del presente proyecto.

A mis compañeros de carrera por los momentos inolvidables vividos a lo largo de la
universidad.

A mis familiares que siempre confiaron en mí y me brindaron motivación cuando más la
necesitaba.

INDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN	viii
ABSTRACT.....	ix
1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Objetivos	2
1.2.1 Objetivo general.....	2
1.2.2 Objetivos específicos	2
2 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1 Generalidades de los cítricos.....	4
2.1.1 Profundidad radicular	4
2.1.2 Requerimientos hídricos	4
2.1.3 Inducción floral.....	5
2.2 Propiedades físicas del suelo.....	5
2.2.1 Textura	5
2.2.2 Materia orgánica	5
2.2.3 Peso específico.....	6
2.2.4 Capacidad de campo (CC)	6
2.2.5 Punto de marchitez permanente (PMP)	6
2.3 Balance hidrológico	7
2.4 Evapotranspiración.....	7
2.4.1 Evapotranspiración de referencia (Eto)	7
2.4.2 Coeficiente de cultivo (Kc).....	8
2.5 Generalidades del riego por goteo.....	8
2.5.1 Cabezal de riego.....	8
2.5.2 Red de tuberías.....	9
2.5.3 Emisores de riego.....	9
2.5.4 Sistema de filtrado	10

2.6	Precipitación de diseño	10
2.7	Base de datos CHIRPS.....	11
2.8	Cosecha de agua de lluvia.....	11
2.8.1	Selección del sitio	12
2.8.2	Capacidad de almacenamiento.....	12
2.8.3	Evaporación	13
2.8.4	Infiltración	13
2.8.5	Agua de reserva	13
2.8.6	Sedimentador	13
2.8.7	Requerimientos Hídricos de los Cultivos	14
2.9	Análisis económico	14
2.9.1	Flujo de efectivo	14
2.9.2	Valor actual Neto (VAN).....	14
2.9.3	Tasa Interna de Retorno (TIR).....	15
2.10	Análisis ambiental.....	16
3	METODOLOGÍA.....	18
3.1	Diseñar dos opciones de riego por goteo para el cultivo de cítricos.....	19
3.1.1	Aspectos generales.....	19
3.1.2	Inspección de campo.....	19
3.1.3	Análisis topográfico.....	19
3.1.4	Parcelas representativas	20
3.1.5	Muestreo de suelos.....	21
3.1.6	Determinación de textura de suelo.....	21
3.1.7	Cálculo de capacidad de campo y punto de marchitez permanente	23
3.1.8	Cálculo de peso específico aparente del suelo.....	23
3.1.9	Evapotranspiración	24
3.1.10	Diseño agronómico	27
3.1.10.1	Selección del gotero	27
3.1.10.2	Porcentaje de suelo humedecido (PAR).....	27
3.1.10.3	Lámina neta	28

3.1.10.4	Frecuencia de riego.....	29
3.1.10.5	Lámina neta corregida	30
3.1.10.6	Lámina bruta.....	30
3.1.10.7	Tiempo de riego.....	31
3.1.10.8	Máximo número de operaciones al día.....	31
3.1.10.9	Área de cada operación	32
3.1.10.10	Caudal del sistema.....	32
3.1.11	Diseño hidráulico	32
3.1.11.1	Diseño de tubería lateral	32
3.1.11.2	Diseño de la tubería múltiple.....	35
3.1.11.3	Presión en la válvula.....	36
3.1.11.4	Presión distal	36
3.1.11.5	Diseño de la tubería principal.....	37
3.2	Determinar mediante un análisis hidrológico la cantidad de agua llovida que se puede captar a través de cosecha de agua su uso en el sistema de riego en la zona de estudio.	37
3.2.1	Cálculo de precipitación de diseño	37
3.2.2	Cosecha de agua de lluvia.....	39
3.3	Evaluar económica y ambientalmente ambas propuestas de diseño con el fin de conocer la viabilidad del proyecto.	43
3.3.1	Análisis económico.....	43
3.3.2	Análisis ambiental.....	44
4	RESULTADOS	45
4.1	Diseñar dos opciones de riego por goteo para el cultivo de cítricos.....	46
4.1.1	Inspección de campo.....	46
4.1.2	Análisis topográfico	47
4.1.3	Áreas representativas	48
4.1.4	Propiedades físicas del suelo	49
4.1.4.1	Textura del suelo	49
4.1.4.2	Capacidad de campo y Punto de marchitez permanente	49
4.1.4.3	Peso específico aparente del suelo	50

4.1.5	Evapotranspiración	51
4.1.6	Diseño agronómico	52
4.1.7	Diseño hidráulico.....	53
4.1.7.1	Propuesta de diseño 1	56
4.1.7.2	Propuesta de diseño 2	59
4.2	Determinar mediante un análisis hidrológico la cantidad de agua llovida que se puede captar a través de cosecha de agua para su uso en el sistema de riego.	61
4.2.1	Precipitación de diseño	61
4.2.2	Cosecha de agua.....	64
4.3	Evaluar económica y ambientalmente ambas propuestas de diseño con el fin de conocer la viabilidad del proyecto.	68
4.3.1	Análisis económico.....	68
4.3.1.1	Diseño del sistema de riego de la propuesta 1	69
4.3.1.2	Diseño del sistema de riego de la propuesta 2.....	70
4.3.1.3	Costos de construcción del reservorio	71
4.3.1.4	Flujos de efectivo	71
4.3.2	Análisis ambiental.....	73
5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	74
5.1.1	Conclusiones	75
5.1.2	Recomendaciones	76
6	BIBLIOGRAFÍA.....	77

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 4.1. Mapa de la división de las parcelas en el asentamiento Rodolfo Coto.	46
Figura 4.2. Mapa de curvas a nivel a cada 2 m en el asentamiento Rodolfo Coto.....	47
Figura 4.3. Líneas de flujo para cada parcela en el Asentamiento Rodolfo Coto.	48
Figura 4.4. Distribución de la tubería en la parcela 8.....	54
Figura 4.5. Distribución de la tubería en la parcela 10.....	55
Figura 4.6. Distribución de la tubería en la parcela 27.....	56
Figura 4.7. Comportamiento de las precipitaciones mínimas y máximas de diseño a lo largo de un año para un periodo de retorno de 12 años	64

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 3.1. Balance hidrológico por el método de Thornthwaite con indicaciones para el llenado de sus variables.	26
Cuadro 4.1. Determinación de la textura del suelo para cada área representativa	49
Cuadro 4.2. Datos de CC y PMP para cada área representativa.....	50
Cuadro 4.3. Valores de peso específico para cada área representativa y su valor promedio. .	50
Cuadro 4.4. Valores de déficit hídrico para los meses de sequía.	51
Cuadro 4.5. Evapotranspiración real para el cultivo de cítricos.....	52
Cuadro 4.6. Parámetros agronómicos de las dos propuestas de diseño.....	53
Cuadro 4.7. Resultado del diseño hidráulico de la tubería lateral más crítica para la propuesta de diseño 1.....	57
Cuadro 4.8. Resultados del diseño hidráulico de la tubería múltiple, que contiene el lateral más crítico, para la propuesta de diseño 1	57
Cuadro 4.9. Resultado del diseño hidráulico de la tubería principal para la propuesta de diseño 1	58
Cuadro 4.10. Resultados del diseño hidráulico de la tubería lateral más crítica para la propuesta de diseño 2.....	59
Cuadro 4.11. Resultados diseño hidráulico tubería múltiple para la propuesta de diseño 2 ..	60
Cuadro 4.12. Resultado del diseño hidráulico de la tubería principal para la propuesta de diseño 2	60
Cuadro 4.13. Precipitación mínima de diseño para cada mes y diversos periodos de retorno	62
Cuadro 4.14. Precipitación máxima de diseño para cada mes y diversos periodos de retorno	63
Cuadro 4.15. Desglose del volumen total requerido para el diseño del reservorio.	65
Cuadro 4.16. Datos preliminares para el diseño del reservorio.....	65
Cuadro 4.17. Dimensiones del reservorio con talud de 0,5.....	66
Cuadro 4.18. Dimensiones del reservorio con talud de 1	67
Cuadro 4.19. Volúmenes mínimos y máximos que se pueden recolectar en el área del techo de la parcela 27.	68

Cuadro 4.20.	Lista de materiales con su respectivo precio para la propuesta el diseño 1.....	69
Cuadro 4.21.	Lista de materiales con su respectivo precio para la propuesta de diseño 2.....	70
Cuadro 4.22.	Costo de construcción del reservorio seleccionado	71
Cuadro 4.23.	Análisis del flujo de efectivo para 1 hectárea de cítricos donde se emplea la primera propuesta del diseño del sistema de riego con junto al reservorio.	72
Cuadro 4.24.	Análisis del flujo de efectivo para 1 hectárea de cítricos donde se emplea la segunda propuesta del diseño del sistema de riego con junto al reservorio.....	73

RESUMEN

La escasez de fuentes de agua para riego durante la época de verano es una problemática que afecta el cultivo de cítricos en las 29 parcelas del asentamiento Rodolfo Coto de La Gloria de Chires de Puriscal, lo que provoca que los árboles de cítricos sufran estrés hídrico. Por consiguiente, basándose en las necesidades hídricas del cultivo con una edad de 5 años, se decidió implementar un sistema de riego por goteo, con goteros alrededor del árbol en disposición de cola de cerdo, y un reservorio para cosecha de agua en cada parcela por individual.

Por lo tanto, sabiendo que cada parcela mide 1.5 hectáreas y que solo se cultivara 1 hectárea de cítricos por parcela; se realizaron dos propuestas de diseño para el sistema de riego por goteo. Con base en esto se estableció que el reservorio a diseñar debe captar el agua suficiente para regar 1 hectárea durante dos meses bajo las condiciones más críticas. Además, se realizó el análisis económico y ambiental para cada propuesta.

Finalmente, se estableció que el diseño que mejor se adapta es el que utiliza tubería con goteros integrados en cada cola de cerdo.

Palabras claves: cítricos, cosecha de agua, riego, déficit hídrico.

ABSTRACT

The shortage of sources of water for irrigation during the summer season is a problem that affects the cultivation of citrus fruits in the 29 plots of the Rodolfo Coto de La Gloria de Chires de Puriscal settlement, which causes the citrus trees to suffer from water stress. Consequently, in view of the water needs of the crop with an age of 5 years, it was decided to implement a drip irrigation system, with drippers around the tree in a pigtail arrangement, and a reservoir for harvesting water in each individual plot.

Therefore, knowing that each plot measures 1.5 hectares and that only 1 hectare of citrus fruits is cultivated per plot; Two design proposals were made for the drip irrigation system. Based on this, it was established that the reservoir to be designed must capture enough water to irrigate 1 hectare for two months under the most critical conditions. In addition, the economic and environmental analysis was carried out for each proposal.

Finally, it was established that the design that best suits is the one that uses pipe with integrated drippers in each pig's tail.

Keywords: citrus, water harvesting, irrigation, water deficit.

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

El presente proyecto se llevó a cabo en una finca dividida en 29 parcelas ubicadas en el asentamiento Rodolfo Coto de La Gloria de los Chires de Puriscal, en la provincia de San José. El asentamiento cuenta con un área total de 42 hectáreas y cada parcela posee con una extensión aproximada de 1,5 hectáreas, de las cuales 1 hectárea es destinada al cultivo de cítricos y corresponde al área sobre la que se harán los diseños; el restante 0,5 hectárea se destina al cultivo de alimentos de seguridad alimentaria y otros usos. En cuanto a la administración de las parcelas, cada una se encuentra a cargo de un parcelero beneficiario del Instituto de Desarrollo Rural (INDER).

Con respecto a la caracterización del lugar, la comunidad de La Gloria de Puriscal pertenece a la región climática del Pacífico Central. Según, Cordero Barrantes, (2020), el valor de la precipitación es de 3.122 mm por año. Además, menciona que los periodos secos en el distrito de Chires de Puriscal son de enero a abril, mientras que los periodos lluviosos son de mayo a diciembre. Por lo cual, se interpreta que, en la zona en estudio los veranos son cortos y moderados, en cambio, los inviernos son largos y severos. Por otro lado, la Dirección de Aguas & MINAE, (2019), en un mapa de acuíferos potenciales de 0 a 30 metros bajo el nivel del suelo, evidencia que la comunidad de La Gloria no presenta potencial de acuíferos someros, por lo cual, no es posible la obtención de agua a través de pozos.

Por consiguiente, el cultivo de cítricos en dichas parcelas se ve afectado, principalmente, por la escasez de fuentes de agua para riego, lo que provoca la producción de frutos de baja calidad. Además, al existir escasez de fuentes de riego, la cosecha de cítricos se da únicamente en ciertas épocas del año, donde lamentablemente, el valor de dicho cultivo en el mercado es significativamente bajo. Dado la presencia de tales problemáticas, el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), a través de la Agencia de extensión agropecuaria de La Gloria, pretende aumentar la disponibilidad de agua para riego en las parcelas, así como proporcionarlo de la manera más eficiente posible. Por consiguiente, se procura implementar un sistema de riego por goteo

mediante cosecha de agua, que se adapte a las necesidades del cultivo de cítricos; reduciendo el estrés hídrico sufrido por los árboles de cítricos y causando la inducción floral en dichos árboles.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Diseñar dos propuestas de riego por goteo con la implementación de reservorios de agua de lluvia para mitigar el estrés hídrico en árboles frutales (cítricos) en época seca, en el asentamiento Rodolfo Coto de La Gloria de Puriscal.

1.2.2 Objetivos específicos

- a) Diseñar dos opciones de riego por goteo para el cultivo de cítricos.
- b) Determinar mediante un análisis hidrológico la cantidad de agua llovida que se puede captar a través de cosecha de agua para su uso en el sistema de riego.
- c) Evaluar económica y ambientalmente ambas propuestas de diseño con el fin de conocer la viabilidad del proyecto.

2 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

La comunidad de La Gloria de Puriscal presenta un periodo seco y de lluvias bien definido, el periodo lluvioso es largo y severo, mientras que el periodo seco es moderado y corto. Según Quesada Monge, (2021), la comunidad pertenece a la zona de vida: Bosque Muy Húmedo Premontano Transición a Basal; la cual experimenta un rango de lluvias entre los 2.000 a los 4.000 mm al año.

La temperatura promedio de la zona es de 28 °C, con una radiación solar alta y un promedio de 11 horas de luz. Además, los meses secos son de enero a marzo, los lluviosos de junio a noviembre y por su parte abril y diciembre se consideran meses de transición (Cordero Barrantes, 2020).

2.1 Generalidades de los cítricos

2.1.1 Profundidad radicular

De acuerdo con Durán Ramírez, (2013), los cítricos son plantas con raíces profundas, cuyas raíces principales pueden alcanzar hasta los 3 metros de profundidad, no obstante, la mayor cantidad de raíces secundarias y pelos absorbentes se encuentran en los primeros 60 centímetros de profundidad.

2.1.2 Requerimientos hídricos

Los cítricos son cultivos que demandan grandes cantidades de agua. Durán Ramírez, (2013) menciona que los cítricos requieren precipitaciones bien distribuidas a lo largo del año de alrededor de 900 a 1.200 mm, aunque precipitaciones mayores no causan problemas mientras se cuente con un buen drenaje.

2.1.3 Inducción floral

Según Orduz Rodríguez, (2007), en el trópico, la principal fuerza que induce a la floración es el estrés hídrico. Además, menciona que la cantidad de días de estrés hídrico necesarios para inducir la floración varía entre una variedad a otra. Dichos valores se encuentran en el rango de los 30 a los 90 días.

2.2 Propiedades físicas del suelo

Los cítricos no son muy exigentes en lo que respecta a suelo. Durán Ramírez, (2013) menciona que una condición importante que debe cumplir el suelo es que no sea demasiado arcilloso y que presente una buena aireación. También menciona las siguientes propiedades físicas del suelo:

2.2.1 Textura

Las texturas livianas y medias son las ideales para el cultivo de cítricos. En suelos arcillosos los árboles de cítricos tienden a ser de menor tamaño, el fruto es más pequeño, con una cascara más gruesa y menos cantidad de zumo; sin embargo, el contenido de sólidos disueltos es mayor, así como el contenido de ácidos totales y vitamina C.

2.2.2 Materia orgánica

El contenido de materia orgánica está asociado al mantenimiento de las propiedades tanto físicas como químicas del suelo. Se considera que un suelo fértil posee un contenido de materia orgánica de alrededor de 6%, mientras que un suelo poco fértil es aquel que contiene menos de un 2%.

2.2.3 Peso específico

Es la relación entre el peso del suelo seco y el volumen aparente del suelo. Está directamente relacionado con la porosidad del suelo. Además, según FAO, (2021), generalmente el suelo está constituido por 50% de contenido mineral y 50% de poros. Los macroporos son los encargados de la aireación y el drenaje del suelo debido a que no retienen agua contra la gravedad; y los microporos son los encargados de almacenar el agua disponible para las plantas.

Según Alvarado & Forsythe, (2005), los suelos arcillosos bien estructurados presentan un peso específico aparente de 1,05 a 1,10 g/cm³ mientras que en los suelos compactados ese valor oscila entre 1,90 a 1,95 g/cm³.

2.2.4 Capacidad de campo (CC)

La capacidad, según FAO, (2021), se denomina como la cantidad de agua que el suelo es capaz de retener después de ser saturado y dejado drenar por 48 horas. También se puede definir como el agua que se encuentra en el suelo después de una succión de 0,33 bar.

Villalobos Araya, (2008), establece que la capacidad de campo en base a suelo seco para un suelo arcilloso es de 31% a 33%.

2.2.5 Punto de marchitez permanente (PMP)

El punto de marchitez permanente es la cantidad de agua a una succión de 15 bares. FAO, (2021) menciona que en este punto las plantas pierden la turgencia y se marchitan debido a que pierden la capacidad de succión mientras siguen perdiendo agua mediante la transpiración.

Según Villalobos Araya, (2008), el porcentaje de humedad, en el punto de marchitez permanente para un suelo arcilloso es de 15% a 19%.

2.3 Balance hidrológico

Según lo mencionado por Evett et al., (2012), el balance hídrico del suelo se confecciona para un área de superficie dada y a profundidad dentro de la cual el almacenamiento de agua cambia debido a los flujos de agua hacia la atmósfera, ocasionados por la evaporación y la transpiración de las plantas, y a los flujos laterales o verticales dentro o fuera del área estudiada.

Por su parte Saubes, (2015), define el balance hidrológico como una herramienta que permite describir el movimiento de los flujos de agua dentro del ciclo hidrológico, sin tomar en cuenta la extracción de ésta por la sociedad. Además, menciona que el balance hidrológico es una herramienta útil que permite hacer una gestión del recurso hídrico en zonas donde las precipitaciones no están bien distribuidas a lo largo del año.

2.4 Evapotranspiración

En opinión con Villón Béjar, (2004), la evapotranspiración corresponde a la suma de las pérdidas de agua debido a la evaporación del suelo, así como de la transpiración de las plantas.

2.4.1 Evapotranspiración de referencia (Eto)

Representa la pérdida total de agua que ocurrirá si en ningún momento existiera deficiencia de agua en el suelo. Según FAO, (2006), el concepto se introdujo para estudiar la demanda de evapotranspiración de la atmósfera, independientemente del tipo y desarrollo del cultivo, y de las prácticas de manejo; por lo que la Eto solo se ve afectada por factores climáticos.

2.4.2 Coeficiente de cultivo (Kc)

Según FAO, (2006), el coeficiente de cultivo Kc incorpora tanto las características del cultivo como los efectos promedios de la evaporación en el suelo. Se dice que su uso es apropiado y conveniente para la planificación del riego, para la definición de calendarios de riego y para la mayoría de los estudios de balance hídrico.

Además, se menciona que en el caso de los cítricos y demás frutales de hojas caducas, completamente desarrollados y que cubren un 70% del suelo, el valor del Kc puede ser menor a uno, si son cultivados en ausencia de otro cultivo que cubra el suelo.

2.5 Generalidades del riego por goteo

De acuerdo con lo expresado por Díaz Ortiz & Mercado Rodríguez, (2012), para que un árbol de cítricos adquiera un desarrollo y nivel productivo adecuado, bajo riego por goteo, es necesario que posea una superficie mojada de alrededor de un 33% del marco de plantación; en el caso de cítricos con marcos de plantación mayores a 5x5m.

Además, el mismo autor menciona los siguientes elementos que conforman un sistema de riego por goteo:

2.5.1 Cabezal de riego

Está ubicado próximo a la fuente de agua. Se define como la estación de control que cuenta con un conjunto de equipos que permite controlar y suministrar agua a toda la red de tuberías de riego. Comúnmente se compone por el conjunto de motobomba, sistema de filtrado, sistema de fertilización y sistema de control de presiones y caudales.

2.5.2 Red de tuberías

Son los diferentes conductos por donde se transporta el agua; entre ellos se distinguen:

- a) Tubería principal: es la que conduce el agua desde el punto de captación hasta la tubería múltiple.
- b) Tubería múltiple: es la que abastece de agua a las tuberías laterales. Normalmente, la tubería múltiple atraviesa el campo en dirección perpendicular a las líneas de cultivo.
- c) Tubería lateral: es la tubería que se instala siguiendo las líneas del cultivo y que abastece de agua a los goteros.

2.5.3 Emisores de riego

Es el equipo encargado de distribuir el agua en el terreno. Según Villalobos Araya, (2001), algunos aspectos a tomar en consideración al momento de elegir un gotero son los siguientes:

- a) Caudales bajos que no varíen mucho con los cambios de presión.
- b) Diámetros de pasos de agua grandes para evitar obturaciones.
- c) Alta uniformidad de fabricación.
- d) Poco sensibles a cambios de temperatura.
- e) Baja pérdida de carga en el sistema de conexión.
- f) Estabilidad de caudal – presión a lo largo del tiempo.
- g) En cultivos de alta densidad y suelos de textura fina, se recomienda goteros de bajo caudal, menor a 2 l/h, para evitar escorrentía.

2.5.4 Sistema de filtrado

Tiene como función eliminar las partículas que trae el agua en suspensión y de esta manera evitar la obstrucción de los goteros.

Liotta et al., (2015) menciona los siguientes sistemas de filtrado:

- a) **Rejillas o decantadores:** Las rejillas se utilizan a la entrada de los reservorios para impedir el ingreso de ramas, hojas, piedras, entre otros elementos de gran tamaño. Los decantadores son estructuras donde el agua pierde velocidad y los materiales en suspensión se precipitan.
- b) **Prefiltrado en la succión:** Para evitar que algas, piedras, hojas y otros elementos sean succionados, se debe poner un filtro en forma de canasto que cubra la válvula de retención o la válvula check, como suele llamarse.
- c) **Hidrociclones:** Son utilizados para separar arenas. Suelen usarse en aguas que provienen de pozos.
- d) **Filtros de arena:** Son efectivos para retener sustancias orgánicas, limos y arcillas debido a que el agua se filtra al pasar por el estrato de arena.
- e) **Filtros de malla y anillos:** Los filtros de malla contienen un cartucho de malla, metálica o plástica, con una cantidad de orificios por pulgada cuadrada (mesh). Para riego por goteo se recomienda un mesh entre 140 a 150. Los filtros de anillos son similares a los de malla, pero en lugar de un cartucho de malla cuentan con una fila de discos ranurados que en conjunto crean conductos por donde circula el agua. Son efectivos para eliminar arenas, limos, arcillas y sustancias orgánicas.

2.6 Precipitación de diseño

La precipitación de diseño es un evento hipotético donde se obtienen las lluvias más críticas, para una duración y un periodo de retorno dado, a partir de datos históricos de precipitaciones. Para Catalini et al., (2012) la lluvia de diseño permite establecer un

valor de diseño para obras hidráulicas ya que, sobredimensionar las obras es antieconómico, en tanto que, si las estructuras se subdimensionan pueden fallar con resultados catastróficos.

Villón Béjar, (2004) recomienda para proyectos agrícolas y estructuras menores un periodo de retorno de 5 a 10 años. Además, agrega que el periodo de retorno puede aumentar si estos protegen poblados importantes.

2.7 Base de datos CHIRPS

CHIRPS del grupo Climate Hazards, es una base de datos que contiene registros de precipitación diaria, mensual y promedio desde el año 1981 hasta la actualidad. Esta base datos incorpora imágenes satelitales junto con datos recolectados en estaciones en tierra. (Funk et al., 2015)

2.8 Cosecha de agua de lluvia

Morales Hidalgo et al., (2010) define la cosecha de agua como las aguas de escorrentías provenientes de quebradas, ríos o precipitaciones; y que se puedan almacenar en un reservorio. Además, se menciona que, en Costa Rica, el almacenamiento de agua en reservorios beneficia positivamente a las regiones donde hay escasez de agua en verano, debido a que genera un suministro de agua de buena calidad en el verano o durante los veranillos que se presentan en invierno. Es así que la utilización de reservorios en donde se almacene agua de lluvia puede ayudar a reducir la explotación de aguas superficiales y subterráneas, a la vez, permite el aumento de producción, mediante la implementación de nuevas áreas de cultivo que utilicen el riego.

Debido a los efectos del cambio climático se hace necesario hacer un uso eficiente del agua dentro de las fincas, Salinas Acosta, (2019) recomienda las siguientes prácticas para lograr dicho objetivo:

- a) Uso de estructuras para captar aguas de lluvias.
- b) Uso de aguas alternativas.
- c) Implementación de prácticas de conservación de aguas y suelos.
- d) Determinación precisa de los requerimientos hídricos de los cultivos.
- e) Uso de sistemas de irrigación de mayor eficiencia.
- f) Uso de especies de mayor tolerancia a periodos de sequias.
- g) Recarga dirigida de acuíferos

Morales Hidalgo et al., (2010) menciona los siguientes aspectos a tomar en consideración para la construcción de un reservorio:

2.8.1 Selección del sitio

En la medida de lo posible se busca construir el reservorio en la parte más elevada de la finca para tratar que el agua pueda llegar a cualquier parte de la finca sin necesidad de bombeo, de preferencia el suelo debe ser arcilloso con al menos un 35% de arcilla para que al compactarse adquiera cierta estabilidad e impermeabilidad. Un suelo arcilloso bien compactados permite taludes que varían de 0.5:1 a 1:1. Adicional a lo anterior, es preferible elegir un sitio que presente una depresión natural para disminuir costos por movimiento de tierra.

2.8.2 Capacidad de almacenamiento

Para determinar la capacidad de almacenamiento se debe tomar en cuenta el consumo de agua del uso que se tendrá en la finca y las pérdidas por evaporación e infiltración para reservorios que no son impermeabilizados y cubiertos, así como el volumen de reserva. Es recomendable colocar tuberías de desagüe en la parte superior del reservorio para evitar que un exceso de agua pueda dañar la infraestructura en caso de rebalse.

2.8.3 Evaporación

Para disminuir las pérdidas por evaporación lo ideal es construir reservorios profundos; aproximadamente 3 a 6 metros, y con un pequeño espejo de agua, así como implementar el uso de coberturas.

2.8.4 Infiltración

La infiltración varía según la textura del suelo, en reservorios bien construidos, la infiltración es despreciable para texturas arcillosas y en texturas livianas no debe superar 5%. La infiltración se puede anular recubriendo el suelo con plástico o alguna geomembrana. Se recomienda dejar un excedente de 1 metro de geomembrana, a cada lado del reservorio, con el propósito de anclarlo al suelo. A este excedente se le conoce como borde de anclaje.

2.8.5 Agua de reserva

Mantener un volumen de agua ayuda a evitar que un reservorio de suelo desnudo se seque y se agriete; en el caso de contar con una cobertura plástica ayuda a remover sedimentos de manera más sencilla y sin dañar el plástico. El volumen de agua de reserva dependerá del uso deseado y de la cantidad de sedimentos esperados.

2.8.6 Sedimentador

Permite separar las partículas sólidas suspendidas en el agua por acción de la gravedad. Siempre es conveniente colocar un sedimentador en la entrada de los reservorios alimentados por escorrentía, para evitar la acumulación de sedimentos en el fondo del reservorio, la contaminación del agua y la obstrucción de tuberías.

2.8.7 Requerimientos Hídricos de los Cultivos

Es el aspecto más importante para dimensionar el reservorio debido a que este valor es la demanda de agua que requiere el cultivo, por lo tanto, la que se debe suministrar a través del riego.

2.9 Análisis económico

Una de las etapas más importantes antes de comenzar cualquier proyecto, es realizar un estudio de viabilidad financiera, con la intención de analizar si su desarrollo es factible o no. No obstante, la eficacia del estudio dependerá de si se han tenido en cuenta todos los factores que intervienen en el proceso y que pueden suponer un grave riesgo para el éxito de este. Para realizar una evaluación económica de un proyecto se debe emplear criterios de evaluación financiera que se muestran a continuación:

2.9.1 Flujo de efectivo

El flujo de efectivo según lo expresado por Escobar Arias, (2014), es uno de las piezas más importantes que se obtienen de los estados financieros, ya que proporciona información sobre las entradas y las salidas de efectivo que se dan dentro de una empresa o proyecto, durante un periodo determinado. El flujo de efectivo se deriva de la ecuación contable fundamental; donde el valor de los activos es igual al valor de los pasivos más el valor del capital contable.

2.9.2 Valor actual Neto (VAN)

El VAN de un proyecto se define, según Mete, (2014), como el valor presente de los flujos de efectivo netos para una propuesta. El autor menciona tres casos que se pueden dar al calcular el VAN:

- a) $VAN < 0$: Un VAN negativo implica que los beneficios obtenidos no son suficientes para cubrir las expectativas del proyecto o que simplemente no se están obteniendo beneficios. En este caso se indica que el proyecto debe rechazarse debido a que no presenta viabilidad financiera.
- b) $VAN = 0$: significa que los beneficios obtenidos apenas alcanzan a cubrir las expectativas del proyecto. En este caso el proyecto se puede aceptar o rechazar, la decisión depende del objetivo final del proyecto.
- c) $VAN > 0$: indica que los beneficios obtenidos alcanzan para cubrir las expectativas del proyecto y aun así obtener utilidades. En este caso el proyecto se puede aceptar.

2.9.3 Tasa Interna de Retorno (TIR)

Según Poma Hidalgo, (2019), la tasa interna de retorno es la tasa de rentabilidad que se le concede a un proyecto de inversión, donde se iguala el VAN de la inversión a cero; esto ocurre porque el valor actual de los ingresos de dinero es igual al total de la inversión.

Mete, (2014), menciona los siguientes criterios de aceptación:

- a) TIR es mayor a la tasa de expectativa: el proyecto es financieramente atractivo, debido a que sus ingresos cubren los egresos y generan utilidades adicionales por encima de la expectativa.
- b) TIR es igual a la tasa de expectativa: realizar el proyecto o escoger las alternativas resulta indiferente, ya que generan un beneficio idéntico. De no existir alternativas el proyecto debe realizarse, ya que los ingresos cubren los egresos y genera algunos beneficios.
- c) TIR es menor a la tasa de expectativa: el proyecto no es financieramente rentable, porque puede haber alternativas de inversión que pueden generar mejores resultados. Dentro de este escenario existen dos casos: El primero es que la TIR sea menor a la expectativa, pero mayor a 0; esto significa que

los ingresos apenas logran cubrir los egresos del proyecto y no se generan utilidades. El segundo es el que la TIR sea menor a 0; esto significa que los ingresos no alcanzan para cubrir los egresos, por lo tanto, el proyecto genera pérdidas.

El periodo de recuperación se refiere al tiempo necesario para que el proyecto genere los recursos o utilidades necesarias para recuperar la inversión total.

2.10 Análisis ambiental

Según lo define Yáñez Vargas, (2008) el impacto ambiental ocurre cuando una acción o actividad ocasiona una alteración favorable o desfavorable sobre el ambiente o en alguno de sus componentes, por lo tanto, el impacto ambiental de un proyecto sobre el medio ambiente se puede definir como la diferencia entre la situación natural del ambiente presente y la situación evolutiva normal del ambiente futuro a raíz del proyecto.

Por su parte Arias Zúñiga, (2006), expresa que el propósito primordial de la evaluación de impacto ambiental es diagnosticar los impactos ambientales del proyecto, antes de que se realicen decisiones irrevocables. Además, sugiere que la evaluación ambiental debe realizarse en conjunto con los objetivos económicos de la propuesta, a fin de tomar decisiones equilibradas.

En el país, la Secretaría Técnica Nacional Ambiental de Costa Rica (SETENA), cuenta con una plataforma digital para tramitar los formularios D1 y D2 en línea. A través de un Reglamento General de evaluación de impacto ambiental, establece la existencia de un Documento de Evaluación Ambiental (D1), el cual consiste en una valoración previa de la actividad, obra o proyecto, con el fin de determinar la viabilidad ambiental potencial (VAP) y en caso de que la tenga; establece el tipo de evaluación de impacto ambiental que debe efectuarse.

La valoración de viabilidad ambiental define que, si el espacio geográfico donde se desarrolla la actividad presenta la condición de aptitud natural suficiente para soportar el desarrollo de la actividad, y en el caso de ser requerido, el instrumento de impacto ambiental deberá demostrar la capacidad de inserción de la actividad en el lugar, de forma tal que mantenga un equilibrio ambiental adecuado, y cumpla el objetivo fundamental de armonizar el impacto ambiental con el proceso productivo.

3 METODOLOGÍA

3.1 Diseñar dos opciones de riego por goteo para el cultivo de cítricos.

3.1.1 Aspectos generales

Se diseñaron dos propuestas de sistema de riego para arboles de cítricos. En ambas propuestas se utilizaron emisores alrededor del árbol, en disposición de cola de cerdo. En la primera propuesta se utilizaron goteros de botón insertados en tubería de polietileno y en la segunda propuesta se utilizó tubería con goteros integrados; debido a la pendiente de las parcelas, se buscó que los emisores fueran auto compensados.

3.1.2 Inspección de campo

Inicialmente se realizó una visita de campo con el propósito de conocer las condiciones de las parcelas y la comunidad en general, así como diseñar un plan de acción para realizar el levantamiento topográfico y el muestreo de suelos durante las siguientes visitas. Asimismo, fue posible obtener el plano del asentamiento, escala 1:6000, lo que permitió tener una noción más clara de la división de las parcelas. Dicho plano se puede observar en el [anexo 1](#).

Además, durante la primera visita fue visitar un reservorio de la comunidad que se utiliza para regar una pequeña plantación de cítricos, lo que permitió generar una idea del potencial de cosecha de agua que existe en el lugar.

3.1.3 Análisis topográfico

Recursos utilizados:

- a) Estación GNSS-RTK
- b) Trípode
- c) Bastón
- d) QGIS

El levantamiento topográfico fue realizado mediante un sistema de navegación global con corrección en tiempo real (GNSS-RTK), por sus siglas en inglés) de la marca GeoMax Zenith 25 Pro, la cual permite la medición de puntos con bastante precisión. Para el levantamiento topográfico se realizó la toma de puntos a lo largo de todas las parcelas, con una duración de uno a dos minutos por punto, con el propósito de obtener una adecuada precisión en la georreferenciación y resolución en los productos topográficos generados.

Una vez realizado el levantamiento de las parcelas, se procedió a generar el modelo de elevación digital, seguido a esto se obtuvieron las curvas de nivel, cada dos metros, y un mapa de las líneas de flujo, el cual permite identificar la dirección del movimiento del agua en las parcelas, todo lo anterior se realizó en el software QGIS 3.16.7.

3.1.4 Parcelas representativas

Dado que el asentamiento se divide en 29 parcelas; las cuales tienen características semejantes en cuanto a forma, relieve, área y propiedades de suelo, se decidió elegir 3 parcelas representativas basándose en la pendiente y en la ubicación espacial dentro del asentamiento.

Se pretende realizar el diseño de los dos sistemas de riego por goteo, basándose en las 3 parcelas representativas seleccionadas, para un área aproximada de una hectárea por parcela, para el cultivo de cítricos con un espaciamiento de 6 m x 6 m y un aproximado de 277 árboles por hectárea.

3.1.5 Muestreo de suelos

Recursos utilizados:

- a) Barreno tipo Holandés
- b) Cilindros y anillos muestreadores
- c) Mazo

Para llevar a cabo la determinación de las diferentes propiedades físicas del suelo se realizó la recolección de muestras de suelo en las 3 parcelas representativas. Dado que en la zona los suelos son muy regulares se decidió elegir 3 puntos de muestreo por parcela, donde, en cada punto de muestreo se obtuvo una muestra indisturbada, a través de cilindros muestreadores, y una muestra disturbada. Dichas muestras se tomaron a una profundidad de 60 cm, dado a que esa es la profundidad radicular utilizada en el diseño agronómico de riego.

Las muestras recolectadas se analizaron en el Laboratorio de Suelos de la Escuela de Ingeniería Agrícola del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

3.1.6 Determinación de textura de suelo

Recursos utilizados:

- a) Probeta de 1.250 ml
- b) Hidrómetro
- c) Termómetro
- d) Piseta
- e) Beaker de 250 ml
- f) Probeta de 25 ml
- g) Tamiz de 2 mm
- h) Dispensador eléctrico

- i) Hexametáfosfato de Sodio ((NaPO₃)₆)
- j) Balanza digital

La textura fue determinada mediante el método de Bouyoucos, inicialmente se preparó 40 gramos de suelo, previamente secado a 105 °C durante 24 horas y pasado por un tamiz de 2 mm. Se añadieron 15 ml de Hexametáfosfato de Sodio (NaPO₃)₆ y 400 ml de agua. Se colocó la copa en el dispensador eléctrico, la cual contenía los 40 g de suelo y se agitó a una velocidad de 2.400 rpm durante 5 minutos. Luego se transvasó al cilindro de Bouyoucos, se llenó el cilindro hasta la marca de 1.000 ml seguidamente se introdujo el hidrómetro y se aseguró que llegara a la marca de 1.130 ml, se removió y se agitó con bastante fuerza, se dejó en reposo y se le colocó el hidrómetro y a los 40 segundos se tomó la primera lectura, inmediatamente, se introdujo un termómetro durante 5 minutos. Posteriormente, se dejó en reposo durante 2 horas. A las 2 horas exactas se tomó la lectura con el hidrómetro e inmediatamente se tomó la temperatura.

Utilizando las siguientes formulas se llevaron a cabo los cálculos correspondientes para determinar la textura mediante el uso del triángulo textural.

$$\text{Material en suspensión} = \frac{L_{40s}}{m_m} * 100 \quad \text{Ecuación 1}$$

$$\% \text{Arena} = 100 - \text{Materia}_{\text{suspensión}} \quad \text{Ecuación 2}$$

$$\text{Material en suspensión} = \frac{L_{2h}}{m_m} * 100 \quad \text{Ecuación 3}$$

$$\% \text{Limo} = 100 - (\% \text{Arena} - \% \text{Arcilla}) \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde:

L_{40s} = lectura corregida a los 40 segundos (g/L)

L_{2h} = lectura corregida a las 2 horas (g/L)

m_m = masa de la muestra (g)

3.1.7 Cálculo de capacidad de campo y punto de marchitez permanente

Para determinar la capacidad de campo (CC) se utilizaron muestras indisturbadas en los cilindros muestreadores de aproximadamente 3,6 cm de altura y 5,8 cm de diámetro. Las muestras se colocaron a saturar por 24 horas, seguidamente se colocaron en las ollas de presión (cámara de Richard), a una presión de 0,33 bares durante tres semanas, al salir de las ollas se pesaron para obtener el peso de la muestra húmeda junto al peso del cilindro, malla y liga, posteriormente se pusieron a secar en el horno a 105 °C durante 24 horas, al transcurrir el tiempo se pesaron y con dichos datos se obtuvo la humedad gravimétrica a capacidad de campo.

Para determinar el punto de marchitez permanente (PMP) se aplicó el mismo procedimiento anterior, sin embargo, la presión utilizada fue de 15 bares y se utilizaron las muestras de suelo contenidas en los anillos muestreadores de 1,5 cm de altura aproximadamente.

$$CC = \frac{PSH_{0,33bar} - PSS_{105^{\circ}C}}{PSS_{105^{\circ}C}} * 100 \quad \text{Ecuación 5}$$

$$PMP = \frac{PSH_{15bar} - PSS_{105^{\circ}C}}{PSS_{105^{\circ}C}} * 100 \quad \text{Ecuación 6}$$

Donde:

$PSH_{0,33bar}$ = peso de suelo húmedo a 0,33 bares.

PSH_{15bar} = peso de suelo húmedo a 15 bares.

$PSS_{105^{\circ}C}$ = peso de suelo seco a 105 °C.

3.1.8 Cálculo de peso específico aparente del suelo

Con las mismas muestras utilizadas para el cálculo de capacidad de campo, se obtuvo la densidad aparente. Dichas muestras se pusieron a secar en una bandeja

de aluminio durante 24 horas a 105 °C, posteriormente, se pesó el cilindro con suelo y la bandeja, con la finalidad de que por diferencia se determinara el peso de suelo seco.

Se aplicó la siguiente fórmula para calcular la densidad aparente:

$$D_{ap} = \frac{P_{SS} - P_{capsula} - P_{cilindro}}{V} \quad \text{Ecuación 7}$$

Donde:

D_{ap} = densidad aparente (g/cm³)

P_{SS} = peso del suelo seco (g)

$P_{capsula}$ = peso de la capsula de aluminio (g)

$P_{cilindro}$ = peso del cilindro (g)

V = volumen del cilindro (cm³)

3.1.9 Evapotranspiración

La evapotranspiración se calculó mediante un balance hidrológico por método de Thornthwaite. Para realizar este método es necesario temperatura media de la zona.

Primeramente, se calculó el índice térmico mensual mediante la siguiente fórmula:

$$i: \text{Índice térmico mensual} = \frac{t^{1,514}}{5} \quad \text{Ecuación 8}$$

Donde:

t: temperatura media mensual (°C)

Seguidamente, se calculó el índice térmico anual este usando la ecuación 9:

$$I = \sum_{i=1}^{12} i \quad \text{Ecuación 9}$$

Donde:

I: Índice térmico anual

i: Índice térmico mensual

Luego, con la ecuación 10, se calculó el exponente que varía con el índice térmico anual:

$$a = 0,6751 * 10^{-6} * I^3 - 0,771 * 10^{-4} * I^2 + 0,01972 I + 0,49239 \quad \text{Ecuación 10}$$

Donde:

a: exponente que varía con el índice térmico anual de la localidad

I: Índice térmico anual

Finalmente, se calculó la evapotranspiración mensual con la siguiente formula:

$$e = 16 * \left(10 \frac{t}{I}\right)^a \quad \text{Ecuación 11}$$

Donde:

e: evapotranspiración mensual (mm), para un mes de 30 días y 12 horas de radiación solar.

t: temperatura media anual (°C)

I: Índice térmico anual

a: exponente que varía con el índice térmico anual

El valor de la evapotranspiración se debe corregir de acuerdo con su respectivo mes y con la latitud de la localidad. Los valores de corrección se observan en el [anexo 2](#)

Luego se procedió a construir el balance hidrológico, siguiendo las indicaciones que se muestran en el cuadro 3.1.

Cuadro 3.1. Balance hidrológico por el método de Thornthwaite con indicaciones para el llenado de sus variables. (Elaboración propia)

	Mes	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre
a	Temperatura promedio mensual	Datos de temperatura promedio mensual											
b	índice de calor	Cálculo por medio de ecuación											
c	ETP	Cálculo por medio de ecuación											
d	Factor de corrección	tabla											
e	ETP corregida	multiplicar fila c*fila d											
f	precipitación	Datos de precipitación promedio mensual											
g	Variación de las reservas de la humedad del suelo	son los cambios que se operan en la humedad del suelo, es decir, si hay aportes y almacenamientos de agua o al contrario si hay extracción y pérdida de esta humedad. Cálculo se inició para el mes donde la precipitación es mayor que la evapotranspiración											
h	reserva de agua disponible	Indica la capacidad de agua que existe en el suelo											
i	ET efectiva	Cuando $P < e$, hay reserva de agua disponible para satisfacer toda la evapotranspiración, es igual a: fila f + fila h. Cuando $P < e$ hay reserva de agua pero no para satisfacer la evapotranspiración, es: fila e. Cuando $P < e$ pero no hay reserva disponible de agua, es igual a: fila f											
j	Deficit o sequía	fila e - fila i											
k	excedente	cuando la variación de la reserva es 0, es igual a: fila f - fila e. Cuando la variación de la reserva es diferente de cero, es											
l	excedente	fila k / 2											
m	excorrentia del mes anterior	es la mitad de la excorrentia del mes anterior											
n	excorrentia total	fila l + fila m											

Una vez completo el cuadro de balance hidrológico, se obtuvo la evapotranspiración que faltó de satisfacer debido a la falta de precipitación o agotamiento de las reservas de agua del suelo; la cual corresponde a la fila llamada déficit o sequía (fila j) en el cuadro 3.1. Este valor corresponde a la evapotranspiración de referencia para cada mes con déficit hídrico.

Finalmente se calculó la evapotranspiración real, que debe ser suplida por el riego mensualmente, con la siguiente formula:

$$E_{tr} = E_{to} * K_c$$

Ecuación 12

Donde:

E_{tr} : Evapotranspiración real (mm)

E_{to} : Evapotranspiración de referencia (mm)

K_c : Coeficiente de cultivo

El valor de K_c para el cultivo de cítricos se obtuvo de los valores proporcionados por FAO, (2006) y se puede observar en el [anexo 3](#).

3.1.10 Diseño agronómico

3.1.10.1 Selección del gotero

Para seleccionar el gotero de botón y la tubería con goteros integrados, utilizados en cada diseño, se consultaron diversos catálogos de empresas comerciales. Se buscó que tanto el gotero de botón como la tubería con goteros integrados fueran auto compensantes debido a la pendiente presente en las parcelas.

3.1.10.2 Porcentaje de suelo humedecido (PAR)

Para la primera propuesta, el PAR se calculó en función con diferentes parámetros tales como textura del suelo, el caudal del gotero, número de goteros, espaciamiento entre árboles y espaciamiento entre goteros y laterales; la relación de estos parámetros se puede observar en el cuadro del [anexo 4](#). Para utilizar dicho cuadro, se entra con el caudal del gotero, el tipo de suelo y se lee el espaciamiento recomendado entre goteros. Luego se busca la separación entre laterales que de un PAR teórico de 100%.

Una vez obtenidos estos datos, se calculó el valor del PAR para goteros alrededor del árbol; a dicha disposición de goteros se le conoce como goteros en cola de cerdo, con la siguiente formula:

$$PAR = \frac{100 * n * S_{ep} * S_w}{S_t * S_r} \quad \text{Ecuación 13}$$

Donde:

N: Número de puntos de emisión.

S_{ep} : Distancia entre los puntos de emisión, es valor de espaciamiento entre goteros recomendado en el cuadro del [anexo 4](#) para una determinada descarga de gotero y tipo de suelo.

S_w : Espaciamiento entre laterales para una determinada descarga y tipo de suelo que de un PAR de 100%.

$S_t * S_r$: Espaciamiento entre árboles.

Con respecto a la segunda propuesta, debido a que los valores de caudal y espaciamiento entre goteros de la tubería con goteros integrados no coincide con los valores presentes en el [anexo 4](#), se procedió a utilizar un número de goteros que permitiera alcanzar el mismo caudal por árbol que en la primera propuesta, con el objetivo de obtener el mismo PAR en ambas propuestas.

3.1.10.3 Lámina neta

Una vez conocidos las características físicas del suelo, así como valores de profundidad radicular y agotamiento permitido ([anexo 3](#)) y el PAR, se procede a calcular la lámina neta como se muestra a continuación:

$$Ln = \left(\frac{CC - PMP}{100} \right) * Pe * Prof * Ag * PAR \quad \text{Ecuación 14}$$

Donde:

Ln: Lámina neta (mm)

CC: Capacidad de Campo (%)

PMP: Punto de Marchitez Permanente (%)

Pe: Peso específico aparente (g/cm³)

Prof: Profundidad efectiva de raíces (mm)

Ag: Agotamiento máximo permitido (%)

PAR: Porcentaje de área de humedecimiento (%)

3.1.10.4 Frecuencia de riego

La frecuencia de riego se calculó haciendo uso de la siguiente ecuación:

$$Fr = \frac{Ln}{Etrg} \quad \text{Ecuación 15}$$

Donde:

Fr: Frecuencia de riego (días).

Ln: Lámina neta (mm).

Etrg = Etr * K₁ (mm/día). Ecuación 16

K₁ es el coeficiente de localización que depende del área sombreada por el cultivo al medio día. Según Villalobos Araya, (2001), el coeficiente de localización se calcula haciendo un promedio de los valores obtenidos en las siguientes ecuaciones

$$K1 = A + 0,5 (1 - A) \quad \text{Ecuación 17}$$

$$K1 = 1,34 \times A \quad \text{Ecuación 18}$$

$$K1 = 0,1 + A \quad \text{Ecuación 19}$$

Donde:

$$A = \frac{\text{Área sombreada}}{\text{Área total}} \quad \text{Ecuación 20}$$

La frecuencia se debe redondear al número entero menor.

3.1.10.5 Lámina neta corregida

Con base a la frecuencia redondeada, se procede a recalcular la lámina neta:

$$Lnc = Fr * Etrg \quad \text{Ecuación 21}$$

Donde:

Lnc: Lamina neta corregida (mm)

Fr: Frecuencia de riego redondeada (días)

Etrg: Evapotranspiración real multiplicado por el coeficiente de localización (mm/día)

3.1.10.6 Lámina bruta

Se calculo haciendo uso de la siguiente ecuación:

$$Lb = \frac{Lnc}{CU * Tr} \quad \text{Ecuación 22}$$

Donde:

Lb: Lamina bruta (mm)

Lnc: Lamina neta corregida (mm)

CU: Coeficiente de uniformidad

Tr: Relación de transpiración

Se estima que para riego por goteo el CU debe ser igual o mayor a 80 %; por su parte, el valor de Tr depende de la profundidad radicular y del tipo del suelo, se obtiene del [anexo 5](#).

3.1.10.7 Tiempo de riego

$$Tri = \frac{Lb * A}{n * Qgot} \quad \text{Ecuación 23}$$

Donde:

Tri: Tiempo de riego (horas)

Lb: Lamina bruta (m)

A: Área del árbol (m²)

n: Número de goteros por árbol

Qgot: Caudal del gotero (m³/h)

3.1.10.8 Máximo número de operaciones al día

El número de operaciones en que se divide el área total se calculó con la fórmula de a continuación:

$$N < \frac{Fr * Htr}{Tri} \quad \text{Ecuación 24}$$

Donde:

N: Número de máximo de operaciones al día

Fr: Frecuencia de riego (días)

Htr: Horas de trabajo al día (horas)

Tri: Tiempo de riego (horas)

3.1.10.9 Área de cada operación

El área que se riega en cada operación se obtuvo de la siguiente ecuación:

$$Au = \frac{A_{total}}{N} \quad \text{Ecuación 25}$$

Donde:

Au: Área de cada operación (m²)

A_{total}: Área total cubierta por arboles (m²)

N: Número de operaciones al día

3.1.10.10 Caudal del sistema

El caudal requerido por el sistema se calculó de la siguiente manera:

$$Q = \frac{A_{total} * Lb}{N * Tri} \quad \text{Ecuación 26}$$

Donde:

Q: Caudal del sistema (m³/h)

A_{total}: Área total cubierta por arboles (m²)

Lb: Lamina bruta (m)

N: Número de operaciones al día

Tri: Tiempo de riego (horas)

3.1.11 Diseño hidráulico

3.1.11.1 Diseño de tubería lateral

Debido a que en la primera propuesta se utilizan goteros de botón y segunda propuesta se utiliza tubería con goteros integrados, en ambos casos auto compensantes, las pérdidas admisibles en el sistema corresponden al

rango de operación de dichos emisores, según sea el caso, por lo tanto, se utilizó la ecuación a continuación:

$$P_{adm} = P_{O_{max}} - P_{O_{min}} \quad \text{Ecuación 27}$$

Donde:

P_{adm} : Pérdidas admisibles (m.c.a)

$P_{O_{max}}$: Presión de operación máxima del gotero o tubería con goteros integrados, según el caso. (m.c.a)

$P_{O_{min}}$: Presión de operación mínima del gotero o tubería con goteros integrados, según el caso. (m.c.a)

Luego, se determinó la longitud del lateral más crítico y el número de colas de cerdo que este contiene; para esto se utilizó el software Civil 3D con el comando “MEDIRGEOM”, el cual permite medir la longitud de los objetos. Lo anterior fue posible debido a que los diseños del terreno se encontraban georreferenciados y a escala. Además de que se tomó como referencia las dimensiones de cada parcela de referencia y los espacios de 6 m x 6 m a los que se encuentran sembrado los árboles.

Seguidamente se determinó el caudal del lateral usando la ecuación 28.

$$Q_{lat} = N_{got} * Q_{got} * N_{cola} \quad \text{Ecuación 28}$$

Donde:

Q_{lat} : Caudal en la tubería del lateral (m^3/h).

Q_{got} : Caudal que emite cada cola de cerdo (m^3/h).

N_{got} : Numero de goteros por cola de cerdo.

N_{cola} : Numero de colas de cerdo por lateral.

A partir del valor de P_{adm} , se calculó el diámetro teórico de la tubería con la ecuación de Hazen Williams:

$$D = \left(\frac{1,131 \times 10^9 * Q^{1,852} * L * F}{H_f * C^{1,852}} \right)^{\frac{1}{4,872}} \quad \text{Ecuación 29}$$

Donde:

D: Diámetro interno teórico de la tubería (mm).

Q: Caudal en la tubería (m^3/h).

L: Longitud de la tubería (m).

H_f : Pérdidas por fricción cuyo valor es el de P_{adm} (m).

C: Coeficiente de Hazen Williams, depende del material de la tubería.

F: Factor según el número de salidas.

Los valores del coeficiente C y del factor F se pueden observar en el [anexo 6](#) y en el [anexo 7](#), respectivamente.

A partir del diámetro calculado en la ecuación 29, se buscó el diámetro comercial, en los catálogos de tuberías, que mejor se ajustara al valor teórico, seguidamente se recalcularon las pérdidas por fricción, por medio de la siguiente ecuación:

$$H_f = 1,131 * 10^9 \left(\frac{Q_{lat}}{C} \right)^{1,852} * D^{-4,872} * L * F \quad \text{Ecuación 30}$$

Donde:

H_f : Pérdidas por fricción (m).

Q: Caudal en la tubería (m^3/h).

C: Coeficiente de Hazen Williams, depende del material de la tubería.

D: Diámetro de la tubería (mm).

L Longitud de la tubería (m).

F: Factor según el número de salidas

Seguidamente, se procedió a calcular la presión en la entrada del lateral, con la siguiente ecuación:

$$P_e = P_{o_{min}} + hf \pm \Delta Z \quad \text{Ecuación 31}$$

Donde:

P_e : Presión en la entrada del lateral (m.c.a).

P_{op} : Presión de operación del gotero (m.c.a).

hf : Pérdidas por fricción en el lateral (m.c.a).

Δz : Diferencia de altura en el lateral (m)

Además, se verificó que la presión en los laterales estuviese dentro del rango de presión de trabajo de los goteros.

3.1.11.2 Diseño de la tubería múltiple

Nuevamente, para determinar, en este caso, la longitud de la múltiple en cada parcela de referencia y el número de laterales que está contiene, se utilizó el software Civil 3D con el comando “MEDIRGEOM”.

Luego se procedió a calcular el caudal de la múltiple con la siguiente ecuación:

$$Q_m = N_{lat} * Q_{lat} \quad \text{Ecuación 32}$$

Donde:

Q_m : Caudal de la múltiple (m³/h)

Q lat: Caudal del lateral (m³/h)

Nlat: Número de laterales.

Para determinar el diámetro teórico de la múltiple se utilizó la ecuación 29 y de igual manera, seguido a esto se procedió a establecer el diámetro comercial y se recalcularon las pérdidas por fricción de la múltiple, mediante la ecuación 30.

3.1.11.3 Presión en la válvula

Para determinar la presión en la válvula se utiliza la siguiente ecuación:

$$P_v = P_e + h_{fm} \pm \Delta Z \quad \text{Ecuación 33}$$

Donde:

P_v: Presión en la válvula (m.c.a).

P_e: Presión en la entrada del lateral (m.c.a).

h_f: Pérdidas por fricción en la tubería múltiple (m.c.a).

Δz: Diferencia de altura en la tubería múltiple (m).

3.1.11.4 Presión distal

Para calcular la presión distal se hace uso de la formula:

$$P_d = P_v - h_{f_{mul}} - h_{f_{lat}} \pm \Delta Z_{lat} \pm \Delta Z_{mult} \quad \text{Ecuación 34}$$

Donde:

P_d: Presión distal (m.c.a).

P_v: Presión en la válvula (m.c.a).

H_{f_{mult}}: Pérdidas por fricción de la múltiple (m).

H_{f_{lat}}: Pérdidas por fricción del lateral (m).

ΔZ_{mult}: Diferencia de altura en la múltiple (m).

ΔZ_{lat} : Diferencia de altura en el lateral (m)

3.1.11.5 Diseño de la tubería principal

Primeramente, se estableció el caudal que debe transportar la tubería principal para cada parcela de referencia. Seguidamente, se determinó el diámetro de la tubería principal mediante el método de la velocidad permisible (ecuación 35), utilizando una velocidad límite de 1,5m/s para evitar golpes de ariete.

$$D = \sqrt{\frac{4*Q}{V*\pi}} \quad \text{Ecuación 35}$$

Donde:

Q: Caudal que circula por la tubería (m³/s)

V: Velocidad permisible (m/s)

D: Diámetro (m)

3.2 Determinar mediante un análisis hidrológico la cantidad de agua llovida que se puede captar a través de cosecha de agua su uso en el sistema de riego en la zona de estudio.

3.2.1 Cálculo de precipitación de diseño

Previamente se estableció un rango de años para la recolección de datos históricos de precipitación, los cuales fueron descargados de Climate Engine, utilizando la base de datos de CHIRPS para precipitación diaria en milímetros. El rango de años utilizado corresponde a los últimos 21 años (2000-2020).

Una vez obtenidos los datos de precipitación diaria, se procedió a procesarlos para obtener la precipitación mensual para cada año y a partir de ahí obtener la precipitación promedio mensual de la zona. Seguidamente se calculó la

precipitación de diseño mínima para cada mes para diversos periodos de retorno, con el propósito de conocer el agua que se puede recolectar para riego, por medio de la siguiente ecuación:

$$P_{min} = \bar{P} - KS \quad \text{Ecuación 36}$$

Donde:

$P_{mín}$: Es la precipitación mínima (mm)

\bar{P} : Es la precipitación promedio mensual (mm)

K: Es un factor de frecuencia, depende del período de retorno

S: Representa la desviación estándar de los datos de cada mes

Posteriormente para el cálculo de la precipitación de diseño máxima de cada mes para diversos periodos de retorno; se utilizó la siguiente ecuación:

$$P_{max} = \bar{P} + KS \quad \text{Ecuación 37}$$

Donde:

$P_{máx}$: Es la precipitación máxima (mm)

\bar{P} : Es la precipitación promedio mensual (mm)

K: Es un factor de frecuencia, depende del período de retorno

S: Representa la desviación estándar de los datos de cada mes

El valor de K se calculó por medio de la siguiente ecuación:

$$K = Yt - Yn Sn \quad \text{Ecuación 38}$$

Donde:

K: Es el factor de frecuencia, en función del período de retorno

Yt : Es una variable reducida, depende del tamaño de la muestra y del período de retorno (tabular).

Y_n : Es la media de la variable reducida (tabular)

S_n : Es la desviación de la variable reducida (tabular)

Los valores tabulares se pueden observar en el [anexo 8](#) y [anexo 9](#).

Para evaluar la probabilidad de cumplimiento del rango de precipitación mínimo y máximo; también conocido como la probabilidad de no excedencia, se utilizó la siguiente ecuación:

$$(P(T))^t = \left(1 - \frac{1}{T}\right)^t \quad \text{Ecuación 39}$$

Donde:

$P(T)^t$: Es la probabilidad de cumplimiento o no excedencia para un determinado período de retorno y vida útil.

T : Es el período de retorno (años).

t : Es la vida útil del sistema de riego (años).

3.2.2 Cosecha de agua de lluvia

Se debe recordar que cada parcela tendrá un reservorio por aparte, sin embargo, el diseño del reservorio es el mismo para cada parcela. Esto es posible porque se dedicará la misma cantidad de área por parcela para el cultivo de cítricos.

El reservorio se dimensionó en función del volumen de agua necesario para regar 1 hectárea de cítricos durante dos meses en la condición más crítica, un 5% del volumen de riego, del volumen evaporado en el reservorio, el área mínima de espejo de agua necesaria para recolectar dicho volumen y de las dimensiones de la geomembrana disponible en el mercado. Se debe aclarar que el área de espejo de agua corresponde al área del reservorio donde cae la precipitación directamente sobre él. Además, esta precipitación es la que se utiliza para llenar el reservorio en las parcelas donde no existen techos. Los cálculos se orientaron en optimizar las

dimensiones del reservorio para que coincidieran perfectamente con las dimensiones de la geomembrana para evitar cortes, uniones y sobrantes de ésta. El procedimiento utilizado fue el siguiente:

Conociendo el volumen de agua requerido y la precipitación mínima anual, para un periodo de retorno dado, se calculó el área del espejo de agua necesario para captar dicho volumen por precipitación, mediante la siguiente formula:

$$A_T = \frac{V_{req}}{P_{min}} \quad \text{Ecuación 40}$$

Donde:

A_T : Área del espejo de agua (m²)

V_{req} : Volumen de agua requerido para riego y otros usos (m³)

P_{min} : Precipitación mínima de diseño (m)

Seguidamente, se estableció el valor del talud, la profundidad del reservorio y el borde de anclaje en función de los valores recomendados en la teoría. A partir de estos valores y del área mínima de espejo de agua requerida, se eligió las dimensiones y la cantidad de geomembrana necesaria para impermeabilizar el reservorio.

Una vez conocidos estos valores, se calculó la longitud de plástico necesaria para cubrir el borde de anclaje y la longitud de la pared del reservorio. Para ello se utilizó la siguiente formula:

$$L_{Ba+p} = 2 * B_a + 2 * h * \sqrt{1 + Z^2} \quad \text{Ecuación 41}$$

Donde:

L_{Ba+p} : Longitud del borde de anclaje y de la pared del reservorio (m)

B_a: Borde de anclaje (m)

Z: Talud

h: Profundidad del reservorio (m)

Seguido a lo anterior se procedió a calcular el ancho y el largo del fondo del reservorio, mediante las ecuaciones 42 y 43; respectivamente:

$$a_{\text{fondo}} = a_{\text{geo}} - L_{\text{Ba+p}} \quad \text{Ecuación 42}$$

$$l_{\text{fondo}} = l_{\text{geo}} - L_{\text{Ba+p}} \quad \text{Ecuación 43}$$

Donde:

A_{fondo}: Ancho del fondo (m)

l_{fondo}: Largo del fondo del reservorio (m)

a_{geo}: Ancho geomembrana (m)

l_{geo}: Largo de la geomembrana (m)

L_{Ba+P}: Longitud del borde de anclaje y de la pared del reservorio (m)

El siguiente paso consistió en calcular las dimensiones del espejo de agua, para lo cual se utilizaron las siguientes formulas:

$$a_T = a_{\text{fondo}} + 2Zh \quad \text{Ecuación 44}$$

$$l_T = l_{\text{fondo}} + 2Zh \quad \text{Ecuación 45}$$

Donde:

a_T: Ancho del espejo de agua (m)

l_T: Largo del espejo de agua (m)

l_{fondo}: Largo del fondo del reservorio (m)

a_{fondo}: Ancho del fondo (m)

Z: Talud

h: Profundidad del reservorio (m)

Tras obtener las dimensiones del reservorio, se calculó el volumen de agua que se puede captar a través del espejo de agua, lo anterior con el propósito de comprobar que el reservorio calculado puede captar con el volumen de agua requerido. Para esto se empleó la ecuación 46:

$$V_{\text{capt}} = P_{\text{min}} * A_T \quad \text{Ecuación 46}$$

Donde:

V_{capt} : Volumen captado por el espejo de agua del reservorio (m³)

P_{min} : Precipitación mínima de diseño (m)

A_T : Área del espejo de agua (m²)

Por último, se calculó el volumen máximo de agua que puede almacenar el reservorio, empleando la siguiente ecuación:

$$V_{\text{reser}} = \frac{h}{3} (A_T + A_{\text{fondo}} + \sqrt{A_T + A_{\text{fondo}}}) \quad \text{Ecuación 47}$$

Donde:

V_{reser} : Volumen del reservorio (m³)

h: Profundidad del reservorio (m)

A_T : Área del espejo de agua (m²)

A_{fondo} : Área del fondo del reservorio (m²)

En el caso de las parcelas que presentan construcciones cubiertas con un techo, se puede calcular el aporte de agua que estas superficies aportan mediante la siguiente ecuación:

$$V_t = P_{\min} * C_e * A_{\text{techo}} \quad \text{Ecuación 48}$$

Donde:

V_t : Volumen que puede recolector por techos (m^3)

P_{\min} : Precipitación mínima de diseño (m)

C_e : Coeficiente de escurrimiento

A_{techo} : Área de techo donde se capta la lluvia (m^2)

El coeficiente de escurrimiento se puede observar en el [anexo 10](#).

3.3 Evaluar económica y ambientalmente ambas propuestas de diseño con el fin de conocer la viabilidad del proyecto.

3.3.1 Análisis económico

Para este análisis se recolectó información financiera como los ingresos de los productores, el capital disponible, la inversión inicial y los otros elementos que se utilizan para construir un flujo de efectivo.

Para realizar el cálculo de la inversión inicial se cotizaron los materiales utilizados, en cada propuesta de diseño, en diferentes empresas dedicadas a la venta de productos de riego y geotextiles.

Para realizar el análisis económico se analizó los indicadores de una evaluación financiera como el valor actual neto (VAN), la tasa interna de retorno (TIR) y el periodo de recuperación.

El Valor Actual Neto (VAN) se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$VAN = \sum_{t=1}^n \left(\frac{Cf_t}{(1+k)^t} \right) - Cf_0 \quad \text{Ecuación 49}$$

Donde:

Cft: Valor presente de las entradas de efectivo

Cf0: Inversión inicial

K: Tasa equivalente al costo de capital de la empresa (costo de oportunidad)

t: Tiempo (años)

La Tasa Interna de Retorno (TIR), se calculó con la siguiente ecuación:

$$\text{TIR} = \sum_{t=1}^n \left(\frac{Cf_t}{(1+\text{TIR})^t} \right) - Cf_0 \quad \text{Ecuación 50}$$

Donde:

Cft: Valor presente de las entradas de efectivo

CF0: Inversión inicial

t: Tiempo (años)

3.3.2 Análisis ambiental

El análisis se realizó mediante la utilización del formulario D1 proporcionado por la Secretaría Técnica Nacional (SETENA). Esta matriz se basa en analizar diversos factores que ocurren en la construcción de la obra, tales como: consumo-afectación, impacto en el aire, impacto en el suelo, impacto humano y otros riesgos que se deben tomar en cuenta. Al finalizar la calificación de las variables anteriores, el documento otorga un criterio de ponderación, el cual permite clasificar el proyecto según las medidas que se deben realizar con el fin de mitigar su impacto en el ambiente: La acción que se llevará a cabo depende de la puntuación que obtiene el proyecto; esta puede ser un estudio de impacto ambiental, pronóstico de plan de gestión ambiental o una declaración jurada de compromisos ambientales.

4 RESULTADOS

4.1 Diseñar dos opciones de riego por goteo para el cultivo de cítricos.

4.1.1 Inspección de campo

Durante la primera visita, se obtuvo un plano del asentamiento, escala 1:5000. Dicho plano se logró georreferenciar y a partir de éste se creó una capa en QGis, como se muestra en la figura 4.1, donde se logra observar y conocer más a detalle los linderos, el área y la numeración de cada parcela.

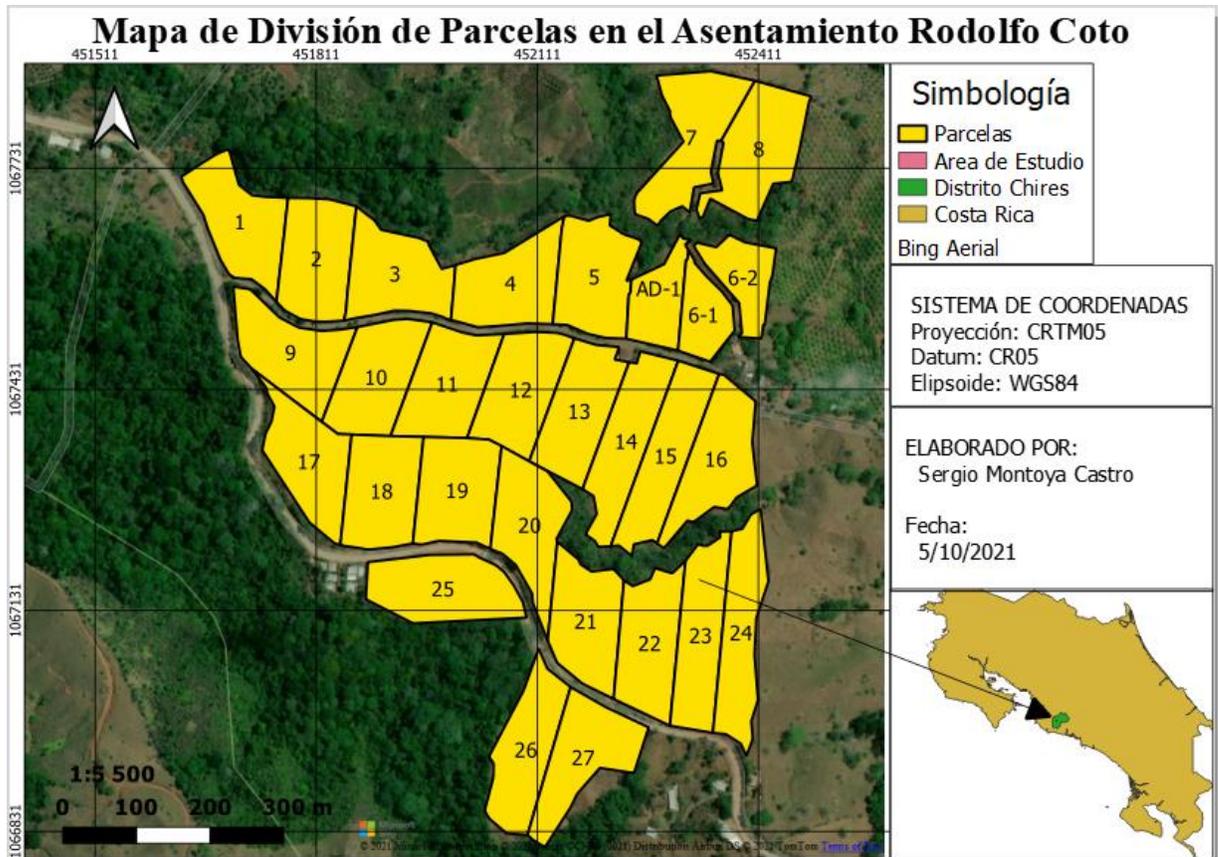


Figura 4.1. Mapa de la división de las parcelas en el asentamiento Rodolfo Coto.

Además, se constató que el área de cada parcela es de 1,5 ha aproximadamente; a excepción de las parcelas 6-1, 6-2 y AD-1. Las parcelas 6-1 y 6-2 forman una sola parcela, de 1,5 ha, que se encuentra dividida por un camino, mientras que la parcela AD-1 mide 0,83 ha; es la más pequeña, ya que en un inicio se destinó a ser

el área administrativa del asentamiento, sin embargo, tiempo después se le concedió a un productor de la zona.

4.1.2 Análisis topográfico

Producto del levantamiento topográfico realizado con la estación GNSS RTK, se generó un mapa de curvas de nivel con un intervalo entre curvas de 2 m. En la figura 4.2 se puede observar el mapa con curvas de nivel obtenido.



Figura 4.2. Mapa de curvas a nivel a cada 2 m en el asentamiento Rodolfo Coto

En adicción a lo anterior, se obtuvo el mapa de las líneas de flujo de aguas superficiales para cada parcela, tal y como se muestra en la figura 4.3.

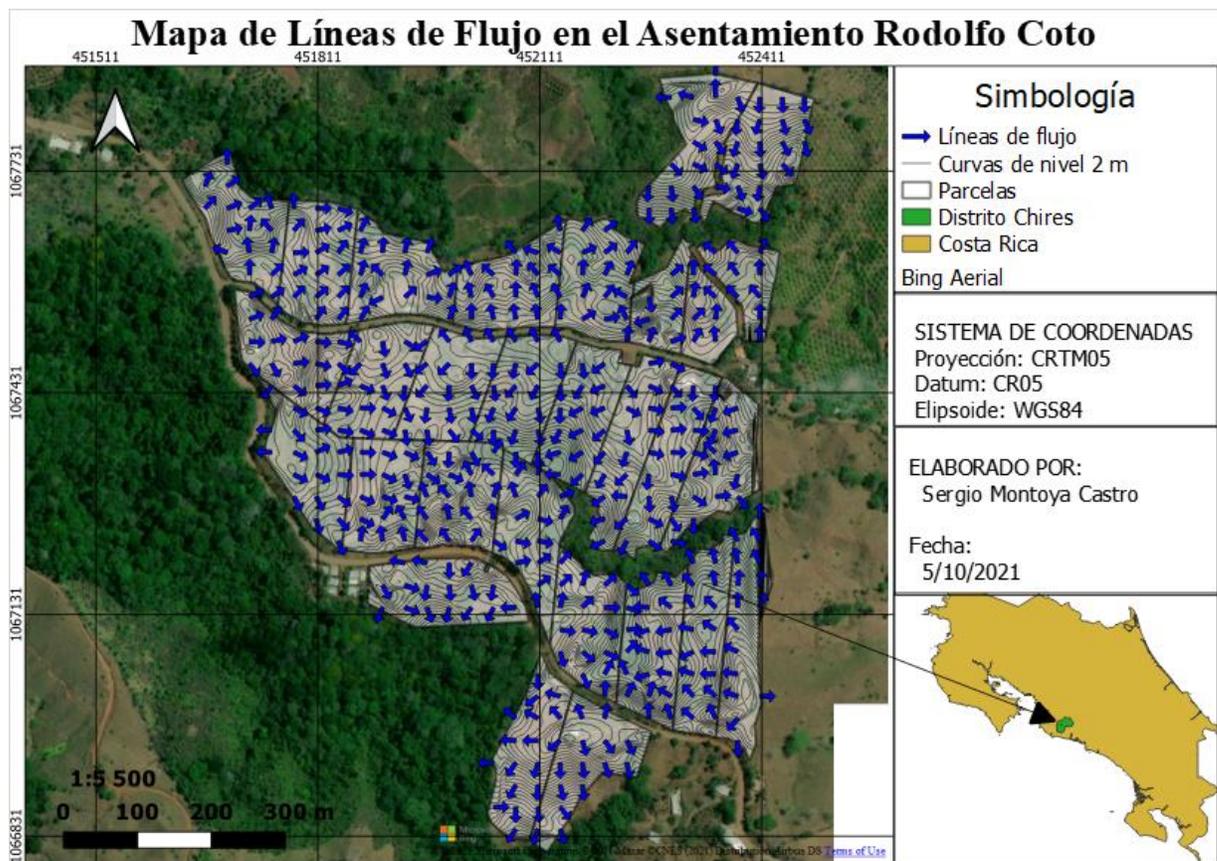


Figura 4.3. Líneas de flujo para cada parcela en el Asentamiento Rodolfo Coto.

Cabe mencionar que las curvas de nivel y las líneas de flujo fueron tomadas como criterio para trazar las tuberías de riego a lo largo de las parcelas.

4.1.3 Áreas representativas

Las parcelas 8, 10, 27; fueron elegidas como áreas representativas debido a los siguientes criterios:

- En la figura 4.1. puede apreciarse que las parcelas 8 y 27 son las parcelas que se encuentran en los límites del asentamiento, es decir son las que se encuentran más alejadas. Añadido a lo anterior, estas dos parcelas son las que presentan una pendiente considerable.

- b) La parcela 27 es una de las pocas parcelas que cuenta con un área de techo que puede ser utilizado para captar agua de lluvia.
- c) La parcela 10 se encuentra en el centro del asentamiento y como se puede ver en la figura 4.2 tiene una forma y una topografía muy similar a la mayoría de las parcelas del asentamiento.

4.1.4 Propiedades físicas del suelo

4.1.4.1 Textura del suelo

Tras realizar la prueba de Bouyoucos para determinar la textura del suelo, para cada parcela representativa, se los siguientes resultados:

Cuadro 4.1. Determinación de la textura del suelo para cada área representativa

Parcela	% Arena	% Arcilla	% Limo	Clase textural
8	26,55	57,70	15,75	Arcilloso
10	16,55	57,70	25,75	Arcilloso
27	29,80	47,70	22,50	Arcilloso

Como se observa en el cuadro 4.1, la textura del suelo en las 3 áreas representativas es arcillosa. Esta propiedad física del suelo se extiende para todo el asentamiento debido a que los suelos de la zona son muy uniformes

4.1.4.2 Capacidad de campo y Punto de marchitez permanente

Los datos obtenidos, después de realizar las pruebas para determinar la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente, se muestran en el cuadro 4.2.

Cuadro 4.2. Datos de CC y PMP para cada área representativa

Parcela	CC (%)	PMP (%)
8	34,97	17,49
10	38,78	19,39
27	39,75	19,87

A pesar de que en las 3 áreas representativas se obtuvieron valores muy similares de CC y PMP, se decidió trabajar con el valor más crítico de estas propiedades; por lo tanto, el valor a utilizado de CC fue de 39,75 %, mientras que el valor de PMP fue de 19,87 %. Estos valores concuerdan con valores presentados en la teoría para suelos arcillosos.

4.1.4.3 Peso específico aparente del suelo

En el cuadro 4.3, se observan los valores correspondientes al peso específico aparente para cada parcela; a su vez se presenta el valor promedio del peso específico aparente utilizado en los cálculos venideros.

Cuadro 4.3. Valores de peso específico para cada área representativa y su valor promedio.

Parcela	Peso específico (g/cm ³)
8	1,02
10	1,10
27	1,04
Promedio	1,05

Es importante recalcar que los valores obtenidos concuerdan con los de un suelo arcilloso bien estructurado y con poca compactación, tal y como se expresa en la teoría; donde se menciona que los suelos arcillosos bien estructurados presentan un peso específico de 1,05 a 1,10 g/cm³. (Alvarado & Forsithe, 2005). Lo anterior tiene mucho sentido, debido a la nula presencia de maquinaria pesada, así como el tipo de prácticas culturales que se realizan

en las parcelas. Para el cálculo de la lámina neta se utiliza el valor de 1.10 g/cm³, el cual corresponde a la parcela 10. Se utiliza dicho valor debido a que corresponde a un valor crítico y ocasiona una lámina neta mayor con respecto a los demás valores.

4.1.5 Evapotranspiración

Tras calcular la evapotranspiración por el método de Thornthwaite y realizar el balance hídrico se obtuvo el valor de déficit hídrico para cada mes en donde la precipitación y las reservas de agua del suelo no son suficientes para satisfacer la evapotranspiración. Dichos valores se muestran en el cuadro 4.4.

Cuadro 4.4. Valores de déficit hídrico para los meses de sequía.

Meses	Enero	Febrero	Marzo	Abril
Déficit hídrico (mm/mes)	67,61	97,08	113,27	40,87

A su vez, el cuadro con todos los resultados del balance hídrico se puede observar en el [anexo 11](#).

A partir de los valores mostrados en el cuadro 4.4, se calculó la evapotranspiración real para el cultivo de cítricos, con base al valor más crítico de Kc ([anexo 3](#)); cuyo valor es de 0.85 y corresponde al cultivo de cítricos con cobertura activa o malezas y un 20% de cubierta vegetativa. Estos resultados se muestran a continuación en el cuadro 4.5.

Cuadro 4.5. Evapotranspiración real para el cultivo de cítricos

Meses	Enero	Febrero	Marzo	Abril
Etr (mm/mes)	57,47	82,52	96,28	34,74
Etr (mm/día)	1,85	2,95	3,11	1,16

Como se puede observar, en el cuadro anterior, el mes de marzo es el que presenta el valor de evapotranspiración crítico de 3.11 mm/día; por lo cual, se toma como criterio para realizar el diseño del sistema de riego.

4.1.6 Diseño agronómico

Para la propuesta de diseño 1 se seleccionó un gotero de botón auto compensante de marca Katif, el cual brinda un caudal de 3,7 l/h. De estos se colocarán 4 goteros por árbol, en tubería de polietileno disposición de cola de cerdo alrededor del árbol, con un espaciamiento de 1,3 metros entre goteros. Para formar la cola de cerdo en la propuesta diseño 2, se seleccionó la tubería con goteros integrados Top Drip Pc, la cual ofrece un caudal de 1 l/h y un espaciamiento entre goteros de 30 cm. Las especificaciones tanto del gotero como de la tubería con goteros integrados se pueden observar en el [anexo 12](#) y [anexo 13](#), respectivamente.

En el cuadro 4.6 se pueden observar los resultados obtenidos tras realizar el diseño agronómico, tanto para el sistema con goteros, así como para el sistema con tubería con goteros integrados.

Cuadro 4.6. Parámetros agronómicos de las dos propuestas de diseño

Parámetros de diseño	Propuesta de diseño 1	Propuesta de diseño 2
PAR (%)	21,67	21,67
Lámina neta (mm)	13,39	13,39
Frecuencia de riego (días)	8	8
Lámina neta corregida (mm)	13,18	13,18
Lámina bruta (mm)	14,64	14,64
Tiempo de riego (h)	12,43	12,27
Operaciones al día	1	1
Número de operaciones	2	2
Arboles por operación	138	138
Área por operación (ha)	0,5	0,5
Caudal por operación (m ³ /h)	2,05	2,08
Volumen para todo el mes (m ³)	254,87	254,87

Es importante resaltar que el diseño agronómico en ambas propuestas es prácticamente igual. Esto se debe a que para la propuesta de diseño 1 se utilizaron 4 goteros de 3,7 l/h por árbol espaciados cada 1,3 m, mientras que para la propuesta de diseño 2 se utilizó una longitud de 4,8 m de tubería con goteros integrados alrededor del árbol para obtener 16 goteros de 1 l/h cada 0,30 m; lo que se traduce que en ambas propuestas el caudal entregado a cada árbol va a ser el mismo. Además, se observa que en ambas propuestas se realizan dos bloques de riego, en las cuales riegan 138 árboles por turno. Así mismo, el volumen requerido para regar la totalidad del área, durante el mes más crítico, es de 254,87 m³. Este valor de volumen es de suma importancia al momento de dimensionar el reservorio, ya que el reservorio debe poder suplir este volumen.

4.1.7 Diseño hidráulico

Para conocer la longitud y el número de colas de cerdo en el lateral más crítico, se dibujó la distribución de las tuberías en función de las curvas de nivel y de las dimensiones de cada parcela. Así mismo se determinó la posible ubicación del

reservorio dentro de la parcela. En las figuras 4.4, 4.5 y 4.6, se pueden observar dichas distribuciones en las parcelas 8, 10 y 27, respectivamente.

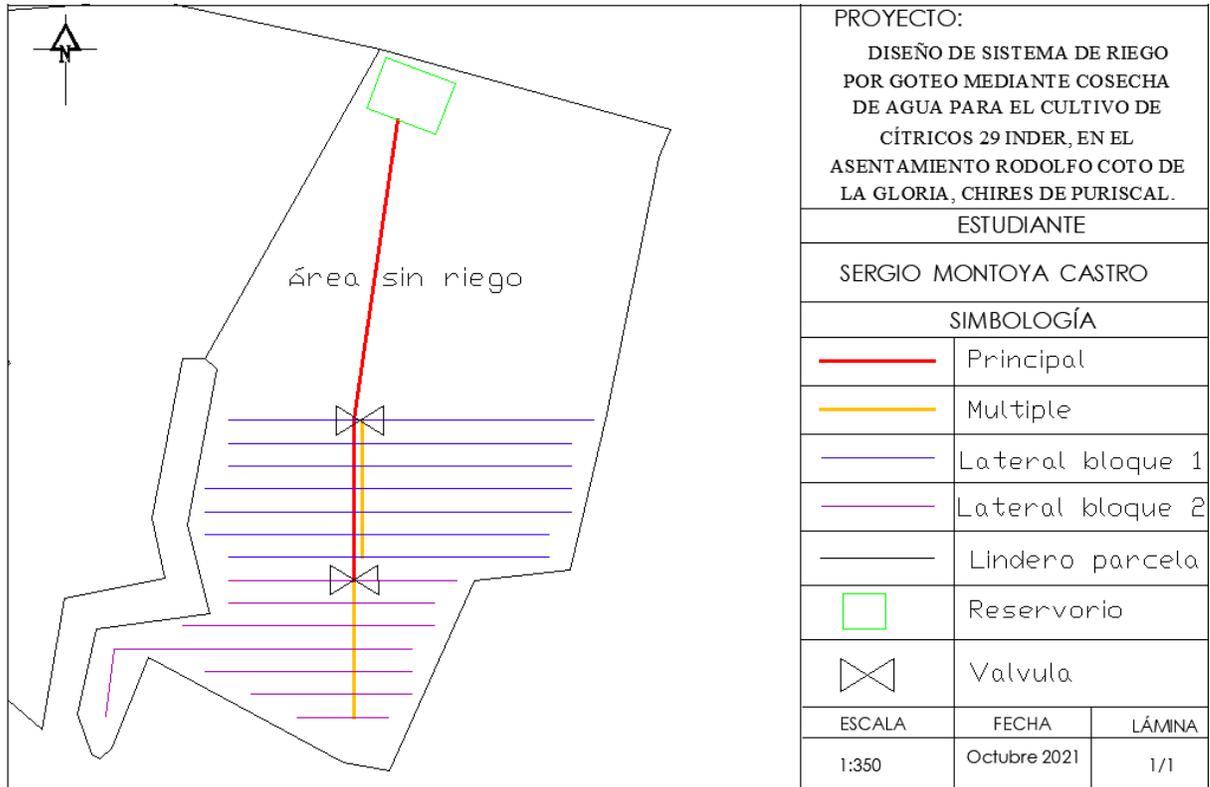


Figura 4.4. Distribución de la tubería en la parcela 8

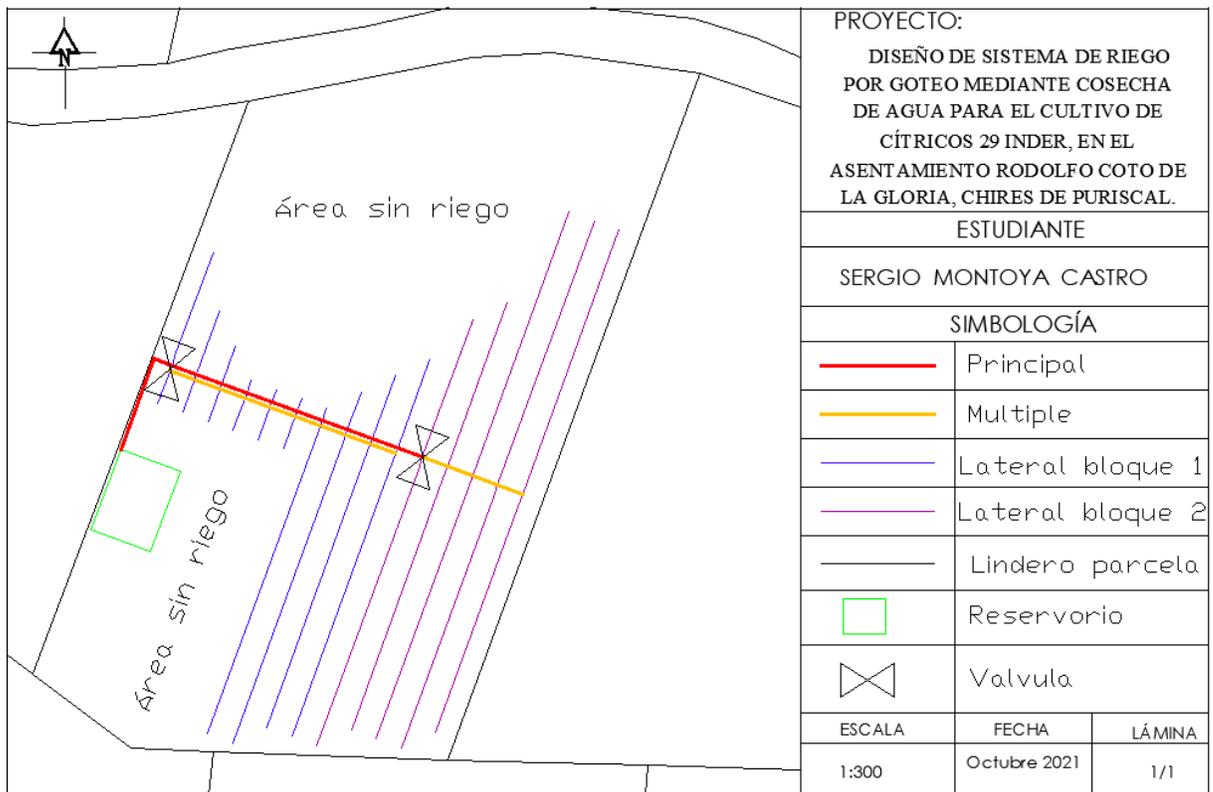


Figura 4.5. Distribución de la tubería en la parcela 10

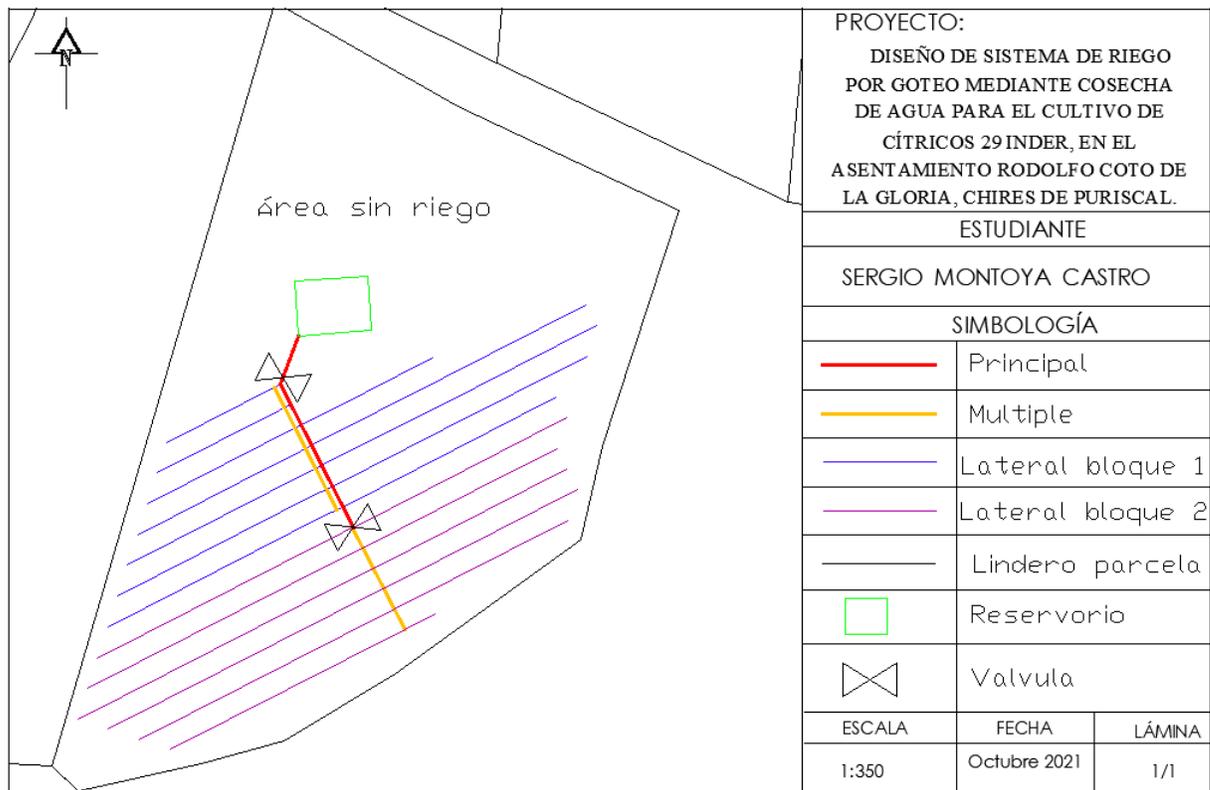


Figura 4.6. Distribución de la tubería en la parcela 27

Se debe aclarar que la distribución de las tuberías dentro de las parcelas es exactamente el misma para ambos diseños de riego.

4.1.7.1 Propuesta de diseño 1

La propuesta 1 se diseñó en base a las características hidráulicas del gotero auto compensado Katif, cuyo rango de operación es de 8 m.c.a a 30 m.c.a. El material utilizado en la tubería lateral es polietileno de alta densidad.

En el cuadro 4.7 se muestran los resultados obtenidos al realizar el diseño hidráulico de la lateral que presenta la condición más crítica en cada una de las 3 áreas representativas.

Cuadro 4.7. Resultado del diseño hidráulico de la tubería lateral más crítica para la propuesta de diseño 1

Parámetros	Parcela 8	Parcela 10	Parcela 27
Presión de operación (m)	8 - 30	8 - 30	8 - 30
Perdidas admitidas lateral (m)	8,8	8,8	8,8
Longitud lateral crítico (m)	63	27	81
Δz (m)	-6	2	5
Numero colas de cerdo	12	5	14
Caudal por lateral (m ³ /h)	0,18	0,07	0,21
Diámetro teórico (mm)	7,02	4,30	7,83
Diámetro comercial (mm)	12,7	12,7	12,7
Perdidas reales (m)	0,49	0,04	0,83
Presión entrada lateral (m)	8,02	10,04	13,83

Como se observa en el cuadro anterior, la parcela 27 es la que presenta condiciones hidráulicas más críticas; sin embargo, las pérdidas por fricción son tan bajas que en los tres casos el diámetro teórico es menor que el disponible en el mercado; lo que provoca que las pérdidas se reduzcan aún más.

En el cuadro 4.8 se presentan los resultados obtenidos tras realizar el diseño de la tubería múltiple que contiene el lateral más crítico y que utiliza tubería de polietileno de alta densidad.

Cuadro 4.8. Resultados del diseño hidráulico de la tubería múltiple, que contiene el lateral más crítico, para la propuesta de diseño 1

Parámetros	Parcela 8	Parcela 10	Parcela 27
Perdidas admitidas múltiple (m)	21,51	21,96	21,17
Longitud múltiple (m)	36	54	36
Δz (m)	-9	-1	-18
Número laterales	14	20	12
Caudal de la múltiple (m ³ /h)	2,05	2,05	2,05
Diámetro teórico (mm)	13,02	14,10	13,04
Diámetro comercial (mm)	21,1	21,1	21,1
Perdidas reales (m)	2,05	3,09	2,03
Presión requerida en la válvula (m)	6,58	9,10	5,18

El cuadro 4.8 muestra que la parcela 10 es la que presenta las condiciones más críticas en lo que concierne a la tubería múltiple. Esto se origina debido a que es la parcela con la tubería múltiple de mayor longitud y a su vez es la que menor pendiente presenta; estos factores ocasionan que se requiera un diámetro mayor para disminuir las pérdidas por fricción.

En el cuadro 4.9 se muestran los resultados obtenidos para el diseño hidráulico de la tubería principal en las 3 áreas representativas. Cabe mencionar que el caudal utilizado para diseñar la tubería principal corresponde al caudal que transporta la tubería múltiple del cuadro 4.8, esto se debe a que el sistema opera con una válvula a la vez y cada válvula entrega el mismo caudal. Además, la tubería principal se diseñó con tubería de polietileno de alta densidad.

Cuadro 4.9. Resultado del diseño hidráulico de la tubería principal para la propuesta de diseño 1

Parámetros	Parcela 8	Parcela 10	Parcela 27
Diámetro teórico (mm)	21,98	21,98	21,98
Diámetro comercial (mm)	27	33,8	27
Longitud tubería principal (m)	83	25	16
Δz (m)	-11	-10	-9
Pérdidas tubería principal (m)	4,00	0,40	0,77
Presión disponible en válvula (m)	7,00	9,60	8,23
Presión distal (m)	8,42	8,50	11,05

Como se puede observar, el diámetro teórico en las 3 parcelas es el mismo, sin embargo, en la parcela 10 se implementó un diámetro mayor en la tubería principal, ya que se requiere reducir las pérdidas de fricción para poder alcanzar la presión de operación del gotero más crítico; es por esto que se puede observar que, para los tres casos, las presiones distales se encuentran dentro del rango de operación del gotero.

4.1.7.2 Propuesta de diseño 2

Los cálculos del diseño hidráulico, para la propuesta de diseño 2, se realizaron en función de las características hidráulicas de la tubería con goteros integrados auto compensada Top Drip PC, cuyo rango de operación se encuentra entre 4 m.c.a a 25 m.c.a.

En el cuadro 4.10 se muestran los resultados del diseño hidráulico para la tubería lateral que presenta la condición más crítica y diseñada con polietileno de alta densidad.

Cuadro 4.10. Resultados del diseño hidráulico de la tubería lateral más crítica para la propuesta de diseño 2

Parámetros	Parcela 8	Parcela 10	Parcela 27
Presión de operación (m)	4 - 25	4 - 25	4 - 25
Perdidas admitidas lateral (m)	8,4	8,4	8,4
Longitud lateral crítico (m)	63	27	81
Δz (m)	-6,00	2	5
Numero colas de cerdo	12	5	14
Caudal por lateral (m^3/h)	0,18	0,074	0,21
Diámetro teórico (mm)	7,09	4,34	7,94
Diámetro comercial (mm)	12,7	12,7	12,7
Perdidas reales (m)	0,49	0,04	0,85
Presión entrada lateral (m)	4,02	6,00	9,85

Se puede observar que, en el caso de la tubería lateral, la parcela 27 requiere la mayor presión en la entrada del lateral. También, se observa que las 3 parcelas requieren el mismo diámetro de tubería.

En el cuadro 4.11 se presentan los resultados del diseño hidráulico para la tubería múltiple en polietileno de alta densidad y que contiene el lateral con la condición más crítica.

Cuadro 4.11. Resultados diseño hidráulico tubería múltiple para la propuesta de diseño 2

Parámetros	Parcela 8	Parcela 10	Parcela 27
Perdidas admitidas múltiple (m)	20,51	20,96	20,15
Longitud múltiple (m)	36	54	36
Δz (m)	-9	-1	-18
Numero laterales	14	20	12
Caudal de la múltiple (m ³ /h)	2,08	2,08	2,08
Diámetro teórico (mm)	13,15	14,24	13,24
Diámetro comercial (mm)	16,5	16,5	16,5
Perdidas reales (m)	6,78	10,22	6,89
Presión en la válvula (m)	3,21	5,19	4,45

Como se muestra en el cuadro 4.11, la parcela 10 es la que requiere una mayor presión en la entrada del lateral. Es importante resaltar, que, para este diseño, el diámetro de la tubería múltiple es el mismo en las 3 parcelas.

Los resultados del diseño hidráulico de la tubería principal en polietileno de alta densidad para la propuesta de diseño 2, se pueden observar en el cuadro 4.12. Cabe mencionar que el caudal utilizado para el diseño de la tubería principal corresponde al de la tubería múltiple que se muestra en el cuadro 4.11. Se utiliza dicho caudal debido a que el sistema opera con una válvula a la vez y cada válvula entrega el mismo caudal.

Cuadro 4.12. Resultado del diseño hidráulico de la tubería principal para la propuesta de diseño 2

Parámetros	Parcela 8	Parcela 10	Parcela 27
Diámetro teórico (mm)	22,13	22,13	22,13
Diámetro comercial (mm)	27	27	27
Longitud tubería principal (m)	83	25	16
Δz (m)	11	11	9
Perdidas tubería principal (m)	4,00	1,20	0,79
Presión disponible en válvula (m)	7,00	9,80	8,21
Presión distal (m)	13,32	8,56	7,76

Como se observa, para en esta propuesta de diseño, el diámetro de la tubería principal en las 3 parcelas es el mismo. A su vez, con estos diámetros se obtienen presiones distales dentro del rango de operación de la tubería con goteros integrados.

Es importante aclarar que a pesar de que, en ambas propuestas de diseño, el caudal entregado por árbol es el mismo, el diámetro de las tuberías múltiples y principales varía de un diseño a otro, debido a que las presiones de operación de los emisores de riego son distintas para cada diseño. Por lo tanto, la propuesta de diseño 2, al utilizar emisores de riego que operan a presiones menores, respecto a los de la propuesta de diseño 1, permite implementar diámetros menores en sus tuberías.

4.2 Determinar mediante un análisis hidrológico la cantidad de agua llovida que se puede captar a través de cosecha de agua para su uso en el sistema de riego.

4.2.1 Precipitación de diseño

Una vez que los datos de precipitación diaria fueron procesados y ordenados en datos de precipitación mensual para cada año, se procedió a obtener los valores de las precipitaciones de diseño, mínimas y máximas, para cada mes y diversos periodos de retorno, tal y como se muestra en los cuadros 4.13 y 4.14, respectivamente.

Cuadro 4.13. Precipitación mínima de diseño para cada mes y diversos periodos de retorno

Mes	Periodo de retorno								
	2	5	10	12	15	25	30	50	75
	Precipitación mínima de diseño (mm)								
Ene	43,60	34,44	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Feb	17,52	8,36	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mar	32,25	23,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Abr	108,07	98,92	53,25	6,69	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
May	401,25	392,09	346,42	299,87	111,43	206,99	233,83	155,66	43,18
Jun	303,20	294,04	248,37	201,81	13,37	108,94	135,78	57,61	0,00
Jul	301,67	292,51	246,84	200,28	11,84	107,41	134,25	56,07	0,00
Ago	334,32	325,16	279,49	232,94	44,50	140,06	166,90	88,73	0,00
Sep	393,10	383,94	338,27	291,71	103,27	198,84	225,68	147,50	35,03
Oct	513,33	504,17	458,50	411,94	223,50	319,07	345,91	267,73	155,26
Nov	309,34	300,18	254,52	207,96	19,52	115,08	141,92	63,75	0,00
Dic	54,04	44,88	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Suma	2811.69	2701.78	2225.66	1853.20	527.44	1196.37	1384.26	837.06	233.48

Cuadro 4.14. Precipitación máxima de diseño para cada mes y diversos periodos de retorno

Mes	Periodo de retorno								
	2	5	10	12	15	25	30	50	75
Ene	92,89	139,45	327,89	232,33	205,48	283,66	396,13	409,45	581,66
Feb	66,80	113,36	301,80	206,24	179,39	257,57	370,04	383,37	555,57
Mar	81,54	128,09	316,53	220,97	194,13	272,30	384,78	398,10	570,31
Abr	157,36	203,92	392,36	296,80	269,95	348,13	460,60	473,93	646,13
May	450,54	497,09	685,53	589,97	563,13	641,30	753,78	767,10	939,31
Jun	352,48	399,04	587,48	491,92	465,08	543,25	655,72	669,05	841,25
Jul	350,95	397,51	585,95	490,39	463,55	541,72	654,19	667,52	839,72
Ago	383,61	430,16	618,60	523,04	496,20	574,37	686,85	700,17	872,38
Sep	442,38	488,94	677,38	581,82	554,98	633,15	745,62	758,95	931,15
Oct	562,61	609,17	797,61	702,05	675,21	753,38	865,85	879,18	1.051,38
Nov	358,63	405,19	593,63	498,07	471,22	549,40	661,87	675,20	847,40
Dic	103,33	149,89	338,33	242,76	215,92	294,09	406,57	419,89	592,10
Suma	2745,20	2855,11	3403,13	3961,82	6223,09	5076,35	4754,24	5692,31	7042,00

Se puede observar que en el cuadro 4.13, se presentan meses donde no hay precipitación, tal es el caso de los meses de enero, febrero, marzo y diciembre; para un periodo de retorno de 12 años, por ejemplo. Asimismo, en el cuadro 4.14, para el mismo periodo de retorno, se observa que no existen meses con déficit debido a que se trata de la precipitación máxima de diseño.

El periodo de retorno seleccionado fue el de 12 años, debido a que se considera un valor aceptable y es comúnmente utilizado para este tipo de obras. Además, la probabilidad de cumplimiento, para dicho periodo de retorno y una vida útil de 5 años, es de 64,72%; la cual se considera aceptable.

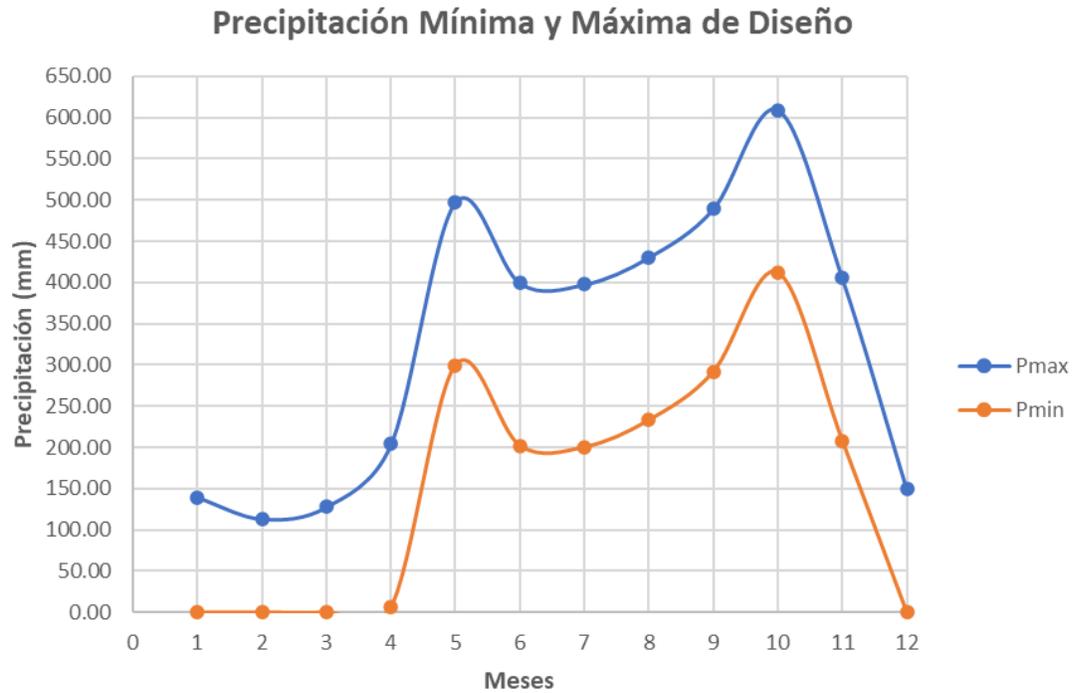


Figura 4.7. Comportamiento de las precipitaciones mínimas (Pmin) y de las precipitaciones máximas (Pmax) de diseño a lo largo de un año para un periodo de retorno de 12 años

En la figura 4.7 se observa el comportamiento de las precipitaciones mínimas y máximas de diseño para un periodo de retorno de 12 años.

4.2.2 Cosecha de agua

Para dimensionar el reservorio, se partió del hecho de que era necesario regar dos meses consecutivos bajo las condiciones del mes de marzo, por ser el mes con mayor evapotranspiración, lo anterior con el propósito de asegurar un volumen suficiente para el riego. Además, se contempló un volumen de reserva del 5% del volumen de riego requerido con el propósito de utilizarlo en imprevistos; a su vez se consideró el volumen de evaporado en el reservorio. Dichos resultados se observan en el cuadro 4.15

Un aspecto que se debe mencionar es que, en el diseño de los reservorios se contempló el uso de malla sombra con un factor de sombreado del 80% para reducir en lo máximo posible la evaporación; las especificaciones de esta malla se pueden observar en el [anexo 14](#). Asimismo, se contempló la colocación de un cobertor de suelo para evitar que la geomembrana Black Cover quede en contacto directo con el suelo y así disminuir el riesgo de rotura de la misma; aumentando de esta manera la vida útil del reservorio. En el [anexo 15](#) se puede observar una imagen ilustrativa del cobertor de suelo seleccionado.

Cuadro 4.15. Desglose del volumen total requerido para el diseño del reservorio.

Parámetro	Valor
Volumen riego 2 meses (m ³)	509.74
5 % volumen de riego (m ³)	25.49
Volumen evaporado (m ³)	39.70
Volumen total requerido (m ³)	574.94

En el cuadro 4.16 se aprecia los datos preliminares utilizados para el diseño del reservorio.

Cuadro 4.16. Datos preliminares para el diseño del reservorio

Parámetro	Valor
Volumen requerido (m ³)	574,94
Precipitación mínima anual (mm)	1.853,20
Área mínima de espejo de agua (m ²)	310,24
Talud	0,5 -1
Profundidad (m)	3
Borde de anclaje (m)	1

Se observa que, con una precipitación mínima anual de 1.853,20 mm, se requiere un área de espejo de agua de 310,24 m² para captar un volumen 574,94 m³ al año. Es importante aclarar que, debido a la textura del suelo, se permiten taludes desde 0,5 a 1, según la teoría. Además, se debe recordar que el área de

espejo de agua corresponde a el área donde cae la precipitación directamente sobre el reservorio y que esta precipitación es la que se utiliza para llenar el reservorio.

En función de los datos del cuadro 4.16 y tras consultar en diferentes catálogos de ventas de geomembranas, se decidió utilizar 2 geomembranas Black Cover de 25m x 10 m, ya que sus dimensiones permiten cubrir la superficie del suelo del estanque en su totalidad. Las especificaciones técnicas de esta geomembrana se pueden observar en el [anexo 16](#).

En el cuadro 4.17 se muestran las dimensiones del reservorio con un talud de 0,5.

Cuadro 4.17. Dimensiones del reservorio con talud de 0,5.

Parámetros	Valor
Longitud borde anclaje y pared(m)	8,7
Ancho del fondo (m)	11,3
largo del fondo (m)	16,3
Ancho espejo de agua(m)	14,3
Largo de espejo de agua (m)	19,3
Área del fondo (m ²)	184,19
Área del espejo de agua (m ²)	275,99
Volumen a recolectar por espejo de agua (m ³)	511,47
Volumen reservorio(m ³)	685,65

De igual manera, en el cuadro 4.18, se observan las dimensiones del reservorio con un talud de 1.

Cuadro 4.18. Dimensiones del reservorio con talud de 1

Parámetros	Valor
Longitud borde anclaje y pared(m)	10,5
Ancho del fondo (m)	9,5
Largo del fondo (m)	14,5
Ancho espejo de agua(m)	15,5
Largo de espejo de agua (m)	20,5
Área del fondo (m ²)	137,75
Área del espejo de agua (m ²)	317,75
Volumen a recolectar por espejo de agua (m ³)	588,85
Volumen reservorio(m ³)	664,71

Como se logra apreciar en los cuadros 4.17 y 4.18; el reservorio que logra recolectar el volumen total requerido es el que se diseña con un talud de 1. En los dos cuadros anteriores se logra observar que el reservorio con talud de 1 recolecta un volumen mayor de agua, que cae directamente sobre él, en comparación al reservorio construido con un talud de 0,5; esto se debe a que presenta un área mayor de espejo de agua. Por otra parte, el reservorio de 0,5 de talud puede almacenar un mayor volumen de agua, 685,65 m³, en contraste con el reservorio de 1 de talud el cual almacena 664,71 m³. Es importante notar que el reservorio con talud de 1 recolecta un volumen mayor al total requerido, por lo que aumenta la disponibilidad de agua que se puede utilizar para imprevistos u otros usos.

Por lo tanto, el reservorio elegido fue el diseñado con un talud de 1, ya que, de los dos reservorios diseñados, es el que logra recolectar el volumen de agua necesario para riego y otros usos. A su vez dicho reservorio tiene una capacidad de almacenamiento mayor al volumen total requerido.

Debido a que, la parcela 27 cuenta con un área cubierta por techo justo en el punto más alto, se decidió calcular el volumen de agua que se puede recoger en dicha superficie. En el cuadro 4.19 se muestran los resultados de los cálculos.

Cuadro 4.19. Volúmenes mínimos y máximos que se pueden recolectar en el área del techo de la parcela 27.

Mes	Volumen mínimo (m ³)	Volumen máximo (m ³)
Enero	0,00	20,74
Febrero	0,00	16,86
Marzo	0,00	19,05
Abril	1,00	30,33
Mayo	44,61	73,94
Junio	30,02	59,36
Julio	29,79	59,13
Agosto	34,65	63,99
Septiembre	43,39	72,73
Octubre	61,28	90,61
Noviembre	30,93	60,27
Diciembre	0,00	22,30
Suma	275,66	589,32

Estos volúmenes pueden ser usados para aumentar la velocidad de llenado del reservorio. De igual manera se puede dirigir a otras obras de almacenamiento de agua que se pueden construir en el futuro dentro de la parcela.

4.3 Evaluar económica y ambientalmente ambas propuestas de diseño con el fin de conocer la viabilidad del proyecto.

4.3.1 Análisis económico

El análisis económico se realizó en función de la inversión y los costos de producción para una hectárea de cítricos con árboles de 5 años de edad.

4.3.1.1 Diseño del sistema de riego de la propuesta 1

En el cuadro 4.20 se puede observar la lista de materiales y la inversión necesaria para desarrollar la propuesta 1 del sistema de riego en 1 ha de cítricos.

Cuadro 4.20. Lista de materiales con su respectivo precio para la propuesta el diseño 1

Inversión sistema de riego			
Detalle	Cantidad	Costo por unidad	Costo total
Rollo tubería polietileno alta densidad, 100m, 16 mm	33	€16.724,00	€551.892,00
Rollo tubería polietileno alta densidad, 100m, 25 mm	2	€27.685,00	€55.370,00
Rollo tubería polietileno alta densidad, 100m, 50 mm	2	€68.262,28	€136.524,57
Gotero Katif auto compensado, 0,4 - 3 bar, 3,7 l/h	1.115	€58,78	€65.539,70
Tee de inserción 16 x 16 x 16 mm	280	€197,75	€55.370,00
Tee de inserción 25 x 25 x 25 mm	40	€310,87	€12.434,80
Tee de inserción 50 x 50 x 50 mm	1	€2.197,00	€2.197,00
Reductor inserción 25 x 16 mm	40	€192,21	€7.688,52
Unión de inserción 16 mm	35	€38,44	€1.345,49
Unión de inserción 25 mm	5	€94,04	€470,19
Unión de inserción 50 mm	5	€881,40	€4.407,00
Válvula de paso 50 mm	3	€9.847,95	€29.543,86
Válvula de retención 50 mm	1	€11.044,55	€11.044,55
Filtro anillos Azud 120 Mesh 50 mm	1	€24.016,14	€24.016,14
Horas de mano de obra (peón agrícola)	55	€1.832,00	€100.760,00
Servicios profesionales	1	€500.000,00	€500.000,00
Costo construcción total			€1.558.603,81

Se debe aclarar que esta lista de materiales está basada en los diseños de riego de la propuesta 1 para las parcelas representativas; donde se tomó los valores más críticos obtenidos, para asegurar que cada condición extrema sea prevista por el diseño.

4.3.1.2 Diseño del sistema de riego de la propuesta 2

En el cuadro 4.21 se presenta la lista de materiales y la inversión necesaria para desarrollar la propuesta 2 del sistema de riego en 1 ha de cítricos.

Cuadro 4.21. Lista de materiales con su respectivo precio para la propuesta de diseño 2

Inversión sistema de riego			
Accesorios	Cantidad	Costo por unidad	Costo total
Rollo tubería polietileno alta densidad, 100m, 16 mm	18	¢16.724,00	¢301.032,00
Rollo tubería polietileno alta densidad, 100m, 20 mm	2	¢18.701,50	¢37.403,00
Rollo tubería polietileno alta densidad, 100m, 32 mm	2	¢42.565,59	¢85.131,17
Rollo tubería Top Drip As, 600 m, 16 mm, 1 l/h, 0,30 cm, 0,4 - 2,5 bar	3	¢105.284,36	¢315.853,08
Tee de inserción 16 x 16 x 16 mm	280	¢197,75	¢55.370,00
Tee de inserción 20 x 20 x 20 mm	40	¢225,56	¢9.022,40
Tee de inserción 32 x 32 x 32 mm	1	¢765,36	¢765,36
Reductor inserción 25 x 16 mm	40	¢192,21	¢7.688,52
Unión de inserción 16 mm	35	¢38,44	¢1.345,49
Unión de inserción 20 mm	5	¢43,84	¢219,20
Unión de inserción 32 mm	5	¢226,00	¢1.130,00
Válvula de paso 32 mm	3	¢9.847,95	¢29.543,86
Válvula de retención 32 mm	1	¢11.044,55	¢11.044,55
Filtro anillos Azud 1290 Mesh	1	¢24.016,14	¢24.016,14
Horas de mano de obra (peón agrícola)	40	¢1.832,00	¢73.280,00
Servicios profesionales	1	¢500.000,00	¢500.000,00
Costo construcción total			¢1.452.844,76

De igual manera que en la primera propuesta de diseño del sistema de riego, la lista de materiales se creó bajo el concepto de utilizar los valores más críticos para asegurar que todas las condiciones extremas son previstas en el diseño.

4.3.1.3 Costos de construcción del reservorio

Los costos de construcción del reservorio seleccionado se pueden observar en el cuadro 4.22.

Cuadro 4.22. Costo de construcción del reservorio seleccionado

Costos de la construcción del reservorio			
Detalle	Cantidad	Costo por unidad	Costo total
Geomembrana 500 micras, 10 m x 25 m	2	¢394.313,50	¢788.627,00
Cobertor negro de suelo, 3 m x 100 m	2	¢157.748,00	¢315.496,00
Malla negra sombra 80%, 2 m x 100 m	2	¢185.659,00	¢371.318,00
Horas Back Hoe, 15 m ³ /h	46	¢17.000,00	¢782.000,00
Horas mano de obra (peón agrícola)	40	¢1.832,00	¢73.280,00
Costos de construcción total			¢2.330.721,00

Cabe resaltar que independientemente de la propuesta de riego selecciona, el diseño del reservorio va a ser el mismo para cada parcela.

4.3.1.4 Flujos de efectivo

En el cuadro 4.23 se muestran los resultados del análisis del flujo de efectivo para la primera propuesta de diseño del sistema de riego junto con el reservorio.

Cuadro 4.23. Análisis del flujo de efectivo para 1 hectárea de cítricos donde se emplea la primera propuesta del diseño del sistema de riego con junto al reservorio.

Flujo de Efectivo Para 1 ha cítricos durante 5 años de producción							
Primera propuesta de diseño de sistema de riego y reservorio							
Proyección	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6
Inversión Inicial	-C\$3.889.325						
Cosecha de cítricos		C\$343.750	C\$1.031.250	C\$2.750.000	C\$3.437.500	C\$4.125.000	C\$4.215.000
Total de ingresos		C\$343.750	C\$1.031.250	C\$2.750.000	C\$3.437.500	C\$4.125.000	C\$4.215.000
Egresos	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6
Total de egresos		C\$930.805,11	C\$1.099.842,04	C\$1.246.863,50	C\$1.192.004,78	C\$1.515.426,33	C\$600.126,33
Flujo Neto	-C\$3.889.325	-C\$587.055	-C\$68.592	C\$1.503.137	C\$2.245.495	C\$2.609.574	C\$3.614.874
VAN	C\$2.406.058,85						
TIR	19%						

En el cuadro anterior, se demuestra que la primera propuesta de diseño del sistema de riego, junto al reservorio es viable económicamente, debido a que presenta un valor de VAN y TIR positivo; lo cual indica que se pueden obtener beneficios al implementar el proyecto.

En el cuadro 4.24 se presentan los resultados obtenidos al realizar el análisis de flujo para la segunda propuesta de diseño del sistema de riego por goteo

Cuadro 4.24. Análisis del flujo de efectivo para 1 hectárea de cítricos donde se emplea la segunda propuesta del diseño del sistema de riego con junto al reservorio.

Flujo de Efectivo Para 1 ha cítricos durante 5 años de producción							
Segunda propuesta de diseño de sistema de riego y reservorio							
Proyección	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6
Inversión Inicial	-C\$3.783.566						
Cosecha de aguacate		C\$343.750	C\$1.031.250	C\$2.750.000	C\$3.437.500	C\$4.125.000	C\$4.215.000
Total de ingresos		C\$343.750	C\$1.031.250	C\$2.750.000	C\$3.437.500	C\$4.125.000	C\$4.215.000
Egresos	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6
Total de gastos		C\$930.805,11	C\$1.099.842,04	C\$1.246.863,50	C\$1.192.004,78	C\$1.515.426,33	C\$600.126,33
Flujo Neto	-C\$3.783.566	-C\$587.055	-C\$68.592	C\$1.503.137	C\$2.245.495	C\$2.609.574	C\$3.614.874
VAN	C\$2.511.817,90						
TIR	19%						

En el cuadro 4.24 se observa que el flujo de efectivo para la segunda propuesta de diseño del sistema de riego, junto al reservorio es favorable, ya que a partir de esta se obtiene un valor positivo para el VAN y el TIR; lo que indica que la propuesta es económicamente viable.

4.3.2 Análisis ambiental

Tras completar el formulario D1 de Viabilidad Ambiental, se obtuvo un valor de significancia de Impacto Ambiental (SIA) final de 63; por lo tanto, como se obtuvo una calificación menor a 300, el proyecto se clasifica como tipo B2. Por lo cual, para desarrollar el proyecto se requiere una declaración jurada de compromisos ambientales. En el [anexo 17](#) se muestra el valor del SIA obtenido, así como sus criterios de ponderación.

Es importante aclarar que ambos proyectos son ambientalmente iguales debido a que lo único que cambia en ellos son los emisores de riego a utilizar.

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1.1 Conclusiones

- a) La condición de déficit hídrico más crítica se presenta en el mes de marzo, con un total de 3,11 mm/día de déficit. Para esta condición se realizan las 2 propuestas de diseños de riego y de reservorio.
- b) El diseño agronómico es el mismo en las dos propuestas de diseño. En ambos casos, las necesidades hídricas del cultivo se satisfacen para una misma frecuencia y tiempo de riego.
- c) Ambas propuestas de diseño son hidráulicamente viables, sin embargo, la segunda propuesta resulta más conveniente, debido a que se adapta mejor a las condiciones de todas las parcelas, ya que opera con presiones en el rango de 4 m.c.a. a 25 m.c.a., razón por la cual se puede usar tanto en las parcelas con pendiente baja como en las parcelas con mayor pendiente.
- d) Al realizar el estudio hidrológico se determinó que existe un rango de lluvias favorable la cosecha de agua, por lo que se concluye que la comunidad de La Gloria tiene potencial para llevar a cabo proyectos de esta índole.
- e) El reservorio diseñado permite recolectar un volumen de 588,85 m³ por precipitación que cae directamente sobre él y a su vez tiene la capacidad de almacenar 664,71 m³. Esa cantidad de agua es suficiente para regar 1 ha de cítricos durante dos meses bajo las condiciones de déficit hídrico presentes en el mes de marzo, solventar la evapotranspiración del reservorio y dejar un excedente de agua para imprevistos.
- f) Ambos proyectos son económicamente viables debido a que presenta valores de VAN y TIR positivos. Sin embargo, la propuesta dos resulta ser la propuesta más viable debido a que es más barata y sencilla de instalar.
- g) Ambientalmente ambos proyectos son viables y resultan ser completamente iguales, debido a que su única variación son los emisores de riego utilizados, factor que solo modifica el diseño hidráulico del sistema debido a sus diferentes rangos de presión de operación.

5.1.2 Recomendaciones

- a) Se recomienda darle mantenimiento periódico y preventivo al sistema de riego para prolongar su vida útil. Así mismo, es recomendable procurar no dañar las tuberías de riego cuando se realizan prácticas culturales en el cultivo.
- b) Para aumentar la disponibilidad de agua y el volumen de agua captado, se recomienda dirigir el agua proveniente de los techos, al reservorio o a otras estructuras de almacenamiento que se pueden crear en las parcelas. Se recomienda seguir adelante con las obras de conservación de suelo
- c) Se recomienda promover a los parceleros a implementar obras de conservación de suelos que permitan mejorar las condiciones retención de humedad en el suelo; así como evitar la erosión del suelo en la época de invierno.
- d) Ambos diseños fueron realizados con consideraciones de precipitación y requerimientos hídricos ligeramente ajustadas, por lo que se recomienda aumentar los rangos de seguridad al instalar el proyecto.

6 BIBLIOGRAFÍA

- Alvarado, A., & Forsythe, W. (2005). Variación de la densidad aparente en órdenes de suelos de Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 29(1), 85-94. Retrieved from https://www.mag.go.cr/rev_agr/v29n01_085.pdf
- Arias Zúñiga, A. L. (2006). *Introducción a los estudios de impacto ambiental* (1st ed.). Editorial de la Universidad de Costa Rica.
- Catalini, C. G., García Rodríguez, C. M., Caamaño Nelli, G. E., Dasso, C. M., García, C. L., Mascuka, E. N., Colladon, L. E. F., Rico, A. F., Gil Montero, V. G., Maidah, L., Sanchez, F. E., Ortega, F., Lérdia, G. L., Chiesura, G. I., Ottaviani, M. F., Rezett, M. R., & Altamirano, M. T. (2012). *Manual de procedimientos para el cálculo de lluvias de diseño – (escala provincial y nacional)*. (). http://pa.bibdigital.ucc.edu.ar/290/1/PI_Catalini_Caama%C3%B1o.pdf
- Cordero Barrantes, L. (2020). *Caracterización del área de influencia de la agencia de extensión agropecuaria*. (). http://www.mag.go.cr/regiones/central_sur/Caracterizacion-AEA-Lagloria.pdf
- Díaz Ortiz, H. A., & Mercado Rodríguez, J. M. (2012). *Diseño de un sistema de riego por goteo para cítricos (naranja) en la finca Ojo de agua con energía renovable (solar) en el municipio de "San Francisco Libre" departamento de Managua*
- Dirección de Aguas, & MINAE. (2019). *Mapas acuíferos potenciales 0 a 30 m bajo el nivel del suelo*. <http://www.da.go.cr/wp-content/uploads/2019/11/Mapa-de-acuiferos-potenciales-someros-0-30-m.pdf>
- Durán Ramírez, F. (2013). *Cultivo y exportación de cítricos* (1ª ed.). Colombia: Grupo Latino Editores. Retrieved from <https://search.proquest.com/docview/1943884756>
- Escobar Arias, G. E. (2014). Flujos de efectivo y entorno económico en las empresas de servicios de Risaralda, 2002-2011. *Economía Regional*, 6(1), 141-158. 10.14718/revfinanzpolitecon.2014.6.1.7
- Evett, S. R., Schwartz, R. C., Casanova, J. J., & Heng, L. K. (2012). Soil water sensing for water balance, ET and WUE. *Agricultural Water Management*, 104, 1-9. 10.1016/j.agwat.2011.12.002
- FAO. (2006). *Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de*

- los requerimientos de agua de los cultivos. *Estudio FAO Riego Y Drenaje*, (56)
<http://www.fao.org/3/x0490s/x0490s.pdf>
- FAO. (2021). *Portal de Suelos de la FAO: Propiedades Físicas del Suelo*.
<http://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/propiedades-del-suelo/propiedades-fisicas/es/>
- Funk, C., Peterson, P., Landsfeld, M., Pedreros, D., Verdin, J., Shukla, S., Husak, G., Rowland, J., Harrison, L., Hoell, A., & Michaelsen, J. (2015). *The climate hazards infrared precipitation with stations—a new environmental record for monitoring extremes*. Springer Science and Business Media LLC. 10.1038/sdata.2015.66.
<https://www.nature.com/articles/sdata201566>
- Liotta, M., Carrión, R., Ciancaglini, N., & Olguín, A. (2015). *Manual de capacitación: riego por goteo*
- MAG. (2017). *Curso corto Captación y aprovechamiento de agua de lluvia para agricultura protegida*.
http://www.mag.go.cr/informacion/curso_agua_pluvial/Ejemplo_de_Calculo.pdf
- Mete, M. R. (2014). Valor actual neto y tasa de retorno: su utilidad como herramienta para el análisis y evaluación de proyectos de inversión. *Fides Et Ratio*, 7, 67-85.
http://www.scielo.org.bo/pdf/rfer/v7n7/v7n7_a06.pdf
- Morales Hidalgo, D., Salinas Acosta, A., & Rodríguez Quirós, R. (2010). *Manual de especificaciones técnicas básicas para la elaboración de estructuras de captación de agua de lluvia (SCALL) en el sector agropecuario de Costa Rica y recomendaciones para su utilización*. Centro Mesoamericano de Desarrollo Sostenible, Universidad Nacional de Costa Rica. doi:10.13140/rg.2.1.3027.3769 Retrieved from
https://www.academia.edu/293647/Manual_de_Construccion_de_Reservorios_de_Agua_de_Lluvia
- Orduz Rodríguez, J. O. (2007). Ecofisiología de los cítricos en el trópico :revisión y perspectivas. Paper presented at the *II Congreso Colombiano De Horticultura*,
- Poma Hidalgo, A. J. (2019). *Aplicación del VAN y TIR como herramientas claves para determinar la viabilidad económica de un proyecto de emprendimiento*
http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/14962/1/E-11393_POMA%20HIDALGO%20ALEXANDER%20JOEL.pdf

- Quesada Monge, I. (2021). *Caracterización área de influencia Región de Desarrollo Central Sur 2021*. http://www.mag.go.cr/regiones/central_sur/Caracterizacion-Region-Desarrollo-Central-Sur-2021.pdf
- Salinas Acosta, A. (2019). *Experiencias en la implementación de Sistemas de Captación de Agua (SCALL) para usos agropecuario en la región Chorotega de Costa Rica*
- Saubes, N. (2015). *Balance hidrológico de las subcuencas de la República de Guatemala*. Guatemala:
https://www.plazapublica.com.gt/sites/default/files/Balance_hidrologico_subcuencas.pdf
- Villalobos Araya, M. (2001). Material de clase: Riego por goteo [Abstract].
- Villalobos Araya, M. (2008). *Fundamentos de Riego* (1st ed.). Ediciones Centro de Desarrollo de Material Bibliográfico.
- Villalobos Araya, M. (2015). *Material de clase: Riego por Aspersión*
- Villón Béjar, M. (2004). *Hidrología* (1st ed.). Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- Yáñez Vargas, A. (2008). Impacto ambiental y metodologías de análisis. *BIOCYT Biología Ciencia Y Tecnología*, 1(1), 7-15. 10.22201/fesi.20072082.2008.1.16844

7. ANEXOS

Anexo 3. Coeficiente de cultivo y porcentaje de agotamiento para el cultivo de cítricos para diferentes condiciones. Fuente: FAO, 2006

Cultivo	Condición	Kc	Agotamiento
Cítricos sin cobertura de suelo	70% cubierta vegetativa	0,65	0,5
	50% cubierta vegetativa	0,6	
	20% cubierta vegetativa	0,45	
Cítricos con cobertura activa de suelo o malezas	70% cubierta vegetativa	0,7	
	50% cubierta vegetativa	0,8	
	20% cubierta vegetativa	0,85	

Anexo 4. Porcentaje de suelo humedecido en función al caudal del gotero, espaciamiento entre goteros y espaciamiento entre líneas. Fuente: Villalobos Araya, 2001

Porcentaje del área humedecido en el riego por goteo.

Espaciamiento entre laterales [m]	Descarga del Gotero ['lt/h]														
	Menos de 1.5			2			4			8			Más de 10		
	Textura del Suelo °)														
	G	M	F	G	M	F	G	M	F	G	M	F	G	M	F
	Espaciamiento de los goteros sobre el lateral de [m].														
	0.2	0.5	0.9	0.3	0.7	1.0	0.6	1.0	1.3	1.0	1.3	1.7	1.3	1.6	2.0
	Porcentaje del área bajo riego (estimado) [%]														
0.8	38	88	100	50	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
1.0	33	70	100	40	80	100	80	100	100	100	100	100	100	100	100
1.2	25	58	92	33	67	100	67	100	100	100	100	100	100	100	100
1.5	20	47	73	26	53	80	53	80	100	80	100	100	100	100	100
2.0	15	35	55	20	40	60	40	60	80	60	80	100	80	100	100
2.5	12	28	44	16	32	48	32	48	64	48	64	80	64	80	100
3.0	10	23	37	13	26	40	26	40	53	40	53	67	53	67	80
3.5	9	20	31	11	23	34	23	34	46	34	46	57	46	57	68
4.0	8	18	28	10	20	30	20	30	40	30	40	50	40	50	60
4.5	7	16	24	9	18	26	18	26	36	26	36	44	36	44	53
5.0	6	14	22	8	16	24	16	24	32	24	32	40	32	40	48
6.0	5	12	20	7	14	20	14	20	27	20	27	34	27	34	40

G = Textura Gruesa, Arenosa
 M = Textura Mediana, Franca
 F = Textura Fina, Arcillosa

Anexo 5. Valores de Tr en función de la profundidad de raíces y textura del suelo. Fuente: Villalobos Araya, 2001.

PROFUNDIDAD RAÍCES (m)	TEXTURA			
	Muy arenosa	Arenosa	Media	Fina
< de 0,75	0,90	0,90	0,95	1,00
De 0,75 a 1,50	0,90	0,95	1,00	1,00
> de 1,50	0,95	1,00	1,00	1,00

Anexo 6. Valores del coeficiente de Hazen Williams según el tipo de material de la tubería. Fuente: Villalobos Araya, 2015

Material	Coeficiente C
Acero Nuevo	140
Aluminio Nuevo	140
Acero Viejo (15 años)	120
Acero Remachado (10 años)	110
Aluminio con acoples	120
Galvanizado con uniones	115
P.V.C	150
Polietileno	140

Anexo 7. Factor F según número de salidas en tubería de plástico. Fuente: Villalobos Araya, 2015

Número de salidas	Plástico (1,760)		
	F1a	F2b	F3c
5	0,469	0,337	0,410
10	0,415	0,350	0,384
12	0,406	0,352	0,381
15	0,398	0,355	0,377
20	0,389	0,357	0,373
25	0,384	0,358	0,371
30	0,381	0,359	0,370
40	0,376	0,360	0,368
50	0,374	0,361	0,367
100	0,369	0,362	0,366
200	0,366	0,363	0,365

Anexo 8. Valores de Yt para diversos periodos de retorno.

T	2	5	10	25	30	50	75	100	250	500
Y _T	0.36651	1.49994	2.25037	3.19853	3.38429	3.90194	4.31078	4.60015	5.5194	6.2136

Anexo 9. Valores de Yn y Sn según el número de datos de la muestra.

N°datos	yn	Sn	N°datos	yn	Sn	N°datos	yn	Sn
1	0,36651	0,00000	35	0,54034	1,12847	69	0,55453	1,18440
2	0,40434	0,49838	36	0,54105	1,13126	70	0,55477	1,18535
3	0,42859	0,64348	37	0,54174	1,13394	71	0,55500	1,18629
4	0,44580	0,73147	38	0,54239	1,13650	72	0,55523	1,18720
5	0,45879	0,79278	39	0,54302	1,13896	73	0,55546	1,18809
6	0,46903	0,83877	40	0,54362	1,14131	74	0,55567	1,18896
7	0,47735	0,87493	41	0,54420	1,14358	75	0,55589	1,18982
8	0,48428	0,90432	42	0,54475	1,14576	76	0,55610	1,19065
9	0,49015	0,92882	43	0,54529	1,14787	77	0,55630	1,19147
10	0,49521	0,94963	44	0,54580	1,14989	78	0,55650	1,19227
11	0,49961	0,96758	45	0,54630	1,15184	79	0,55669	1,19306
12	0,50350	0,98327	46	0,54678	1,15373	80	0,55689	1,19382
13	0,50695	0,99713	47	0,54724	1,15555	81	0,55707	1,19458
14	0,51004	1,00948	48	0,54769	1,15731	82	0,55726	1,19531
15	0,51284	1,02057	49	0,54812	1,15901	83	0,55744	1,19604
16	0,51537	1,03060	50	0,54854	1,16066	84	0,55761	1,19675
17	0,51768	1,03973	51	0,54895	1,16226	85	0,55779	1,19744
18	0,51980	1,04808	52	0,54934	1,16380	86	0,55796	1,19813
19	0,52175	1,05575	53	0,54972	1,16530	87	0,55812	1,19880
20	0,52355	1,06282	54	0,55009	1,16676	88	0,55828	1,19945
21	0,52522	1,06938	55	0,55044	1,16817	89	0,55844	1,20010
22	0,52678	1,07547	56	0,55079	1,16955	90	0,55860	1,20073
23	0,52823	1,08115	57	0,55113	1,17088	91	0,55876	1,20135
24	0,52959	1,08646	58	0,55146	1,17218	92	0,55891	1,20196
25	0,53086	1,09145	59	0,55177	1,17344	93	0,55905	1,20256
26	0,53206	1,09613	60	0,55208	1,17467	94	0,55920	1,20315
27	0,53319	1,10054	61	0,55238	1,17586	95	0,55934	1,20373
28	0,53426	1,10470	62	0,55268	1,17702	96	0,55948	1,20430
29	0,53527	1,10864	63	0,55296	1,17816	97	0,55962	1,20486
30	0,53622	1,11237	64	0,55324	1,17926	98	0,55976	1,20541
31	0,53713	1,11592	65	0,55351	1,18034	99	0,55989	1,20596
32	0,53799	1,11929	66	0,55378	1,18139	100	0,56002	1,20649
33	0,53881	1,12249	67	0,55403	1,18242	101	0,56015	1,20701
34	0,53959	1,12555	68	0,55429	1,18342			

Anexo 10. Coeficiente de escurrimiento para diferentes materiales de superficie. Fuente: MAG, 2017

Área de captación	Ce
Cubiertas superficiales	
Concreto	0,6-0,8
Pavimento	0,5-0,6
Geomembrana de PVC	0,85-0,90
Azotea	
Azulejos teja	0,8-0,9
Hojas de metal acanaladas	0,7-0,9
Captación en tierra	
Suelo con pendientes menores al 10%	0,0-0,3

Anexo 11. Cuadro del balance hídrico completo.

	Mes	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
a	Temperatura promedio mensual (°C)	25,48	25,79	26,71	26,90	26,20	25,43	25,71	25,35	24,96	24,81	24,55	24,95
b	Índice de calor	11,77	11,99	12,65	12,78	12,28	11,74	11,93	11,68	11,41	11,30	11,13	11,40
c	ETP (mm)	117,89	122,89	138,59	141,91	129,69	117,13	121,58	115,87	109,84	107,53	103,81	109,59
d	Factor de corrección	0,98	0,91	1,03	1,03	1,08	1,06	1,08	1,07	1,02	1,02	0,98	0,99
e	ETP corregida (mm)	115,53	111,83	142,75	146,17	140,06	124,16	131,30	123,98	112,04	109,68	101,73	108,50
f	Precipitación (mm)	40,83	14,74	29,48	105,30	398,48	300,43	298,90	331,55	390,33	510,56	306,57	51,27
g	Variación de las reservas de la humedad del suelo (mm)	74,69	7,08	0,00	0,00	139,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	57,23
h	Reserva de agua disponible (mm)	7,08	0,00	0,00	0,00	139,00	139,00	139,00	139,00	139,00	139,00	139,00	81,77
i	ET efectiva (mm)	47,91	14,74	29,48	105,30	140,06	124,16	131,30	123,98	112,04	109,68	101,73	108,50
j	Deficit o sequía (mm)	67,61	97,08	113,27	40,87	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
k	Excedente (mm)	0,00	0,00	0,00	0,00	119,42	176,27	167,59	207,57	278,29	400,87	204,84	0,00
l	1/2 excedente (mm)	0,00	0,00	0,00	0,00	59,71	88,13	83,80	103,79	139,14	200,44	102,42	0,00
m	1/2 excoorrentia del mes anterior (mm)	64,83	32,42	16,21	8,10	0,00	29,85	58,99	71,40	87,59	113,37	156,90	129,66
n	Escorrentía total (mm)	64,83	32,42	16,21	8,10	59,71	117,99	142,79	175,18	226,73	313,80	259,32	129,66

Katif Gotero en línea autocompensante

Especificaciones

Caudales: 2,3, 3,75, 8,4 l/h

Rango de presión de trabajo:
De 0,8 a 3,0 bar

Disponible preinsertado en tuberías PE de 16 a 20 mm, con cualquier espaciado requerido; o suelto para instalarlo en el sitio

Dos versiones de salida de agua:

Salida superior: evita las pérdidas de agua en la línea de goteo

Salida lateral: sin chorros de agua sobre la línea de goteo

Instalación: Con una herramienta para perforar de 2,8 mm

Anexo 13. Ficha técnica tubería con goteros integrados Top Drip PC



DATOS TECNICOS

Diámetro nominal	Espesor de pared		DI (mm)	DE (mm)	Presión máxima (bar)	KD	Conectores	
	mil	mm					Cinta	
16	13	0.33	16.2	16.86	1.4	0.4	●	
	15	0.38	16.2	16.96	1.8	0.4	●	
	18	0.45	15.8	16.70	2.0	0.4	●	
	25	0.63	15.6	16.86	2.5	0.4	●	
22	13	0.33	22.2	22.86	1.2	0.3	●	
	15	0.38	22.2	22.96	1.4	0.3	●	
	18	0.45	22.2	23.10	1.7	0.3	●	
	25	0.63	22.2	23.46	2.0	0.3	●	

MODELO ESPECIAL PC AS:

- Diseño antisifón que evita la succión en etapa de drenaje
- Recomendado para riego por goteo subterráneo

DATOS TECNICOS

- Caudal: 1.0, 1.6, 2.0, 2.2 l/h
- Rango de regulación de presión: 0.4 – 2.5 bar
- Presión de operación: 0,4 – 2,5 bar, de acuerdo al espesor de la pared
- Espesor de pared: 13-25 mil, 0.33-0.63 mm
- Grado de filtración recomendado: 130 micrones (120 mesh)

Anexo 14. Imagen ilustrativa de la malla negra de 80 % de sombreo



Anexo 15. Imagen ilustrativa del cobertor de suelo seleccionado 1



Anexo 16. Especificaciones técnicas de la geomembrana Black Cover.

Uso	:	Lamina para recubrimiento de estanques
Ancho	:	8 metros
Espesor	:	500 micrones / 20 milésimas
Largo	:	30 metros

		Test method	Units	Values
Traccion Rotura	MD	ASTM D-882	MPa	18.0
	TD	"	MPa	18.5
Elongacion a Rotura	MD	"	%	600
	TD	"	%	700
Resistencia a Rasgado	MD	ASTM D1922	Gr./mm.	4500
	TD	"	Gr./mm	5000

Transmision LUZ	%	ASTM D-1003	0

Typical values

Anexo 17. Calificación obtenida en el formulario D1 de SETENA. Fuente: SETENA.

5. CRITERIOS DE PONDERACION			
calificación final que servirá de criterio para la clasificación según la Significancia del impacto ambiental (SIA) que se indica en este documento.			
1. Valor preliminar de SIA, es decir la sumatoria de todos los valores individuales (Σ)		56.00	
Según las regulaciones aplicables a la operación de la actividad, obra o proyecto			
2.a Con Reglamento específico en materia ambiental que regule la actividad, obra o proyecto (p). Se multiplica la sumatoria de SIA (Σ) por un factor de 1 =	1	Decreto Ejecutivo No. _____	3. Sin Reglamento específico en materia ambiental (p) que regule la operación, se multiplica la sumatoria (Σ) de SIA por un factor de 2=
2.b Con compromiso del desarrollador a adherirse voluntariamente a una norma o guía ambiental de construcción y operación, según corresponda que exista para la actividad, obra o proyecto que se plantea en el D1(p). Dicha norma o guía ambiental será de acatamiento obligatorio para el desarrollador, en lo que corresponda, desde el momento en que la SETENA le otorga la viabilidad ambiental. En este caso se multiplica la sumatoria de SIA (Σ) por un factor de 0.75 =	0.75		
		(p)	0.75
4. Valor de SIA ajustado por regulaciones (SIA _R) =		42	
Clasificación del área según la zona de ubicación del proyecto (β)			
5. Localización autorizada por Plan Regulador u otra planificación ambiental de uso del suelo, aprobados por la SETENA, incluyendo la variable ambiental según la metodología establecida por la SETENA. Se multiplica el valor de SIA _R por un valor de 0.5 =	0.5	6. Localización autorizada por Plan Regulador NO aprobado por SETENA. Se multiplica el valor de SIA _R por un valor de 1,0 =	1
7. Localización en área sin Plan Regulador. Se multiplica el valor de SIA _R por un valor de 1,5 =	1.5	8. Localización en área ambientalmente frágil, excepto que este contemplado en el numeral 5. Se multiplica el valor de SIA _R por un valor de 2 =	2
Nota: Deberá brindarse la cita correcta del Plan Regulador o del Plan Ambiental de Uso del Suelo a que se			
		(β)	1.5
9. Calificación final de la SIA:		63	
10. Clasificación en función de la calificación final y que establece el procedimiento en SETENA, según la ruta de decisión.			
Tipo	Nota	Procedimiento	
A	Mayor que 1000.	Estudio de Impacto Ambiental.	
B ₁	Mayor que 300 y menor o igual que 1000.	Pronóstico-Plan de Gestión Ambiental.	
B ₂	Menor o igual que 300.	Declaración Jurada de Compromisos Ambientales.	