

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA  
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 EN AMBIENTES PROTEGIDOS  
PARA CULTIVO DE HORTALIZAS, EN LAS ZONAS DE PACAYAS Y  
CIPRESES, CARTAGO.**

GARITA CERDAS ADRIÁN

CARTAGO, 2019

**DISEÑO DE SISTEMA DE RIEGO POR GOTEO EN AMBIENTES PROTEGIDOS  
PARA CULTIVO DE HORTALIZAS, EN LAS ZONAS DE PACAYAS Y  
CIPRESES, CARTAGO.**

GARITA CERDAS ADRIÁN

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

Adrián Enrique Chavarría Vidal

Nombre

Asesor

Marvin Villalobos Araya

Nombre

Director Escuela  
Ingeniería Agrícola

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

CARTAGO, COSTA RICA

2019

## **DEDICATORIA**

A mis padres Adrián Garita Navarro y Martha Cerdas Leiva, que fueron, son y serán mi gran inspiración y apoyo para llevar a cabo todas las etapas importantes de mi vida; como ha sido este proyecto.

A mis hermanas y cuñados que de una u otra manera siempre han estado junto a mí, brindándome apoyo en mi formación como persona y profesional.

## **AGRADECIMIENTO**

Primero a Dios Padre por brindarme el conocimiento y dedicación necesaria para llevar a cabo este proyecto; así como la culminación de mi carrera universitaria.

A mis padres por darme la oportunidad de estudiar; por inculcarme buenos valores y principios, además de una educación desde niño. Siendo los dos pilares principales de mi vida para llevar a cabo cada etapa y toma de decisiones.

A mi familia en general por el apoyo y confianza atribuida hacia mi persona.

A los profesores y personal de la Escuela de Ingeniería Agrícola por toda la ayuda y conocimientos brindados durante el tiempo universitario, en especial a los Ingenieros Marvin Villalobos, Armando Alvarado y Adrián Chavarría por darme su apoyo, consejos y asesorías de forma desinteresada; fortaleciéndome en vida personal y profesional.

A la Ingeniera Beatriz Molina y demás miembros del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) por el apoyo brindado y la colaboración para realizar el proyecto con dicha institución.

A los productores de Finca Orgánicos Doña María y Finca La Pavilla por estar siempre anuentes a colaborar y proporcionar los sitios destinados para el proyecto.

A mis amigos y compañeros, los cuales me regalaron momentos agradables; permitiendo que la carrera Ingeniería Agrícola significara una experiencia única e inolvidable.

A todos los miembros de las Asociaciones de estudiantes que han trabajado por el bien del gremio, dejándome muchas enseñanzas y aprendizaje valioso.

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

|  |     |
|--|-----|
| RESUMEN .....  | xii |
| 1. INTRODUCCIÓN.....                                 | 14  |
| 2. OBJETIVOS.....                                    | 16  |
| 2.1. OBJETIVO GENERAL.....                           | 16  |
| 2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....                     | 17  |
| 3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA .....                      | 18  |
| 3.1. Precipitación de diseño.....                    | 19  |
| 3.2. Cosecha de agua de lluvia .....                 | 20  |
| 3.3. Parámetros del suelo .....                      | 21  |
| 3.3.1. Peso específico .....                         | 21  |
| 3.3.2. Estructura: .....                             | 21  |
| 3.3.3. Textura:.....                                 | 21  |
| 3.3.4. Materia orgánica: .....                       | 21  |
| 3.3.5. Capacidad de campo (CC): .....                | 22  |
| 3.3.6. Punto de marchitez permanente (PMP): .....    | 22  |
| 3.4. Características del cultivo .....               | 23  |
| 3.4.1. Estado fenológico del cultivo: .....          | 23  |
| 3.4.2. Profundidad radicular:.....                   | 23  |
| 3.5. Evapotranspiración .....                        | 24  |
| 3.5.1. Evapotranspiración de referencia (Eto): ..... | 24  |
| 3.5.2. Coeficiente de cultivo (Kc): .....            | 24  |
| 3.6. Generalidades de riego por goteo .....          | 25  |
| 3.6.1. Cabezal de riego: .....                       | 25  |
| 3.6.2. Red de tuberías: .....                        | 25  |
| 3.6.3. Emisores de riego:.....                       | 26  |
| 3.6.4. Filtradores: .....                            | 26  |
| 3.7. Análisis social .....                           | 27  |
| 3.8. Análisis económico .....                        | 28  |
| 3.8.1. Estudio económico financiero.....             | 29  |
| 3.8.2. Estados financieros del proyecto .....        | 29  |
| 3.8.3. Estado de inversión inicial del proyecto..... | 29  |
| 3.8.4. Estado de Resultado del proyecto .....        | 29  |
| 3.8.5. Balance General del proyecto.....             | 29  |
| 3.8.6. Flujo de efectivo del proyecto.....           | 30  |

|         |  |    |
|---------|--|----|
| 3.8.7.  | Evaluación Financiera .....                          | 30 |
| 4.      | <b>METODOLOGÍA</b> .....                             | 33 |
| 4.1.    | Inspección de campo .....                            | 34 |
| 4.2.    | Análisis topográfico .....                           | 34 |
| 4.3.    | Cálculo de la precipitación de diseño .....          | 35 |
| 4.4.    | Cosecha de agua de lluvia .....                      | 37 |
| 4.5.    | Determinación de textura de suelo .....              | 38 |
| 4.6.    | Cálculo de peso específico aparente del suelo.....   | 39 |
| 4.7.    | Cálculo de capacidad de campo (CC).....              | 40 |
| 4.8.    | Cálculo de punto de marchitez permanente (PMP) ..... | 41 |
| 4.9.    | Evapotranspiración .....                             | 42 |
| 4.10.   | Diseño agronómico.....                               | 42 |
| 4.10.1. | Lámina neta.....                                     | 42 |
| 4.10.2. | Frecuencia de riego .....                            | 43 |
| 4.10.3. | Lámina neta corregida .....                          | 44 |
| 4.10.4. | Lámina bruta.....                                    | 44 |
| 4.10.5. | Tiempo de riego .....                                | 45 |
| 4.10.6. | Máximo número de posiciones al día.....              | 46 |
| 4.11.   | Diseño Hidráulico .....                              | 46 |
| 4.11.1. | Diseño de la tubería lateral .....                   | 46 |
| 4.11.2. | Diseño de la tubería múltiple .....                  | 50 |
| 4.11.3. | Presión en la válvula .....                          | 51 |
| 4.11.4. | Presión distal .....                                 | 52 |
| 4.11.5. | Diseño de la tubería principal.....                  | 52 |
| 4.12.   | Velocidades en las tuberías.....                     | 53 |
| 4.13.   | Carga dinámica total .....                           | 54 |
| 4.14.   | Análisis sociocultural .....                         | 54 |
| 4.15.   | Análisis económico .....                             | 55 |
| 4.16.   | Análisis ambiental.....                              | 55 |
| 5.      | <b>RESULTADOS Y ANÁLISIS</b> .....                   | 56 |
| 5.1.    | Inspección de campo .....                            | 57 |
| 5.2.    | Análisis topográfico.....                            | 59 |
| 5.3.    | Precipitación de diseño.....                         | 62 |
| 5.4.    | Cosecha de agua de lluvia .....                      | 65 |
| 5.5.    | Textura del suelo .....                              | 68 |

|        |   |     |
|--------|---|-----|
| 5.6.   | <b>Peso específico aparente del suelo</b> .....                 | 68  |
| 5.7.   | <b>Capacidad de campo y Punto de Marchitez Permanente</b> ..... | 69  |
| 5.8.   | <b>Evapotranspiración</b> .....                                 | 69  |
| 5.9.   | <b>Diseño agronómico</b> .....                                  | 71  |
| 5.10.  | <b>Diseño hidráulico</b> .....                                  | 74  |
| 5.9.1. | <b>Diseño en Finca Orgánicos Doña María</b> .....               | 74  |
| 5.9.2. | <b>Diseño en Finca La Pavilla</b> .....                         | 79  |
| 5.11.  | <b>Materiales requeridos</b> .....                              | 81  |
| 5.12.  | <b>Operación del sistema</b> .....                              | 82  |
| 6.     | <b>ANÁLISIS ECONÓMICO</b> .....                                 | 84  |
| 7.     | <b>ANÁLISIS SOCIOCULTURAL</b> .....                             | 92  |
| 8.     | <b>ANÁLISIS AMBIENTAL</b> .....                                 | 94  |
| 9.     | <b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....                     | 96  |
| 9.1.   | <b>Conclusiones</b> .....                                       | 97  |
| 9.2.   | <b>Recomendaciones</b> .....                                    | 98  |
| 10.    | <b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....                         | 99  |
| 11.    | <b>ANEXOS</b> .....   | 103 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 1</b> Ubicación geográfica de las fincas. ....   | 57 |
| <b>Figura 2</b> Invernadero ubicado en Finca Orgánicos Doña María. ....  | 58 |
| <b>Figura 3</b> Invernadero ubicado en finca La Pavilla. ....  | 58 |
| <b>Figura 4</b> Mapa de invernadero y tanque ubicado en Finca Orgánicos Doña María. ....                                       | 59 |
| <b>Figura 5</b> Mapa de invernadero y tanque ubicado en Finca La Pavilla. ....   | 60 |
| <b>Figura 6</b> Mapa de curvas de nivel y líneas de flujo en invernadero de finca Orgánicos Doña María. ....                   | 61 |
| <b>Figura 7</b> Mapa de líneas de flujo en invernadero de finca La Pavilla. ....   | 62 |
| <b>Figura 8</b> Comportamiento de la lluvia de diseño mínima y máxima mensual para un período de retorno (Tr) de 15 años. .... | 65 |
| <b>Figura 9</b> Evapotranspiración potencial por mes de la estación de Pacayas, dada por el software Cropwat .....             | 70 |

## ÍNDICE DE CUADROS

|  |    |
|--|----|
| <b>Cuadro 5.3.1</b> Valores de precipitación de diseño mínima para cada mes y período de retorno.....                            | 61 |
| <b>Cuadro 5.3.2</b> Valores de precipitación de diseño máxima para cada mes y período de retorno.....                            | 61 |
| <b>Cuadro 5.4.1</b> Valores de precipitación neta mínima para cada mes y período de retorno.....                                 | 64 |
| <b>Cuadro 5.4.2</b> Volúmenes mensuales a captar en finca Orgánicos Doña María.....  | 65 |
| <b>Cuadro 5.4.3</b> Volúmenes mensuales a captar en Finca La Pavilla .....   | 65 |
| <b>Cuadro 5.5.1</b> Determinación de textura de suelo en los invernaderos. ....  | 66 |
| <b>Cuadro 5.7.1</b> Evapotranspiración real para cada cultivo. ....  | 69 |
| <b>Cuadro 5.8.1</b> Láminas netas (mm) para cada cultivo y finca .....   | 70 |
| <b>Cuadro 5.8.2</b> Parámetros agronómicos de los cultivos para Finca Orgánicos Doña María .....                                 | 71 |
| <b>Cuadro 5.8.3</b> Parámetros agronómicos de los cultivos para Finca La Pavilla .....   | 71 |
| <b>Cuadro 5.9.1</b> Distribución de camas en el invernadero para cada cultivo .....  | 73 |
| <b>Cuadro 5.9.2</b> Parámetros correspondientes a la tubería de los laterales .....  | 73 |
| <b>Cuadro 5.9.3</b> Parámetros correspondientes a la tubería de la múltiple .....  | 74 |
| <b>Cuadro 5.9.4</b> Valores correspondientes a la tubería principal .....  | 75 |
| <b>Cuadro 5.9.5</b> Parámetros del comportamiento del flujo en las tuberías .....  | 76 |
| <b>Cuadro 5.9.6</b> Parámetros correspondientes a la tubería de los laterales .....  | 77 |
| <b>Cuadro 5.9.7</b> Parámetros correspondientes a la tubería de la múltiple .....  | 78 |
| <b>Cuadro 5.9.8</b> Valores correspondientes a la tubería principal .....  | 78 |
| <b>Cuadro 5.10.1</b> Materiales requeridos para el sistema de finca Orgánicos Doña María ....                                    | 79 |
| <b>Cuadro 5.10.2</b> Materiales requeridos para el sistema de finca La Pavilla .....   | 80 |
| <b>Cuadro 5.11.1</b> Operación semanal del sistema para finca Orgánicos Doña María .....   | 80 |
| <b>Cuadro 5.11.2</b> Operación semanal del sistema para finca La Pavilla .....   | 81 |
| <b>Cuadro 6.1</b> Gastos y costos del sistema de riego por goteo para finca Orgánicos Doña María.....                            | 84 |
| <b>Cuadro 6.2</b> Flujo de caja bajo un escenario pesimista del proyecto en finca Orgánicos Doña María .....                     | 85 |
| <b>Cuadro 6.3</b> Comportamiento del VAN y TIR bajo los diferentes escenarios del proyecto para finca Orgánicos Doña María ..... | 86 |
| <b>Cuadro 6.4</b> Gastos y costos del sistema de riego por goteo para finca La Pavilla. ....                                     | 87 |
| <b>Cuadro 6.5</b> Flujo de caja bajo un escenario pesimista del proyecto para finca La Pavilla .....                             | 88 |
| <b>Cuadro 6.6</b> Comportamiento del VAN y TIR bajo los diferentes escenarios del proyecto para finca La Pavilla.....            | 89 |



## **RESUMEN**

El proyecto fue orientado al diseño de un sistema de riego por goteo en ambientes protegidos para cultivo de hortalizas en Pacayas y Cipreses, Cartago; se llevó a cabo durante los meses de julio a octubre, 2019, donde se realizó el estudio hidrológico para la captación de agua de lluvia y aplicarla al uso de riego, en conjunto con el diseño de un sistema principal de conducción de agua e irrigación en cultivos de hortalizas, mediante herramientas computacionales como QGis y CivilCAD, se realizó un análisis de la información recopilada como el área de los terrenos a aplicar riego, los puntos donde se ubicarían los tanques para captar el agua de lluvia y las muestras de suelo para analizarlas en laboratorio, y de este modo mediante pruebas físicas determinar las características del suelo como textura, capacidad de campo, punto de marchitez permanente y peso específico aparente, se localizó la estación meteorológica más cercana para analizar la precipitación, en este caso la de Pacayas. Teniendo la información necesaria se planteó la propuesta de diseño de todo el sistema de riego, y posteriormente se realizó un análisis complejo del mismo a nivel ambiental, sociocultural, económico y técnico.

## **PALABRAS CLAVE**

Caudal, goteo, precipitación, riego, presión de operación.

## **ABSTRACT**

The project was oriented to the design of a drip irrigation system in protected environments for vegetable cultivation, in Pacayas and Cipreses, Cartago was carried out during the months of July to October, 2019, where the hydrological study was carried out to capture rainwater and apply it to the use of irrigation, together with the design of a main system for conducting water and irrigation in vegetable crops, using computational tools such as QGis and CivilCAD, an exhaustive analysis of the information collected as the area was carried out of the land to be irrigated, the points where the tanks would be located to capture rainwater and soil samples for analysis in the laboratory, and thus through physical tests determine the characteristics of the soil such as texture, field capacity, point of permanent wilting and apparent specific weight, the nearest weather station was located to analyze the precipitation, In this case, Pacayas. Having the necessary information, the design proposal of the entire irrigation system was raised, and subsequently a complex analysis was carried out at the environmental, socio-cultural, economic and technical level.

## **KEYWORDS**

Flow, drip, precipitation, irrigation, operating pressure.

# **1. INTRODUCCIÓN**

Actualmente la situación que se presenta en cuanto a escasas y demanda de agua es alarmante, pues dicho recurso es indispensable en la vida cotidiana de las personas, independientemente del uso que se le otorgue; sin embargo en este apartado se hará énfasis al uso doméstico, ya que se pretende llevar a cabo el diseño de un sistema de riego bajo ambientes protegidos en zonas pertenecientes al cantón de Alvarado, utilizando cosecha de agua de lluvia, para lo cual es de suma importancia conocer la influencia de precipitación que se presenta en dicha zona con la finalidad de determinar el abastecimiento que se puede sustentar por medio del agua llovida.

Según estudios realizados por el Plan Regulador Territorial del cantón de Alvarado perteneciente al proyecto PRUGAM actualizado en el 2013-2014, establece que el cantón de Alvarado pertenece al régimen de precipitación del Caribe que se manifiesta con presencia de mayor nubosidad a lo largo del año, frecuencia de lloviznas, afectación por temporales que son condiciones típicas del Caribe. Además, el clima del Cantón de Alvarado se clasifica como clima húmedo templado, con déficit pequeño de agua.

Cabe mencionar que el proyecto se encuentra bajo la directriz del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), Agencia de Pacayas, y se llevará a cabo en dos fincas, una perteneciente a la señora Martha Guillén Solano, Finca Orgánicos Doña María, ubicada en Barrio Los Ángeles, Pacayas; en dicha finca se da la producción de ganadería porcina y de hortalizas bajo ambientes protegidos con un sistema de agricultura orgánica certificado por Eco-LOGICA; este presenta un área de aproximadamente 550 m<sup>2</sup>. Se pretende captar agua de lluvia de los techos de casas para cosechar agua mediante un tanque de 6000 litros de capacidad, el cual se implementará hacia arriba del terreno; procurando que el sistema funcione por gravedad; pues una de las cualidades que se muestra en este sitio es una pendiente pronunciada, siendo a la vez la mayor problemática por cuestiones de sobrepresiones en las tuberías, así como una distribución de agua poco uniforme. La otra corresponde a finca La Pavilla, ubicada en Cipreses, aquí se da la producción de ganado de leche y de hortalizas, mediante agricultura orgánica en un invernadero de aproximadamente 150m<sup>2</sup>. Por lo que se requiere implementar un sistema de riego por goteo utilizando cosecha de agua de lluvia captada mediante el techo de bodegas, para ser almacenada

en un tanque de aproximadamente 6000 litros que se encuentra hacia arriba del invernadero. Anteriormente se ha utilizado riego por microaspersión, sin embargo, se desea localizar más la aplicación del agua sobre el cultivo procurando potencializar su rendimiento; cabe mencionar que el suelo presenta una topografía plana y el ambiente protegido fue construido recientemente.

Con base en lo que se presenta, cabe resaltar que el diseño se pretende llevar a cabo con la finalidad de superar o al menos de disminuir las limitantes expuestas, de tal modo que el sistema funcione de la manera más eficiente posible, esto refiriéndose a los aspectos económicos, técnicos y sobre todo productivos; brindándole al (os) cultivos la lámina requerida, para contribuir en cierta parte con un óptimo desarrollo de este (os).

De acuerdo con lo mencionado, más adelante se mostrará un análisis y desarrollo a fondo acerca de los aspectos, métodos y procesos tomados en consideración para realizar el diseño del sistema de riego, así como los resultados obtenidos y lo que conlleva durante el auge de todo el proyecto, para alcanzar los objetivos planteados.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. OBJETIVO GENERAL**

Diseñar una red de distribución principal y sistema de riego por goteo que proporcione una óptima aplicación de agua para el cultivo de hortalizas mediante el estudio de factores hidrológicos, agronómicos e hidráulicos, en Pacayas y Cipreses, Cartago.

## **2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Determinar por medio de un análisis hidrológico la cantidad de agua llovida que se puede captar con cosecha de agua, aprovechable para uso de riego, con una probabilidad de cumplimiento no menor al 80%.
- Valorar opciones de diseño del sistema de riego mediante la medición y cálculo de parámetros agronómicos e hidráulicos presentes en los terrenos de estudio.
- Analizar la viabilidad del proyecto a nivel ambiental, sociocultural, y económico, mediante la evaluación de estos, categorizando cada propuesta de diseño.

### **3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

El clima de Alvarado se caracteriza por ser fresco durante todo el año. En general las temperaturas son bastante frías. La temperatura promedio es de 14.1 °C; la máxima se registra en el mes de junio con 16,2 °C y la mínima en el mes de enero con 12.4 °C. (Datos de la Estación de Tierra Blanca). En Pacayas la temperatura promedio es 16.7 °C; la máxima se registra en los meses de junio y setiembre con 17.3 °C y la mínima en el mes de enero con 15.9 °C. (Datos de la Estación de Pacayas) (INDER, 2017).

El promedio anual de precipitación es de 177,28 mm, siendo los meses de enero y febrero los más secos con 18.6 y 35.6 mm, respectivamente. Los meses de octubre y setiembre son los más lluviosos con 301,6 y 249 mm, respectivamente. (Datos de la Estación de Chicué).

Mientras que en la Estación de Pacayas el promedio anual de precipitación es de 227,76 mm, siendo marzo el más seco con 66.2 mm y octubre el más lluvioso con 275.1 mm (INDER, 2017).

### **3.1. Precipitación de diseño**

Para conocer la precipitación de diseño se requiere obtener información de precipitaciones diarias de una determinada estación, se calcula las precipitaciones máximas y mínimas de cada año; donde los datos deben ser ordenados de mayor a menor para las precipitaciones máximas y de menor a mayor para las mínimas y de este modo determinar para cada una de ellas su periodo de retorno utilizando la fórmula de Weibull. Estos parámetros permiten conocer la escurrentía en una determinada área. (Villalobos, 2005).

La Lluvia de Diseño es el evento hipotético pluvial más intenso, estadísticamente previsible, para una duración dada y una recurrencia asignada que, al alimentar un modelo lluvia-escurrentía permite evaluar la Creciente de Proyecto, elemento con el que se diseñan tanto las medidas estructurales (obras) como las no estructurales (planificación territorial) (INA-CIRSA, s.f).

### **3.2. Cosecha de agua de lluvia**

Según la FAO, 2013: La cantidad de agua disponible en una determinada región depende básicamente del régimen de precipitación incidente. La precipitación es la primera fuente que el agricultor debe contabilizar como agua disponible en su finca. La precipitación tiene duración (tiempo total de precipitación), intensidad (volumen de precipitación por unidad de tiempo) y frecuencia (el número de precipitaciones en un tiempo dado y con determinadas características).

Como técnica de captación y aprovechamiento de agua de lluvia se entiende la práctica (obra o procedimiento técnico) capaz de, individualmente o combinadas con otras, aumentar la disponibilidad de agua en la finca, para uso doméstico, animal o vegetal. Por lo general, son técnicas mejoradas de manejo de suelos y agua, de manejo de cultivos y animales, así como la construcción y manejo de obras hidráulicas que permiten captar, derivar, conducir, almacenar y/o distribuir el agua de lluvia.

Según Brito et al, 2007: “La captación de agua de lluvia proveniente de techos de viviendas, establos, galpones, invernaderos y otras construcciones que existen en una finca debe destinarse prioritariamente al consumo humano y utilización doméstica, por sus buenas características de calidad, normalmente mejor que el agua captada en otras estructuras”.

“Los techos, por su condición impermeable, producen un volumen de escorrentía cercano al volumen de lluvia. El hecho de que estén en posición elevada e inclinada facilita la captación y almacenamiento del agua. Canaletas colocadas en la parte inferior del plano inclinado recogen la escorrentía del techo y, por una tubería, la conducen hacia la estructura de almacenamiento, generalmente estanques o cisternas, de donde el agua es retirada para su utilización” (FAO, 2013).

### **3.3. Parámetros del suelo**

#### **3.3.1. Peso específico**

Se refiere al peso seco del suelo por unidad de volumen de suelo inalterado, como se encuentra en su emplazamiento natural, incluyendo el espacio poroso.

Según Andrade, Guncay, Ibarra (2013), los factores que afectan el peso específico son:

#### **3.3.2. Estructura:**

La granulación en los suelos tiende a aumentar el espacio poroso y por tanto disminuye el peso específico. Si las condiciones estructurales son malas en los suelos, se facilitan las condiciones de compactación de los horizontes, con la consecuente reducción del espacio poroso.

#### **3.3.3. Textura:**

Es una de las propiedades que afectan directamente al peso específico, y está estrechamente relacionada a ella.

#### **3.3.4. Materia orgánica:**

Influye al facilitar y elevar la granulación de los suelos, aumentando la porosidad y disminuyendo el peso específico.

Los valores bajos de peso específico son propios de suelos porosos, bien aireados, con buen drenaje y buena penetración de raíces, lo que permite un buen desarrollo de las raíces. Mientras

los valores altos de peso específico son propios de suelos compactos y poco porosos, con aireación deficiente e infiltración lenta del agua, lo cual puede provocar anegamiento, anoxia y dificultad de alongamiento y penetración de las raíces para alcanzar el agua y nutrientes necesarios.

### **3.3.5. Capacidad de campo (CC):**

Se define como a máxima capacidad de retención en condiciones de libre drenaje, luego de haber desaparecido el escurrimiento o empozamiento superficial del agua. La CC se alcanza, según el tipo de suelo, entre 24 y 72 horas (1-3 días); es decir, 1 día para suelos livianos, y 2 y hasta 3 días para suelos pesados. La capacidad de campo es un dato que se obtiene en el campo, mediante determinaciones periódicas del contenido de humedad del suelo, hasta que la variación del mismo respecto del tiempo sea prácticamente despreciable. Por lo cual cabe destacar que representa el contenido de agua de un suelo, después que ha sido mojado abundantemente y se ha dejado drenar libremente, evitando las pérdidas por evapotranspiración. Corresponde aproximadamente al contenido de agua del suelo a una tensión o potencial mátrico del agua de  $-0,33$  bares. Normalmente este contenido de agua se toma alrededor de 24 a 48 horas después de un riego o lluvia abundante (Silva et al,2015).

### **3.3.6. Punto de marchitez permanente (PMP):**

Es el contenido de agua de un suelo al cual la planta se marchita y ya no recobra su turgencia al colocarla en una atmósfera saturada durante 12 horas. Por convención corresponde al contenido de agua a una tensión o potencial mátrico de  $-15$  bares (Silva et al,2015).

Según afirma Silva et al (2015), el CC y PMP varía según el tipo de suelo (ver anexo 4), los suelos arenosos, que poseen un mayor porcentaje de poros de mayor diámetro, drenan más

rápido que los suelos arcillosos, que tienen un mayor porcentaje de poros de menor diámetro equivalente.

### **3.4. Características del cultivo**

Las características propias del cultivo dependen en gran parte del consumo de agua del mismo. Según afirma López (2016), los factores que caben resaltar son:

#### **3.4.1. Estado fenológico del cultivo:**

El período de crecimiento y desarrollo del cultivo se representa por el coeficiente de cultivo (Kc), el cual engloba la evolución del área foliar y fracción de cubrimiento del suelo por el follaje en el tiempo. Fundamentalmente, el Kc depende del ciclo fenológico del cultivo, de la localidad, de la variedad y régimen de riego previo. En este contexto, los cultivos consumen más agua cuando el crecimiento del follaje es máximo, y consumen menos a comienzos (siembra y germinación) y finales del período vegetativo (maduración y senescencia) cuando el área foliar es más baja.

#### **3.4.2. Profundidad radicular:**

Con este componente se establece la cantidad de agua que las raíces del cultivo pueden extraer desde el perfil del suelo. Como regla general aproximada, se puede asumir que los cultivos extraen alrededor del 40% del agua desde el primer cuarto de raíces, el 30% del segundo cuarto, el 20% del tercer cuarto y el 10% del último cuarto. Si el suelo no es tan profundo, menor es el volumen de suelo que las raíces pueden explorar y disminuye también el patrón de extracción del agua. Por esta razón, es más recomendable usar el concepto de “profundidad de

raíces efectivas”, es decir, la profundidad en donde se encuentran las raíces que están más activas (raicillas) para absorber el agua desde suelo (cerca de un 70% de la profundidad total de raíces).

### **3.5. Evapotranspiración**

Según Valverde 2011, como primer paso en la determinación de las necesidades de agua por el cultivo, se debe medir su tasa de evapotranspiración. Para ello se requiere calcular dos elementos: la evapotranspiración de referencia ( $E_{to}$ ) y el coeficiente de cultivo ( $K_c$ ).

#### **3.5.1. Evapotranspiración de referencia ( $E_{to}$ ):**

Se refiere a la tasa de evapotranspiración de una superficie de referencia, sin restricciones de agua, que corresponde a un cultivo con características específicas, en donde los únicos factores que afectan son los parámetros climáticos, por lo que puede ser calculado a partir de datos meteorológicos.

#### **3.5.2. Coeficiente de cultivo ( $K_c$ ):**

Describe las variaciones de la cantidad de agua que las plantas extraen del suelo a medida que se van desarrollando, desde la siembra hasta la cosecha (Valverde, 2011).

Esmeral (2011), afirma que, en condiciones bajo invernadero, la evaporación es baja como consecuencia de la alta proporción de suelo cubierto por el cultivo, por lo general se desprecia y se habla de sólo de transpiración en vez de ET.

Según estudios realizados por Butrón (2017), sobre evapotranspiración bajo ambientes protegidos en el centro experimental Cota Cota, Bolivia, se obtuvo que los valores calculados,

demonstraron que la demanda evaporativa de la atmósfera dentro de un invernadero es reducida, lo cual apoya el uso eficiente del agua dentro de dichos ambientes, ya que su productividad es elevada.

### **3.6. Generalidades de riego por goteo**

Según Mahecha (2017), un sistema de riego por goteo se caracteriza por la aplicación de pequeñas emisiones de agua por medio de unos emisores o goteros que se conectan a una tubería o manguera, Su aplicación no requiere de mucha mano de obra, ya que es de fácil manejo, su instalación se conoce como riegos fijos.

Por otra parte, los componentes del riego por goteo son los siguientes:

#### **3.6.1. Cabezal de riego:**

Es la estación de control desde aquí se regula las emisiones de toda la red de tuberías.

#### **3.6.2. Red de tuberías:**

Son las ramas del sistema, en ella se transporta el agua, pueden ser primarias secundarias o terciarias, también se le conoce como porta regantes.

### **3.6.3. Emisores de riego:**

Son las boquillas o cintas de goteo, estas permiten emitir alrededor de 2 litros de agua por hora.

### **3.6.4. Filtradores:**

Son los encargados de que los emisores no se tapen con elementos como materiales orgánicos, algas etc. Se componen de arena o grava para limpiar, se recomienda cambiar la arena ya que se acumula demasiados elementos.

De acuerdo con Galdiano (2016), cabe mencionar que este tipo de riego, incluyendo el tamaño y forma del bulbo húmedo variará dependiendo de los siguientes factores:

- a. El tipo de emisor: pues con base a este así variará el caudal, y a mayor caudal el bulbo se extenderá más en forma horizontal.
- b. Características del suelo: En un suelo arenoso el bulbo tendrá forma alargada, mientras que en suelos arcillosos será más achatado, por la velocidad de infiltración que ambos presentan.
- c. Tiempo de duración del riego: No es recomendable un tiempo excesivo de riego porque llegará un momento que el agua que se aporte se perderá por percolación.
- d. Tipo de cultivo: según la especie y marco del cultivo el porcentaje que ocupa el bulbo se comportará diferente, por ejemplo, en cultivos de marco amplio es de 25% a 35% (mango, aguate, naranjo, limonero, etc), en cultivos de marco medio es de 40% a 60% (maracuyá, granadilla) y en cultivos de marco estrecho es de 30% a 70% (hortalizas como tomate, repollo, pimiento, etc).

Galdiano (2016), aclara que en suelos de tipo areno-francoso y franco-arenoso la capacidad de almacenaje que posee es pequeña, ya que es muy poroso y permeable, por lo que se deberán realizar riegos cortos y frecuentes.

Según Villalobos (2018), en el riego por goteo no se humedece el 100% del área; sino que un pequeño porcentaje. Se ha comprobado que regando el 50% de área del potencial de las raíces se han obtenido excelentes resultados. En cultivos con espaciamiento corto la mayor parte del volumen de suelo puede ser humedecido. En cultivos donde el riego se usa complemento se podrían aceptar valores de PAR de hasta un 20%. Para un gotero el PAR debe oscilar entre un 30 y un 70%.

### **3.7. Análisis social**

Lo que respecta al análisis social Vanclay (2003), citado por López (2018), menciona que un impacto social se denomina como consecuencias de actos o circunstancias de diferente naturaleza que repercutan en la población humana, variando su forma de vida, comportamiento con las personas que les rodea a nivel social, creación y destrucción de empleo, sistemas políticos, revoluciones sociales, derechos y libertades, salud.

Mientras que Liberta (2007), señala que un impacto social se refiere al cambio efectuado en la sociedad. Además, es la consecuencia de los efectos de un proyecto, y se refieren a las consecuencias planeadas o no previstas de un determinado proyecto.

Pacayas se caracteriza por tener una densidad de nivel medio y organizado. En las zonas centrales se concentran los usos institucionales, comerciales y de servicios. Los cuales han ido desplazando hacia la periferia de la cuadrícula a los usos residenciales, con un carácter mixto con tendencia hacia lo comercial.

La zona comercial se distribuye por la cuadrícula de Pacayas, pero especialmente en la confluencia de la calle 6 y la avenida 3. Se trata de una zona donde la vía es ancha (más que las demás calles de la cuadrícula) ocupado todo 71 por comercios (supermercado, tiendas de ropa, etc.) y servicios (bancos) y en esta se encuentra la parada principal de buses. El abastecimiento de servicios y comercios es muy completo pues cuenta con el Banco Nacional, el EBAIS, clínica privada, escuela y colegio, supermercado (Megasuper).

El estado de la infraestructura de la cuadrícula es relativamente bueno, se cuenta con tendido eléctrico, calles pavimentadas, sistema de evacuación de aguas pluviales, pero sin evacuación de aguas negras.

El cantón de Alvarado, al tratarse de un cantón rural de base económica agrícola, posee una población con niveles de formación inferiores a los del conjunto de la GAM. Así, la población con estudios superiores, tanto universitarios como para-universitarios, llega al 7,70%. La tasa de analfabetismo es por otro lado bastante más alta en el cantón que para el promedio de la GAM (Municipalidad de Alvarado, 2009).

### **3.8. Análisis económico**

Al efectuar un proyecto de ingeniería se debe considerar la localización, ya que este asegura una mejor inversión, dentro de los factores influyen en la decisión de la localización de un proyecto son:

- a. Cercanía de las fuentes de abastecimiento
- b. Factores ambientales
- c. Costo y disponibilidad de terrenos.
- d. Disponibilidad de agua.

### **3.8.1. Estudio económico financiero**

Cuyo propósito es demostrar que existen recursos suficientes para llevar a cabo el proyecto, además el capital invertido deberá ser menor al rendimiento que se obtendrá.

### **3.8.2. Estados financieros del proyecto**

Según Baca (1996), son documentos contables que se desarrollan con el fin de informar la posición de la financiera de una entidad, es una acción oportuna y eficaz. Al efectuar una evaluación del proyecto es necesario concentrarse en los estados financieros contemplando los siguientes parámetros:

### **3.8.3. Estado de inversión inicial del proyecto**

Contempla la totalidad de entradas y salidas que se efectuaran para determinar los costos y gastos iniciales en el momento cero.

### **3.8.4. Estado de Resultado del proyecto**

Esta sección se encarga de mostrar en forma detallada los ingresos y egreso durante la vida económica del proyecto.

### **3.8.5. Balance General del proyecto**

Permite establecer las condiciones y evaluar la situación financiera.

### **3.8.6. Flujo de efectivo del proyecto**

Este parámetro muestra en forma detallada y organizada las operaciones de entrada y salida.

### **3.8.7. Evaluación Financiera**

Tiene como fin conocer la rentabilidad económica y social que permita asegurar resolver necesidades de manera segura, rentable y eficiente (Baca, 1996). Para realizar una evaluación económica de un proyecto se debe emplear criterios de evaluación financieras, como el Valor Actual Neto (VAN) y Tasa Interna de Retorno o Tasa Interna de Rendimiento (TIR) que permiten evaluar la rentabilidad del proyecto.

El valor actual neto es un indicador que admite conocer el valor del dinero presente, el cual recibirá el proyecto a futuro a una tasa de interés en un periodo determinado a objetivo de comparar este valor con la inversa inicial según Hamilton (2005). En relación con el resultado del valor actual neto, el evaluador adopta una decisión de aceptar o rechazar el proyecto, tal como muestra a continuación:

- Si  $VAN = 0$ , Los ingresos y egresos del proyecto son iguales, representa que no existe ganancia ni pérdida, es decir, es indiferente
- Si  $VAN < 0$ , Los ingresos son menores a los egresos generando un pendiente de pago y el proyecto debe rechazarse.
- Si  $VAN > 0$ , Establece que los flujos de efectivo cubrirán los gastos, la inversión y quedará un excedente. El proyecto de inversión será ejecutado.

Mientras que según Hamilton (2005), señala que la tasa de retorno “Es aquella tasa de actualización máxima que reduce a cero el valor actual neto (VAN) del proyecto” y que a través

de esta el inversionista puede identificar cuando no debe contraer obligaciones a tasa de mayor interés a ella, permitiéndole evitarse un futuro fracaso económico. Cabe mencionar que cualquier tasa mayor a la tasa de retorno genera un VAN negativo dando como efecto pérdidas.

La tasa de retorno también cuenta con una serie de criterios de inversión:

- Si  $TIR =$  Tasa de actualización, se genera una rentabilidad igual a cero, es decir, es indiferente.
- Si  $TIR <$  Tasa de actualización, en este escenario la rentabilidad del proyecto es inferior al costo de inversión, se rechaza el proyecto.
- Si  $TIR >$  Tasa de actualización, el proyecto presenta una rentabilidad mayor al costo, por lo que se puede ejecutar.

Mientras que el periodo de recuperación establece el tiempo que se necesita, para que el proyecto genere los recursos suficientes para recuperar la inversión. (Baca, 1996).

### **3.9. Análisis ambiental**

Se genera un impacto ambiental cuando una actividad produce una alteración, favorable o desfavorable, en el medio o en alguno de los componentes medio. Esta acción puede ser un proyecto de ingeniería, un programa, un plan, una ley o una disposición administrativa con implicaciones ambientales. (Ruberto, 2006). Cabe recalcar que el término impacto no implica negatividad, ya que éstos pueden ser tanto positivos como negativos. El estudio de impacto ambiental consta de las siguientes partes:

### **3.9.1. La caracterización del proyecto**

Realizando la EIA (Evaluación de Impacto Ambiental) para conocer en detalle las características generales y particulares de las acciones propuestas.

### **3.9.2. La caracterización del ambiente**

Es el segundo elemento de las EIA (Evaluación de Impacto Ambiental) y es fundamental para el análisis de los impactos ambientales que resultan del proyecto, al presentar en detalle las características y condiciones ambientales que mejor representan dichas afectaciones.

### **3.9.3. Evaluación de impactos ambientales**

Es donde se reconocen los principales impactos ambientales que puede generar el proyecto sobre el ambiente donde se insertará.

### **3.9.4. El plan de manejo**

Conjunto de obras o actividades que se formulan e implementan para atender los impactos ambientales. Corresponde a un ejercicio teórico, prospectivo y básicamente de trabajo de oficina o gabinete, con la implementación o construcción del proyecto (Arboleda,2008).

## **4. METODOLOGÍA**

#### **4.1. Inspección de campo**

Inicialmente, se realizó una visita al campo con la finalidad de obtener la ubicación exacta del lugar de estudio, así como visualizar las condiciones actuales tanto dentro como a los alrededores de los invernaderos haciendo uso del GPS para tener georreferenciados los sitios de trabajo. Una vez finalizada la visita al área de estudio, se descargaron los datos del GPS, y se transformaron a coordenadas CRTM05 para modelarlos con el software Quantum QGIS 2.18.11.

#### **4.2. Análisis topográfico**

##### **Recursos utilizados**

- a. Trípode y estación total.
- b. Estacas y clavos.
- c. Mazo.
- d. Prisma.
- e. GPS.
- f. Libreta de campo.

Para el levantamiento topográfico se tomó inicialmente las coordenadas del área a trabajar mediante la estación total, y por medio del GPS se tomaron ciertos puntos para georreferenciar la zona, y los posibles sitios donde se ubicarán los tanques de almacenamiento de agua de lluvia. Dichos datos se transcribieron en un archivo de Excel (.csv) y se importaron al software. Con base en los puntos cargados se creó una capa poligonal del área total de los invernaderos para el trazo de las curvas de nivel (cada metro), mediante las herramientas del programa Civil CAD. Una vez establecidas las curvas de nivel y lindero del terreno, se realizó el mapa de líneas de

flujo, el cual permitió identificar el sentido de movimiento del agua en el terreno, así como también datos de pendiente y área.

### 4.3. Cálculo de la precipitación de diseño

#### Recursos utilizados:

- a. Datos de estación meteorológica (Pacayas)
- b. Excel

Con el rango de años de trabajo previamente establecido, se procedió a ordenar los datos para su debido tratamiento.

Para cada año de registro se obtuvieron los datos de precipitación mínima (para garantizar una determinada cantidad de agua aprovechable para la aplicación de riego), así como la máxima y de este modo establecerla por rangos para cada mes y diferentes períodos de retorno (Tr). Seguidamente se calculó la precipitación de diseño mínima para cada mes por medio de la siguiente ecuación:

$$P_{mín} = \bar{P} - KS \dots \dots \dots \text{Ecuación (1)}$$

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

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

$$K = \frac{Y_t - Y_n}{S} \dots \dots \dots \text{Ecuación (2)}$$

Donde:

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

$Y_t$ : Es una variable reducida, la cual es función del período de retorno y del tamaño de la muestra (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 los Anexos 1 y 2.

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

$$P_{m\acute{a}x} = \bar{P} + KS \dots \dots \dots \text{Ecuación (3)}$$

Donde:

$P_{m\acute{a}x}$ : 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

Para evaluar el cumplimiento del rango de precipitación (mín-máx), es decir la probabilidad de no excedencia se utilizó la siguiente ecuación:

$$(P(T))^t = \left(1 - \frac{1}{T}\right)^t \dots \dots \dots \text{Ecuación (4)}$$

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 (años).

Cabe mencionar que la vida útil está de acuerdo al sistema de riego utilizado y el período de retorno se estableció tomando en cuenta que la probabilidad de excedencia no fuera menor al 80%.

#### **4.4. Cosecha de agua de lluvia**

Una vez conocida la precipitación de diseño se procedió a calcular la precipitación neta para cada mes, la cual depende de la eficiencia de captación y coeficiente de escurrimiento (ver Anexo 3), haciendo uso de la siguiente ecuación:

$$PN = P_{\text{diseño}} \times Ce \dots \dots \dots \text{Ecuación (5)}$$

Donde:

PN: Es la precipitación neta (mm)

$P_{\text{diseño}}$ : Precipitación de diseño (mm)

Ce: Coeficiente de escurrimiento

De acuerdo con la precipitación neta y el área de los techos se calculó el volumen de agua que se puede captar mensualmente, con base en la siguiente ecuación:

$$V = A \times PN \dots \dots \dots \text{Ecuación (6)}$$

Donde:

V: Es el volumen de lluvia captado ( $m^3$ )

A: Es el área del techo donde se capta la lluvia ( $m^2$ )

PN: Es la precipitación neta mensual (m)

#### **4.5. Determinación de textura de suelo**

##### **Recursos utilizados**

- Tamiz de 2 mm.
- Balanza digital.
- Suelo seco del lugar de estudio.
- Probeta de 100 ml.
- Beaker de 250 ml.
- Batidora eléctrica.
- Probeta de 1250 ml.
- Piseta.
- Agitadores de vidrio.
- Hidrómetro.
- Termómetro.

Inicialmente se recolectó dos porciones de suelo de cada terreno en análisis. Se realizó la prueba de Bouyoucos en el laboratorio de la Escuela de ingeniería Agrícola, se pasó el suelo por un tamiz de 2 mm, se pesó 40 g de suelo tamizado, en beaker de 200 ml, se mezclaron los 40 gramos de suelo con 10 ml de hexametáfosfato de sodio y 250 ml de agua destilada, posteriormente dicha mezcla se colocó en un recipiente de aluminio, para ser llevada a la batidora electrónica por 15 minutos. Posteriormente esa mezcla fue trasladada a la probeta de 1250 ml, para trasvasar los sedimentos que quedan en el fondo del vaso, se vertió agua destilada

con la piseta y se llevó hasta la medida de 1000 ml. Se introdujo el hidrómetro y se llevó hasta una medida de 1130 ml, llenándola con la piseta. Seguidamente se agitó la mezcla de la probeta con el agitador, y se dejó en reposo por 40 segundos.

Después del lapso de 40 segundos se introdujo el hidrómetro, se estabilizó, luego se anotó la lectura, igualmente se midió la temperatura, introduciendo un termómetro. Al cabo de 2 horas se realizó los puntos mencionados anteriormente. Además, se corrigió las lecturas del hidrómetro, ya que este se encontraba calibrado para 19,4°C, aplicando las siguientes relaciones:

- Se añade 0,36 unidades a la lectura por cada grado superior a los 19,4 °C.
- Se le resta 0,36 unidades a la lectura por cada grado inferior a los 19,4 °C.

Con las lecturas del hidrómetro corregidas, se calculan los valores para la cantidad de partículas en la muestra mediante las Ecuaciones (7,8,9,10).

$$\text{Material en suspensión} = \frac{\text{lectura del hidrómetro } 40s}{\text{peso muestra}} \times 100 \dots \dots \dots \text{Ecuación (7)}$$

$$\text{Arena} = 100 - \% \text{material en suspensión} \dots \dots \dots \text{Ecuación (8)}$$

$$\text{Arcilla} = \frac{\text{lectura del hidrómetro } 2h}{\text{peso muestra}} \times 100 \dots \dots \dots \text{Ecuación (9)}$$

$$\text{Limo} = 100 - (\% \text{ arena} \% \text{ arcilla}) \dots \dots \dots \text{Ecuación (10)}$$

Los porcentajes obtenidos se ubicaron en el triángulo de textura (Anexo 4), para determinar el tipo de textura para cinco muestras correspondientes a cada parcela.

#### **4.6. Cálculo de peso específico aparente del suelo**

Se tomaron muestras indisturbadas en el campo con cilindros metálicos, posteriormente en el laboratorio de la Escuela de ingeniería Agrícola se dejaron secar las muestras en el horno durante 24 horas a 105°C, se midió el peso de suelo seco y se midió el volumen del cilindro.

El peso específico aparente se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$\rho_{ap} = \frac{P_{ss}}{Vol_{cil}} \dots \dots \dots \text{Ecuación (11)}$$

Donde:

$\rho_{ap}$ : Peso específico aparente.

Pss: Peso suelo seco (g)

Vol<sub>cil</sub>: Volumen del cilindro (cm<sup>3</sup>)

#### 4.7. Cálculo de capacidad de campo (CC)

Se tomaron muestras indisturbadas en el campo con cilindros muestradores (anillos), posteriormente en el laboratorio de la Escuela de ingeniería Agrícola se dejaron saturando con agua en el recipiente plástico durante dos días. Se colocaron los respectivos cilindros en las ollas de presión (Cámara de Richard) a 0,33 atmósferas, aproximadamente durante una semana hasta que la olla dejara de expulsar gotas de agua por la manguera de salida. Se pesó el suelo húmedo y seguidamente se colocaron las muestras en el horno durante 24 horas a 105°C para secarlas. Se pesó el suelo seco y se calculó el valor de CC con la siguiente ecuación:

$$CC = \frac{P_{sh} - P_{ss}}{P_{ss}} \times 100 \dots \dots \dots \text{Ecuación (12)}$$

Donde:

CC: Capacidad de campo (%)

Psh: Peso suelo húmedo (g)

Pss: Peso suelo seco (g)

#### 4.8. Cálculo de punto de marchitez permanente (PMP)

Se tomaron muestras indisturbadas en el campo con cilindros muestradores (anillos), posteriormente en el laboratorio de la Escuela de ingeniería Agrícola se dejaron saturando con agua en el recipiente plástico durante dos días. Se colocaron los respectivos cilindros en las ollas de presión (Cámara de Richard) a 15,71 atmósferas, aproximadamente durante una semana hasta que la olla dejara de expulsar gotas de agua por la manguera de salida. Se pesó el suelo húmedo y seguidamente se colocaron las muestras en el horno durante 24 horas a 105°C para secarlas. Se pesó el suelo seco y se calculó el valor de CC con la siguiente ecuación:

$$PMP = \frac{Psh - Pss}{Pss} \times 100 \dots \dots \dots \text{Ecuación (13)}$$

Donde:

PMP: Punto de marchitez permanente (%)

Psh: Peso suelo húmedo (g)

Pss: Peso suelo seco (g)

También se ha establecido formas de aproximar este valor de acuerdo al tipo de textura y valor de CC, para una textura media, Villalobos, 2008 establece la siguiente relación:

$$PMP = \frac{CC}{2,1} \times 100 \dots \dots \dots \text{Ecuación (14)}$$

Donde:

PMP: Punto de marchitez permanente (%)

CC: Capacidad de campo (%)

#### 4.9. Evapotranspiración

Inicialmente se estableció el valor de coeficiente de cultivo (Kc) según la FAO, y la evapotranspiración potencial (Eto) se determinó mediante los softwares Cropwat y Climwat exportando los datos de la estación de Pacayas, finalmente se calculó la evapotranspiración real por medio de la siguiente ecuación:

$$ETr = ETo \times Kc \dots\dots\dots\text{Ecuación (15)}$$

Donde:

Eto: Es la evapotranspiración potencial (mm/día).

Kc: Es el coeficiente del cultivo

#### 4.10. Diseño agronómico

##### 4.10.1. Lámina neta

Se establecieron los valores de profundidad efectiva de raíces (prof) y porcentaje de agotamiento (Agt) de acuerdo con los valores establecidos por la FAO (Anexo 5). Una vez conocidos estos valores, así como los de CC, PMP y  $\rho_{ap}$  se calculó la lámina de riego neta a través de la siguiente ecuación:

$$Ln = \left(\frac{CC-PMP}{100}\right) \times Prof \times Agt \times \rho_{ap} \times PAR \dots\dots\dots\text{Ecuación (16)}$$

Donde:

Ln: Lámina neta (mm)

CC: Capacidad de campo (%)

PMP: Punto de marchitez permanente (%)

Prof: Profundidad efectiva de raíces (mm)

$\rho_{ap}$ : Peso específico aparente ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )

Agt: Agotamiento (%), el cual depende del tipo de cultivo y de la evapotranspiración real.

PAR: Porcentaje de área de humedecimiento (%).

El PAR se obtuvo con base en diferentes parámetros tales como textura, caudal del gotero, y espaciamiento entre goteros y laterales; de acuerdo con el Anexo 7, cabe mencionar que para el tipo de textura del suelo en estudio y los espaciamientos entre goteros y laterales se realizó una extrapolación para obtener el valor de PAR ya que estos se encontraban fuera del rango que se establece en el Anexo 7.

#### 4.10.2. Frecuencia de riego

Esta se calculó haciendo uso de la siguiente ecuación:

$$Fr = \frac{Ln}{Etr} \dots \dots \dots \text{Ecuación (17)}$$

Donde:

Fr: Frecuencia de riego (días).

Ln: Lámina neta (mm).

Etr: Evapotranspiración real (mm/día).

Se estableció un ciclo de riego (Cr) con el valor obtenido redondeándolo a un número entero inferior.

### 4.10.3. Lámina neta corregida

Con base en el ciclo de riego se procedió a recalcular la lámina neta haciendo uso de la siguiente ecuación:

$$Lnc = Etr \times Fr \dots\dots\dots\text{Ecuación (18)}$$

Donde:

Lnc: Lámina neta corregida (mm).

Etr: Evapotranspiración real (mm/día).

Cr: Ciclo de riego (días).

### 4.10.4. Lámina bruta

Se calculó por medio de la siguiente ecuación:

$$Lb = \frac{Ln}{Ef} \dots\dots\dots\text{Ecuación (19)}$$

Donde:

Lb: Lámina bruta (mm).

Lnc: Lámina neta corregida (mm).

Ef: Eficiencia (%).

Se tuvo que tomar en cuenta la disponibilidad de los trabajadores para llevar a cabo la aplicación del riego por semana (7 días) por lo cual la lámina bruta se recalculó por medio de la siguiente ecuación:

$$Lbc = \frac{Lb}{Cr} \times \frac{7\text{días}}{n\text{rieg/sem}} \dots\dots\dots \text{Ecuación (20)}$$

Donde:

Lbc: Lámina bruta corregida (mm).

Cr: Es el ciclo de riego (días).

Nrieg/sem: Es el número de riegos que se aplicarán por semana.

Para la escogencia del gotero se basó en los criterios establecidos en el material didáctico (Villalobos, 2018), tales como los siguientes:

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

#### 4.10.5. Tiempo de riego

Se calculó por medio de la siguiente ecuación:

$$Tr = \frac{Lbc \times A}{n \times Qg} \dots\dots\dots \text{Ecuación (21)}$$

Donde:

Tr: Tiempo de riego (h).

Lbc: Lámina bruta corregida (m).

A: Marco de plantación (m<sup>2</sup>).

n: Número de goteros por planta.

Qg: Caudal del gotero seleccionado (m<sup>3</sup>/h)

#### **4.10.6. Máximo número de posiciones al día**

Al presentarse diferentes cultivos se procedió a determinarlo tomando en cuenta los tiempos de riego de los cultivos para cada día que se aplica el riego y verificar que el tiempo mayor no sobrepasara las horas que se tienen destinadas para riego por día según la jornada laboral, con la finalidad de que toda el área se pueda regar simultáneamente.

### **4.11. Diseño Hidráulico**

#### **4.11.1. Diseño de la tubería lateral**

Inicialmente se determinaron las perdidas por fricción utilizando a siguiente ecuación:

$$P_{adm} = 0,2P_o \pm \Delta Z \quad \dots\dots\dots\text{Ecuación (22)}$$

Donde:

P<sub>adm</sub>: Pérdidas admisibles (m.c.a)

P<sub>o</sub>: Presión de operación del gotero (m.c.a)

ΔZ: Diferencia de altura en el lateral (m), para situación más crítica.

Posteriormente se procedió a determinar la longitud de los laterales, se tomó como referencia las dimensiones del terreno y se le restó medio metro en el extremo final ya que en este espacio

se encontraba sin cultivo por la existencia del dren. Planteando de primera instancia que la longitud fuera del inicio del ambiente protegido hasta el final de la cama de siembra.

Seguidamente se calculó el valor del número de goteros haciendo uso de la siguiente ecuación:

$$N^{\circ}got = \frac{Llat}{Eg} \dots\dots\dots \text{Ecuación (23)}$$

Donde

$N^{\circ}got$ : Número de goteros.

$Lterreno$ : Longitud del terreno donde se colocarán los laterales (m).

$Eg$ : Espaciamiento entre goteros (m).

Dicho valor se redondeó a un número entero de tal forma que se aprovechara la longitud del terreno al máximo.

Conociendo el número de goteros se calculó la longitud real de los laterales por medio de la siguiente ecuación:

$$Llat = N^{\circ}got - 1 \times Eg + \frac{Eg}{2} \dots\dots\dots \text{Ecuación (24)}$$

Donde:

$Llat$ : Es la longitud del lateral (m).

$N^{\circ}got$ : Número de goteros.

$Eg$ : Espaciamiento entre goteros (m).

Para dicha longitud se estableció que el primer gotero estuviese a  $Eg/2$ .

Posteriormente se determinó el caudal del lateral con base en la siguiente ecuación:

$$Q_{lat} = Q_g \times N^{\circ}got \dots \dots \dots \text{Ecuación (25)}$$

Donde:

Q<sub>lat</sub>: Caudal en la tubería del lateral(m<sup>3</sup>/h).

E<sub>g</sub>: Espaciamiento entre goteros (m).

Q<sub>g</sub>: Es el caudal del gotero (m<sup>3</sup>/h).

Una vez conocido el valor de P<sub>adm</sub> se calculó el diámetro teórico de la tubería con la ecuación de Hazen Williams:

$$D = \left( \frac{(1,131 \cdot 10^9 \times Q^{1,852} \times L \times F)}{H_f \times C^{1,852}} \right)^{\frac{1}{4,872}} \dots \dots \dots \text{Ecuación (26)}$$

Donde:

D: Diámetro interno de la tubería (mm).

Q: Caudal en la tubería (m<sup>3</sup>/h).

L: Longitud del lateral (m).

H<sub>f</sub>: Pérdidas por fricción = P<sub>adm</sub> (m).

C: Coeficiente que depende del material de la tubería.

F: Factor según el número de salidas.

Se buscó el diámetro comercial para volver a recalcular las pérdidas por fricción, por medio de la siguiente ecuación:

$$H_{f \text{ lat}} = 1,131 \cdot 10^9 \left( \frac{Q_{lat}}{C} \right)^{1,852} * D^{-4,872} * L * F \dots \dots \dots \text{Ecuación (27)}$$

Donde:

H<sub>f lat</sub>: Pérdidas por fricción del lateral (m).

Q: Caudal en la tubería(m<sup>3</sup>/h).

- C: Coeficiente que depende del material de la tubería.
- D: Diámetro del lateral(mm).
- L Longitud de la tubería (m).
- F: Factor que depende del número de salidas en el lateral.

Cabe mencionar que para las pérdidas en tubería con goteros aparte (diseño Finca La Pavilla) se calculó una longitud adicional con la siguiente ecuación:

$$L_{adicional} = n \times Laña \dots\dots\dots \text{Ecuación (28)}$$

Donde:

$L_{adicional}$ : Longitud adicional (m).

n: Número de goteros por lateral.

Laña: Longitud añadida (m).

La Lañadida para conectores de conexión tipo estándar se calcula por medio de la siguiente ecuación:

$$Laña = 18,91 \times d^{-1,87} \dots\dots\dots \text{Ecuación (29)}$$

Donde:

Laña: Longitud añadida (m).

d es el diámetro interno del lateral.

Seguidamente se procedió a calcular la presión en la entrada del lateral.

$$P_e = P_{op} + 0,77hf \pm 0,23\Delta z \dots\dots\dots \text{Ecuación (30)}$$

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).

$\Delta z$ : diferencia de altura en el lateral (m).

Cabe mencionar que se verificó que la presión al final de los laterales no sobrepasara el rango de presión de trabajo de los goteros.

#### 4.11.2. Diseño de la tubería múltiple

Se calculó la longitud de la múltiple de la siguiente manera:

$$L_m = L_{efec\ terreno} - E_b \dots\dots\dots \text{Ecuación (31)}$$

Donde:

$L_m$ : Longitud de la múltiple (m).

$L_{efec\ terreno}$ : Longitud efectiva de la múltiple medida en el plano (m).

$E_b$ : Espacios que se dejan en los bordes(m).

Posteriormente se calculó el número de camas de siembra de la siguiente manera:

$$\frac{L_{efect\ terreno}}{a_{cama}} + E_{camas} \dots\dots\dots \text{Ecuación (32)}$$

Donde:

$N^\circ$ camas: Es el número total de camas de siembra.

$L_{efec\ terreno}$ : Longitud efectiva de la múltiple medida en el plano (m).

$a_{cama}$ : Es el ancho de la cama de siembra (m).

$E_{camas}$ : Espaciamiento entre camas (m).

El número total de laterales a implementar se calculó con base en la siguiente ecuación:

$$N^{\circ}Lat = \frac{acama}{Eh} \times N^{\circ}camas \dots\dots\dots \text{Ecuación (33)}$$

Donde:

$N^{\circ}lat$ : Número de laterales totales (m)

$a_{cama}$ : Es el ancho de la cama de siembra (m).

$Eh$ : Espaciamiento entre hileras (m)

$N^{\circ}camas$ : Es el número total de camas de siembra.

Se procedió a calcular el caudal de la múltiple:

$$Qm = N^{\circ}lat \times Q lat \dots\dots\dots \text{Ecuación (34)}$$

Donde:

$Qm$ : Caudal de la múltiple (m<sup>3</sup>/h)

$Q lat$ : Caudal del lateral (m<sup>3</sup>/h)

$lat$ : Número de laterales

Para determinar el diámetro de la múltiple se tomó el valor de diferencia de altura en la múltiple como pérdidas por fricción. Pues al ganar esa carga hidráulica se puede contrarrestar con las pérdidas por fricción. Se hizo uso de la ecuación 26.

De igual manera posteriormente se estableció un diámetro comercial y se recalcularon las pérdidas por fricción ( $H_{fmult}$ ), mediante la ecuación 27

#### 4.11.3. Presión en la válvula

$$Pv = Pel + 0,77hfm \pm 0,23\Delta z \dots\dots\dots \text{Ecuación (35)}$$

Donde:

$P_v$ : Presión en la válvula (m.c.a).

$P_{el}$ : Presión en la entrada del lateral (m.c.a).

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

$\Delta z$ : diferencia de altura en la tubería múltiple (m).

#### 4.11.4. Presión distal

$$P_d = P_v - h_{f_{mul}} - h_{f_{lat}} \pm \Delta Z_{lat} \pm \Delta Z_{mult} \dots\dots\dots \text{Ecuación (36)}$$

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).

$\Delta Z_{mult}$ : Diferencia de altura en la múltiple (m).

$\Delta Z_{lat}$ : Diferencia de altura en el lateral (m).

#### 4.11.5. Diseño de la tubería principal

Inicialmente se estableció el caudal a transportar en cada tramo de la tubería principal, de acuerdo con el caudal de las tuberías múltiples.

$$Q_p = \sum Q_m \dots\dots\dots \text{Ecuación (37)}$$

Donde:

$Q_p$ : Caudal del principal ( $m^3/h$ ).

Qm: Caudal de las múltiples (m<sup>3</sup>/h).

Para cada tramo de tubería principal se estableció la longitud, caudal, diferencia de altura y presión requerida en cada punto de acuerdo con lo calculado en las múltiples. De tal modo que se aplicó la ecuación de Bernoulli y luego de esta se despejó las pérdidas por fricción (hf) y con estas finalmente calcular el valor de diámetro de cada tramo, por medio de la ecuación 26.

$$P_0 + \Delta Z_0 + \frac{v^2}{2g} = P_1 + \Delta Z_1 + \frac{v^2}{2g} - hf \dots \dots \dots \text{Ecuación (38)}$$

Donde:

P: Presión en cada punto del tramo (m).

v: velocidad (m/s).

g: gravedad (m/s<sup>2</sup>).

hf: Pérdidas (m).

$\Delta Z$ : Diferencia de altura en cada punto del tramo (m).

Seguidamente se estableció el diámetro interno comercial y se recalcularon las pérdidas por fricción y las presiones en cada punto.

#### 4.12. Velocidades en las tuberías

Para el cálculo de velocidad se utilizó la siguiente ecuación:

$$v = \frac{Q}{\frac{\pi \times D^2}{4}} \dots \dots \dots \text{Ecuación (39)}$$

Donde:

v: Es la velocidad en la tubería (m/s).

Q: Es el caudal que transporta la tubería (m<sup>3</sup>/s).

D: Es el diámetro de la tubería (m).

Nota: Se verificó que las velocidades se encontrasen en el rango de (0,6-3) m/s.

#### **4.13. Carga dinámica total**

$$CDT = Pv + 0.05(Pv + Hfp) + Hfp \pm \Delta z \dots \dots \dots \text{Ecuación (40)}$$

Donde:

CDT: Carga dinámica total (m.c.a)

Hfp: Pérdidas por fricción en tubería principal (m)

P: Presión en la válvula (m.c.a)

$\Delta z$ : Diferencia de altura en la tubería principal (m)

Este parámetro fue de suma importancia calcularlo, ya que de este modo se verifica si el sistema puede operar por gravedad.

Nota: El valor de  $0,05(Pv+Hfp)$  representa las pérdidas secundarias.

#### **4.14. Análisis sociocultural**

Se procedió a recolectar información por medio de consultas o sondeos, igualmente la observación directa y la revisión in situ de las infraestructuras, con la finalidad de identificar los beneficios y afecciones a nivel social, según las actividades relacionadas con la ejecución del proyecto.

De igual forma se investigó sobre índices de desarrollo social en el cantón de Alvarado con la finalidad de establecer como se puede ver involucrada la sociedad aledaña con el proyecto, ya sea de forma directa o indirecta.

#### **4.15. Análisis económico**

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

Para este análisis se recolectó la información financiera, así como los ingresos que reciben los productores, el capital, la inversión inicial y los demás elementos necesarios para construir un flujo de efectivo.

#### **4.16. Análisis ambiental**

Respecto al estudio ambiental inicialmente se llenó el formulario de evaluación ambiental (D-1) dado por Setena, esto con la finalidad de llevar a cabo una inspección previa del proyecto y así determinar la viabilidad ambiental potencial (VAP), permitiendo obtener el tipo de evaluación de impacto ambiental apropiada. Para este proyecto no se realizó una matriz para evaluar el impacto ambiental; lo que se procedió a realizar fue el planteamiento de una declaración jurada, es decir el formulario D2 de Setena donde la persona dueña del proyecto se compromete a cumplir y reportar todo lo establecido en este.

## **5. RESULTADOS Y ANÁLISIS**

## 5.1. Inspección de campo

Tras llevar a cabo la inspección de campo y marcar con el GPS los puntos donde se encuentran las fincas se obtuvo la ubicación geográfica de las mismas como se muestra en la Figura 1:



*Figura 1* Ubicación geográfica de las fincas.

A través del mapa mostrado en la Figura 1 se puede visualizar los sitios donde se localizan las fincas del proyecto, en el cual finca 1 representa a Finca Orgánicos Doña María, ubicada en Barrio Los Ángeles, Pacayas y finca 2 representa a Finca La Pavilla, ubicada en La Pavilla, Cipreses.

Posteriormente se pudo visualizar que el invernadero ubicado en finca Orgánicos Doña María se encuentra en un terreno con pendiente pronunciada, (Figura 2), mientras que el

invernadero ubicado en finca La Pavilla está en un terreno con topografía plana (Figura 3) aspectos que se deben de tener muy en cuenta para realizar el diseño del sistema de riego.



*Figura 2* Invernadero ubicado en Finca Orgánicos Doña María.



*Figura 3* Invernadero ubicado en finca La Pavilla.

## 5.2. Análisis topográfico

Luego de realizar los levantamientos topográficos correspondientes para cada invernadero se obtuvo que para el invernadero de finca Orgánicos Doña María, ubicada en Barrio Los Ángeles, Pacayas el área es de 554m<sup>2</sup>, este presenta una pendiente promedio de 30% además del sitio donde se ubicará el tanque de almacenamiento de agua al invernadero existe una diferencia de altura de 7m y de 12m de longitud (a favor de pendiente), lo cual puede ser utilizado a favor para el transporte de agua así como para el funcionamiento del sistema, por efecto de la carga hidráulica que se puede llegar a generar. A continuación, se observa la distribución del tanque e invernadero en la Figura 4.



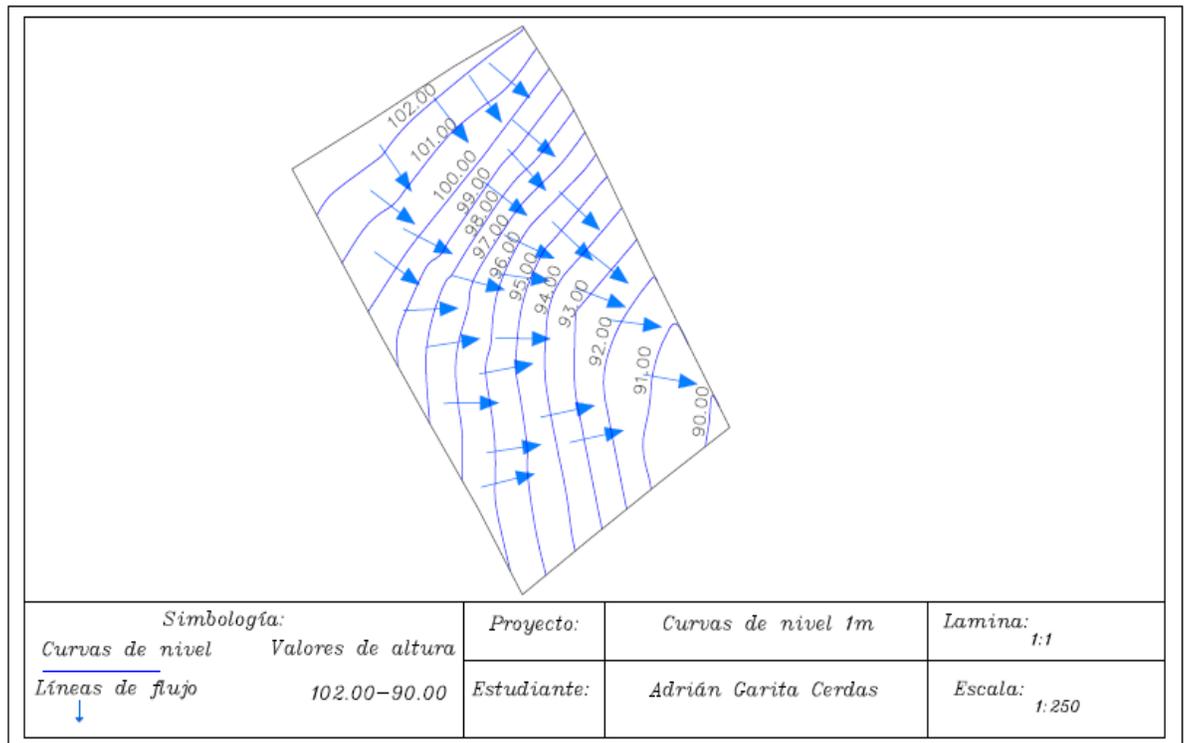
*Figura 4* Mapa de invernadero y tanque ubicado en Finca Orgánicos Doña María.

Mientras que el invernadero ubicado en La Pavilla presenta las siguientes condiciones: un área de 115m<sup>2</sup>, una pendiente de 5,6%, una diferencia de altura del tanque al invernadero de 1,5m una distancia de 20m. En la Figura 5 se puede apreciar la distribución de estos:

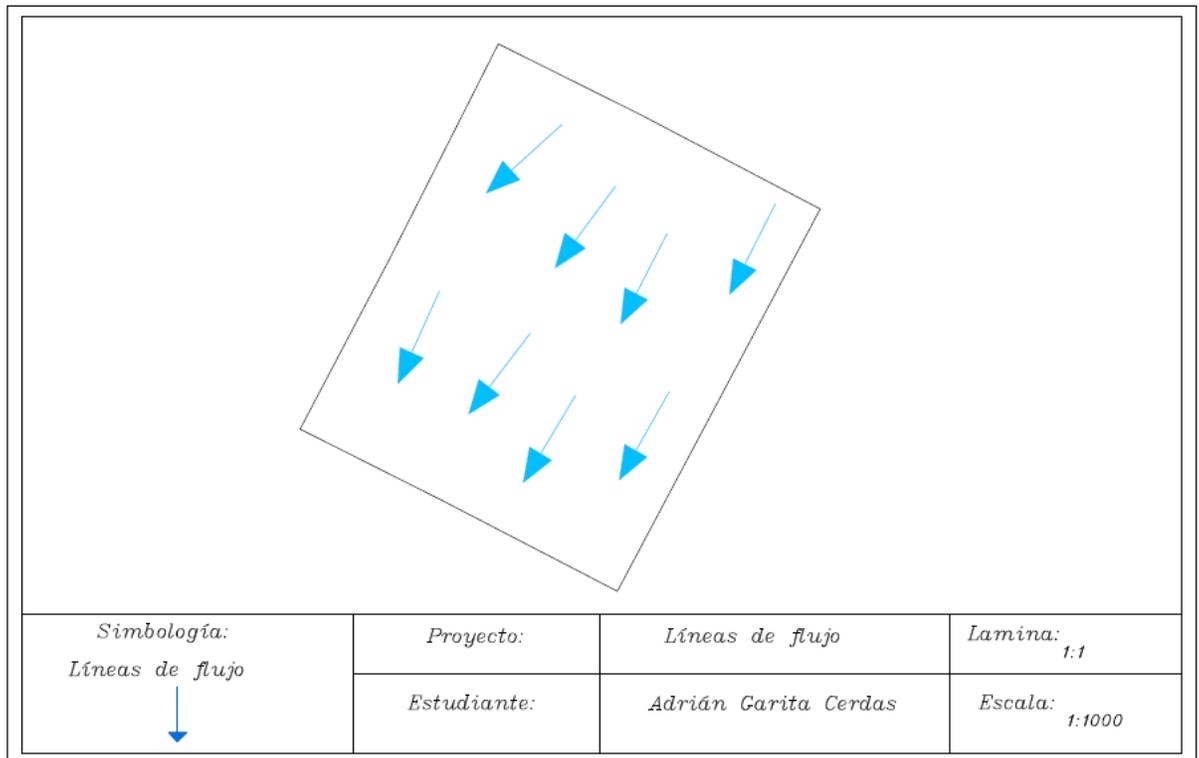


*Figura 5* Mapa de invernadero y tanque ubicado en Finca La Pavilla.

Con base en la topografía de los terrenos en los cuales se ubican los invernaderos, se obtuvieron los respectivos mapas de curvas de nivel y líneas de flujo que se muestran en las Figuras 6 y 7; cabe resaltar que de acuerdo con estos así se harán los trazos de los laterales de tubería para aplicación de riego.



**Figura 6** Mapa de curvas de nivel y líneas de flujo en invernadero de finca Orgánicos Doña María.



**Figura 7** Mapa de líneas de flujo en invernadero de finca La Pavilla.

### 5.3. Precipitación de diseño

Tras ordenar los datos de precipitación por mes y año, se obtuvieron los valores de precipitación de diseño ( $P_{\text{diseño}}$ ) tanto mínima como máxima por mes y para diferentes períodos de retorno ( $T_r$ ), como se muestra en los Cuadros 5.3.1 y 5.3.2, respectivamente.

**Cuadro 5.3.1** Valores de precipitación de diseño mínima para cada mes y período de retorno

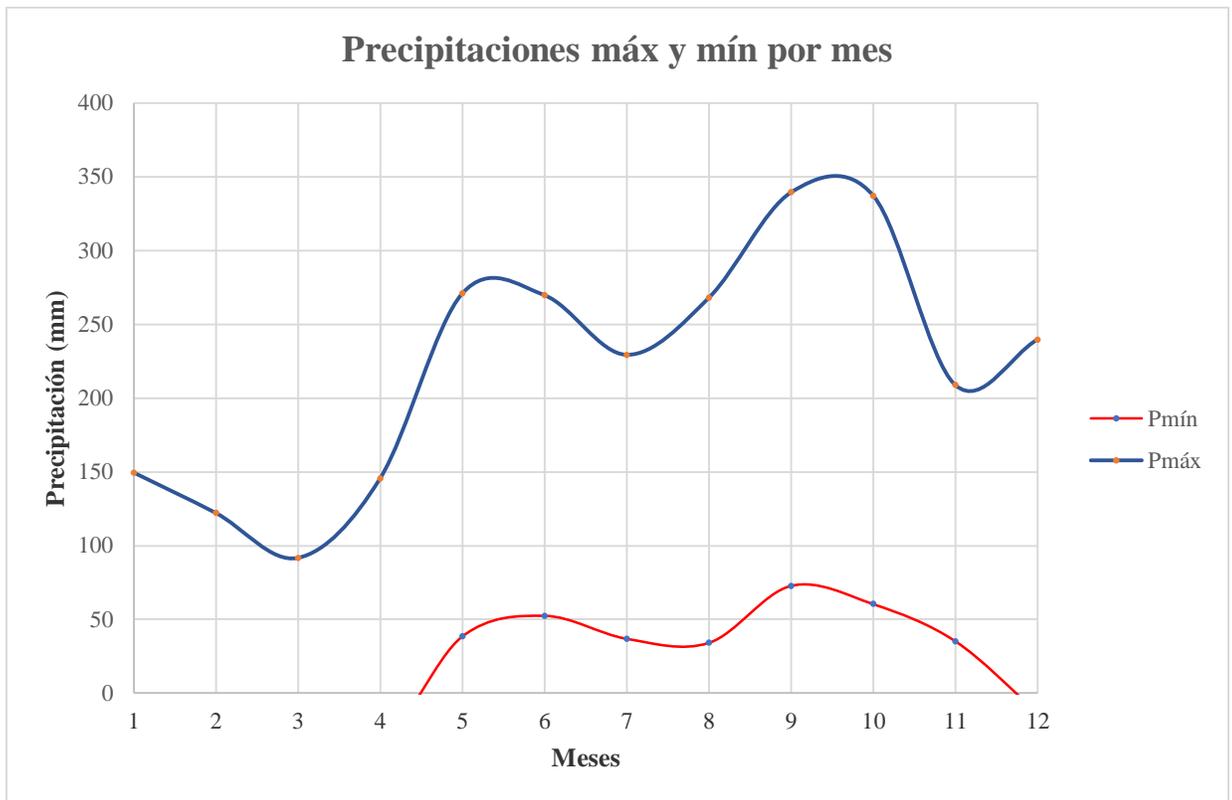
|     | Tr          |        |       |       |       |       |    |    |     |     |     |
|-----|-------------|--------|-------|-------|-------|-------|----|----|-----|-----|-----|
|     | 2           | 5      | 10    | 15    | 25    | 30    | 50 | 75 | 100 | 250 | 500 |
| Mes | Pdiseño mín |        |       |       |       |       |    |    |     |     |     |
| Ene | 78,08       | 34,26  | 5,25  | 0     | 0     | 0     | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   |
| Feb | 56,84       | 16,80  | 0     | 0     | 0     | 0     | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   |
| Mar | 44,96       | 16,29  | 0     | 0     | 0     | 0     | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   |
| Abr | 64,34       | 14,43  | 0     | 0     | 0     | 0     | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   |
| May | 164,84      | 99,71  | 56,59 | 38,43 | 2,11  | 0     | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   |
| Jun | 170,50      | 109,65 | 69,36 | 52,39 | 18,46 | 8,48  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   |
| Jul | 141,47      | 87,55  | 51,86 | 36,82 | 6,75  | 0     | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   |
| Ago | 161,23      | 95,71  | 52,33 | 34,06 | 0     | 0     | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   |
| Sep | 217,70      | 143,00 | 93,54 | 72,71 | 31,05 | 18,81 | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   |
| Oct | 210,83      | 133,28 | 81,94 | 60,32 | 17,07 | 4,36  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   |
| Nov | 129,51      | 80,88  | 48,68 | 35,12 | 7,99  | 0,02  | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   |
| Dic | 124,22      | 53,36  | 6,44  | 0     | 0     | 0     | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   |

**Cuadro 5.3.2** Valores de precipitación de diseño máxima para cada mes y período de retorno

|     | Tr          |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|-----|-------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|     | 2           | 5      | 10     | 15     | 25     | 30     | 50     | 75     | 100    | 250    | 500    |
| Mes | Pdiseño máx |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
| Ene | 64,48       | 108,29 | 137,30 | 149,52 | 173,96 | 181,14 | 201,15 | 216,96 | 228,14 | 263,68 | 290,52 |
| Feb | 44,41       | 84,45  | 110,96 | 122,12 | 144,45 | 151,01 | 169,29 | 183,74 | 193,96 | 226,43 | 250,95 |
| Mar | 36,06       | 64,74  | 83,72  | 91,72  | 107,71 | 112,41 | 125,50 | 135,84 | 143,17 | 166,42 | 183,98 |
| Abr | 48,86       | 98,77  | 131,81 | 145,73 | 173,56 | 181,74 | 204,54 | 222,54 | 235,28 | 275,76 | 306,33 |
| May | 144,63      | 209,76 | 252,88 | 271,04 | 307,36 | 318,04 | 347,78 | 371,28 | 387,90 | 440,73 | 480,62 |
| Jun | 151,62      | 212,47 | 252,76 | 269,73 | 303,66 | 313,64 | 341,43 | 363,38 | 378,92 | 428,27 | 465,54 |
| Jul | 124,74      | 178,65 | 214,35 | 229,38 | 259,45 | 268,29 | 292,91 | 312,36 | 326,12 | 369,85 | 402,87 |
| Ago | 140,90      | 206,42 | 249,80 | 268,07 | 304,61 | 315,35 | 345,28 | 368,91 | 385,64 | 438,78 | 478,91 |
| Sep | 194,52      | 269,22 | 318,68 | 339,51 | 381,17 | 393,41 | 427,53 | 454,48 | 473,55 | 534,13 | 579,88 |
| Oct | 186,76      | 264,31 | 315,65 | 337,27 | 380,52 | 393,23 | 428,65 | 456,62 | 476,42 | 539,31 | 586,80 |
| Nov | 114,42      | 163,05 | 195,25 | 208,81 | 235,94 | 243,91 | 266,12 | 283,66 | 296,08 | 335,52 | 365,31 |
| Dic | 102,23      | 173,09 | 220,01 | 239,78 | 279,30 | 290,91 | 323,28 | 348,84 | 366,93 | 424,41 | 467,81 |

Los valores con cero que se presentan en el Cuadro 5.3.1 indican que para esos meses no se cuenta con lluvia para los respectivos períodos de retorno, ya que son lluvias mínimas, por ejemplo para un período de retorno de 15 años los meses de enero, febrero, marzo, abril y diciembre son críticos ya las lluvias mínimas son nulas, sin embargo los valores de lluvias máximas son positivos, lo cual indica que para cada mes se tiene un rango de lluvia que puede ser captada, por lo cual es importante determinar más adelante si esa cantidad de lluvia puede abastecer la demanda de agua para aplicación de riego, pues de no ser así se debe analizar como propuesta la utilización de otra fuente de agua para brindar el riego respectivo a los cultivos.

Cabe mencionar que se utilizó un período de retorno de 15 ya que con este valor y una vida útil de 3 años la probabilidad de cumplimiento fue del 81%, lo cual indica un valor aceptable que garantiza que el comportamiento de las lluvias de diseño calculadas se presente de acuerdo con lo calculado; como se muestra en la Figura 8:



**Figura 8** Comportamiento de la lluvia de diseño mínima y máxima mensual para un período de retorno ( $T_r$ ) de 15 años

#### 5.4. Cosecha de agua de lluvia

Tras hacer uso de la ecuación 5, con un  $C_e$  de 0,9 (hojas de metal acanaladas) se obtuvieron valores de precipitación neta para un período de retorno de 15 años, es decir la que se puede captar, los cuales se muestran en el Cuadro 5.4.1:

**Cuadro 5.4.1** Valores de precipitación neta mínima para cada mes y período de retorno.

| <b>Tr (15 años)</b> |                  |                  |
|---------------------|------------------|------------------|
| <b>Mes</b>          | <b>Pneta mín</b> | <b>Pneta máx</b> |
| Ene                 | 0                | 134,57           |
| Feb                 | 0                | 109,91           |
| Mar                 | 0                | 82,54            |
| Abr                 | 0                | 131,16           |
| May                 | 34,59            | 243,94           |
| Jun                 | 47,15            | 242,76           |
| Jul                 | 33,14            | 206,45           |
| Ago                 | 30,65            | 241,27           |
| Sep                 | 65,44            | 305,56           |
| Oct                 | 54,29            | 303,55           |
| Nov                 | 31,60            | 187,93           |
| Dic                 | 0                | 215,80           |

En el Cuadro 5.4.1 se puede observar la cantidad de lluvia captable basándose tanto en precipitaciones mínimas y máximas, por lo que se trabaja con base en rangos de lluvia por mes, dichos rangos son indispensables para establecer el volumen de agua que se puede almacenar en el tanque de forma mensual.

El volumen para captar por mes ha sido calculado con base en el área de los techos, el de la finca Orgánicos Doña María fue de 70 m<sup>2</sup>, mientras que el de Finca La Pavilla, Cipreses fue de 105 m<sup>2</sup>. De acuerdo con dichas áreas se obtuvieron los valores de volumen que se presentan en los Cuadros 5.4.2 y 5.4.3:

**Cuadro 5.4.2** Volúmenes mensuales a captar en finca Orgánicos Doña María

| <b>Tr (15 años)</b> |                                |                                |
|---------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| <b>Mes</b>          | <b>Vol (m<sup>3</sup>) mín</b> | <b>Vol (m<sup>3</sup>) máx</b> |
| Ene                 | 0,00                           | 9,42                           |
| Feb                 | 0,00                           | 7,69                           |
| Mar                 | 0,00                           | 5,78                           |
| Abr                 | 0,00                           | 9,18                           |
| May                 | 2,42                           | 17,08                          |
| Jun                 | 3,30                           | 16,99                          |
| Jul                 | 2,32                           | 14,45                          |
| Ago                 | 2,15                           | 16,89                          |
| Sep                 | 4,58                           | 21,39                          |
| Oct                 | 3,80                           | 21,25                          |
| Nov                 | 2,21                           | 13,16                          |
| Dic                 | 0,00                           | 15,11                          |

**Cuadro 5.4.3** Volúmenes mensuales a captar en Finca La Pavilla

| <b>Tr (15 años)</b> |                                |                                |
|---------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| <b>Mes</b>          | <b>Vol (m<sup>3</sup>) mín</b> | <b>Vol (m<sup>3</sup>) máx</b> |
| Ene                 | 0,00                           | 14,13                          |
| Feb                 | 0,00                           | 11,54                          |
| Mar                 | 0,00                           | 8,67                           |
| Abr                 | 0,00                           | 13,77                          |
| May                 | 3,63                           | 25,61                          |
| Jun                 | 4,95                           | 25,49                          |
| Jul                 | 3,48                           | 21,68                          |
| Ago                 | 3,22                           | 25,33                          |
| Sep                 | 6,87                           | 32,08                          |
| Oct                 | 5,70                           | 31,87                          |
| Nov                 | 3,32                           | 19,73                          |
| Dic                 | 0,00                           | 22,66                          |

### 5.5. Textura del suelo

Tras realizar la prueba de bouyucos para textura de suelo y los respectivos cálculos se obtuvieron los siguientes resultados:

**Cuadro 5.5.1** Determinación de textura de suelo en los invernaderos.

|           | Finca Orgánicos Doña<br>María | Finca La Pavilla |
|-----------|-------------------------------|------------------|
| % MS      | 54,14                         | 56,64            |
| % Arcilla | 15,04                         | 17,54            |
| % Arena   | 45,86                         | 45,36            |
| % Limo    | 39,10                         | 39,10            |
| Textura   | Franca                        | Franca           |

Como se aprecia en el cuadro 5.5.1 la textura de ambos suelos es franca, lo cual es de suma importancia ya que este tipo de textura presenta condiciones idóneas en cuanto filtración, así como rangos de CC y PMP los cuales son básicos para la determinación de la forma de aplicación de riego.

### 5.6. Peso específico aparente del suelo

Al aplicar la ecuación 8 se obtuvieron pesos específicos de  $0,68 \text{ g/cm}^3$  y  $0,67 \text{ g/cm}^3$  para la finca Orgánicos Doña María y finca La Pavilla; respectivamente. Según lo establecido por la teoría son valores bajos para un suelo de textura franca, sin embargo de acuerdo con lo citado por Andrade, Guncay, Ibarra, (2013) existen otros factores que influyen en el valor de peso específico aparente como lo es el contenido de materia orgánica, además un valor de peso

específico se asocia a un suelo con buenas condiciones de drenaje, porosidad y aireación, dichas condiciones se acrecientan por el contenido de materia orgánica ya que el contenido proporciona el aumento de granulación del suelo, y como se sabe ambos invernaderos, están dedicados a la producción netamente orgánica.

### **5.7. Capacidad de campo y Punto de Marchitez Permanente**

Para finca Orgánicos Doña María la capacidad de campo fue de 11,88% y el punto de marchitez permanente de 5,66%, mientras que para finca La Pavila los valores fueron de 10,30% y 4,90% respectivamente.

### **5.8. Evapotranspiración**

Tras hacer uso de los software Climwat y Cropwat se obtuvieron los valores de evapotranspiración potencial dados por la estación de Pacayas:

Monthly ETo Penman-Monteith - C:\Users\adrian\Desktop\Proyecto\PACAYAS.pen

Country: Location 10      Station: PACAYAS

Altitude: 1735 m.      Latitude: 9.91 °N      Longitude: 83.81 °W

| Month          | Min Temp<br>°C | Max Temp<br>°C | Humidity<br>% | Wind<br>km/day | Sun<br>hours | Rad<br>MJ/m <sup>2</sup> /day | ETo<br>mm/day |
|----------------|----------------|----------------|---------------|----------------|--------------|-------------------------------|---------------|
| January        | 10.7           | 20.7           | 82            | 61             | 4.6          | 14.5                          | 2.50          |
| February       | 10.4           | 21.2           | 78            | 69             | 4.8          | 15.7                          | 2.80          |
| March          | 10.7           | 21.3           | 78            | 78             | 5.0          | 16.9                          | 3.04          |
| April          | 11.5           | 22.2           | 81            | 69             | 4.3          | 16.1                          | 2.98          |
| May            | 12.2           | 22.4           | 84            | 61             | 4.3          | 15.9                          | 2.94          |
| June           | 12.6           | 22.5           | 85            | 52             | 3.8          | 14.8                          | 2.79          |
| July           | 12.4           | 22.2           | 88            | 52             | 3.0          | 13.7                          | 2.60          |
| August         | 12.1           | 22.3           | 86            | 52             | 3.5          | 14.6                          | 2.75          |
| September      | 12.1           | 22.7           | 86            | 52             | 3.4          | 14.5                          | 2.74          |
| October        | 12.1           | 22.2           | 86            | 52             | 3.2          | 13.5                          | 2.53          |
| November       | 11.9           | 21.3           | 84            | 52             | 3.4          | 12.9                          | 2.36          |
| December       | 11.3           | 21.0           | 84            | 52             | 4.3          | 13.6                          | 2.38          |
| <b>Average</b> | <b>11.7</b>    | <b>21.8</b>    | <b>84</b>     | <b>58</b>      | <b>4.0</b>   | <b>14.7</b>                   | <b>2.70</b>   |

*Figura 9* Evapotranspiración potencial por mes de la estación de Pacayas, dada por el software Cropwat

Como se muestra en la Figura 9 la evapotranspiración potencial más crítica (mayor) se presenta en los meses de febrero a mayo, por lo que se deberá de considerar para la lámina de riego a aplicar en cada cultivo, pues en estos meses es muy probable que el consumo de agua demandado sea mayor respecto a los otros meses del año, debido a la cantidad de agua que se pierde por evapotranspiración.

Con base en los valores de Kc dados por la FAO (Anexo 6) se obtuvieron los siguientes valores de evapotranspiración real para cada cultivo según el mes:

**Cuadro 5.7.1** Evapotranspiración real para cada cultivo.

| Cultivo         | Etr (mm/día) |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-----------------|--------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|                 | Ene          | Feb  | Mar  | Abr  | May  | Jun  | Jul  | Ago  | Sep  | Oct  | Nov  | Dic  |
| <b>Lechuga</b>  | 2,50         | 2,80 | 3,04 | 2,98 | 2,94 | 2,79 | 2,60 | 2,75 | 2,74 | 2,53 | 2,36 | 2,38 |
| <b>Apio</b>     | 2,50         | 2,80 | 3,04 | 2,98 | 2,94 | 2,79 | 2,60 | 2,75 | 2,74 | 2,53 | 2,36 | 2,38 |
| <b>Acelga</b>   | 2,38         | 2,66 | 2,89 | 2,83 | 2,79 | 2,65 | 2,47 | 2,61 | 2,60 | 2,40 | 2,24 | 2,26 |
| <b>Espinaca</b> | 2,50         | 2,80 | 3,04 | 2,98 | 2,94 | 2,79 | 2,60 | 2,75 | 2,74 | 2,53 | 2,36 | 2,38 |
| <b>Tomate</b>   | 2,88         | 3,22 | 3,50 | 3,43 | 3,38 | 3,21 | 2,99 | 3,16 | 3,15 | 2,91 | 2,71 | 2,74 |

Cabe mencionar que el valor más crítico es el presentado para el mes de marzo por lo cual se tomó como parámetro para llevar a cabo el diseño. No obstante, dichos valores de evapotranspiración se dan fuera del invernadero; según la literatura consultada el comportamiento de estos dentro de los invernaderos es menor, sin embargo en ambos invernaderos donde se realizó el proyecto no se contó con una estación meteorológica para cuantificar la evapotranspiración dentro de los mismos, por lo cual se utilizarán los valores obtenidos en el Cuadro 5.7.1, los cuales corresponden al consumo de agua máximo que se puede presentar para cada cultivo.

## **5.9. Diseño agronómico**

- Valores de lámina neta

De acuerdo con los parámetros ya antes calculados se obtuvieron los siguientes valores de lámina neta para cada cultivo y finca respectiva:

**Cuadro 5.8.1** Láminas netas (mm) para cada cultivo y finca

| <b>Cultivo</b> | <b>Finca Orgánicos Doña María</b> | <b>Finca La Pavilla</b> |
|----------------|-----------------------------------|-------------------------|
| Apio           | 3,67                              | 4,17                    |
| Acelga         | 5,50                              |                         |
| Espinaca       | 3,67                              |                         |
| Lechuga        | 5,50                              |                         |
| Tomate         |                                   | 5,84                    |

Es importante recalcar que por las distancias entre goteros y laterales establecidas según el distanciamiento de siembra el PAR se encuentra en un valor de 100%; únicamente para el cultivo de tomate el valor fue de 50% ya que la distancia entre laterales fue mayor (1,2 m).

Para cada cultivo presente en las dos fincas se obtuvieron los siguientes parámetros agronómicos:

**Cuadro 5.8.2** Parámetros agronómicos de los cultivos para Finca Orgánicos Doña María

|                                       | Apio  | Acelga | Espinaca | Lechuga |
|---------------------------------------|-------|--------|----------|---------|
| Frecuencia de riego (días)            | 1,21  | 1,91   | 1,21     | 1,81    |
| Ciclo de riego (días)                 | 1     | 1      | 1        | 1       |
| Lámina neta corregida (mm)            | 3,04  | 2,89   | 3,04     | 3,04    |
| Eficiencia de riego (%)               | 95    | 95     | 95       | 95      |
| Lámina bruta (mm)                     | 3,2   | 3,04   | 3,2      | 3,2     |
| Lámina bruta corregida (mm)           | 5,6   | 5,32   | 5,6      | 5,6     |
| Caudal del gotero (m <sup>3</sup> /h) | 0,001 | 0,001  | 0,001    | 0,001   |
| Tiempo de riego (min)                 | 14    | 12     | 14       | 14      |

**Cuadro 5.8.3** Parámetros agronómicos de los cultivos para Finca La Pavilla

|                                       | Apio  | Tomate |
|---------------------------------------|-------|--------|
| Frecuencia de riego (días)            | 1,23  | 1,67   |
| Ciclo de riego (días)                 | 1     | 1      |
| Lámina neta corregida (mm)            | 3,04  | 3,50   |
| Eficiencia de riego (%)               | 90    | 90     |
| Lámina bruta (mm)                     | 3,38  | 3,88   |
| Lámina bruta corregida (mm)           | 5,92  | 6,79   |
| Caudal del gotero (m <sup>3</sup> /h) | 0,002 | 0,002  |
| Tiempo de riego (min)                 | 25    | 50     |

Como se muestra en los datos obtenidos las frecuencias de riego son bajas, de aproximadamente 1 día, algo muy común en el riego por goteo con la finalidad de humedecer el área efectiva de la planta constantemente, no obstante cabe mencionar que por cuestiones de planeamiento laboral se dificulta la aplicación de riego diaria para un tiempo de riego tan bajo por lo que tras planificar el total de lámina a aplicar en una semana y distribuirla en 4 días por semana se obtuvo una nueva lámina bruta con un respectivo tiempo de aplicación dado el caudal del gotero. Para el terreno de la Finca Orgánicos Doña María la cinta de goteo fue seleccionada tomando en cuenta la textura del suelo (media), la filtración del agua en el mismo, pues al ser dedicado a la producción orgánica su contenido en materia orgánica mejora dicha condición, además que al estar espaciados relativamente cerca (20 cm) por cuestiones de espaciamiento de siembra y cultivo, es preferible que el caudal sea bajo con la finalidad de que el movimiento vertical del agua no sea excesivo. Además, se estableció que fuera auto compensada debido a la pendiente tan pronunciada, estas características se muestran en el Anexo 8. Mientras que para Finca La Pavilla se estableció un gotero no auto compensado y con caudal de 2 l/h para espaciarlo más largo.

Es importante mencionar que las horas disponibles para aplicación de riego al día son 8, y como se muestra en los Cuadros 5.8.2 y 5.8.3 los tiempos de riego no superan dicho valor por lo que se planteó la aplicación del riego de toda el área simultáneamente; evaluado posteriormente la cantidad de agua requerida con respecto a la disponible.

## **5.10. Diseño hidráulico**

### **5.9.1. Diseño en Finca Orgánicos Doña María**

De acuerdo con las cantidades de siembra de cada cultivo y las características del mismo se estableció para camas de siembra de 70 cm de ancho y con un dren de 30 cm la siguiente distribución:

**Cuadro 5.9.1** Distribución de camas en el invernadero para cada cultivo

| Cultivo  | Número de camas | Longitud de camas (m) | Diferencia de altura (m) | Válvula |
|----------|-----------------|-----------------------|--------------------------|---------|
| Apio     | 9               | 18                    | 4                        | B       |
| Lechuga  | 8               | 18                    | 6                        | C       |
| Espinaca | 8               | 18                    | 6                        | D       |
| Acelga   | 3               | 18                    | 6                        | E       |

Dada la distribución de siembra se adecuó el sistema de riego y se obtuvieron los siguientes parámetros correspondientes a los laterales:

**Cuadro 5.9.2** Parámetros correspondientes a la tubería de los laterales

| Parámetro                       | Valor  |
|---------------------------------|--------|
| Poperación (m)                  | 4 – 30 |
| Pérdidas admisibles (m)         | 5,8    |
| N° goteros                      | 90     |
| L laterales (m)                 | 18     |
| Q laterales (m <sup>3</sup> /h) | 0,09   |
| Diámetro teórico (mm)           | 4,54   |
| Diámetro comercial (mm)         | 16     |
| Hf laterales (m)                | 0,01   |
| Pentrada (m)                    | 3,98   |
| N° laterales por cama           | 3      |

Como se muestra en el Cuadro 5.9.2 se utilizará una cinta de goteo auto compensada debido al grado de pendiente tan alto que se presenta en dicho terreno, y por otra parte las pérdidas por fricción son muy bajas respecto a la presión que se gana por la diferencia de altura a favor.

Es importante mencionar que, al presentarse un rango de presión de trabajo, se verificó que la presión en el punto inicial (más alto) fuese al menos de 4 m (presión mínima), tomando en consideración que en el punto final más crítico la presión de trabajo no sobrepasara los 30 m.

Para el diseño de la tubería múltiple se obtuvieron los siguientes valores:

**Cuadro 5.9.3** Parámetros correspondientes a la tubería de la múltiple

| Parámetro                               | Apio  | Lechuga | Espinaca | Acelga |
|---|-------|---------|----------|--------|
| Longitud de la múltiple (m)             | 8,7   | 7,7     | 7,7      | 2,7    |
| acama (m)                               | 0,7   |         |          |        |
| Ecamas (m)                              | 0,3   |         |          |        |
| Nºlaterales                             | 27    | 24      | 24       | 9      |
| Qmultiple (m <sup>3</sup> /h)           | 2,43  | 2,16    | 2,16     | 0,81   |
| Qtotal (m <sup>3</sup> /h)              | 7,56  |         |          |        |
| Volumen requerido/mes (m <sup>3</sup> ) | 27,45 |         |          |        |
| Diferencia de altura (m)                | 2,60  | 2,30    | 2,30     | 0,80   |
| Diámetro teórico (mm)                   | 20,43 | 19,18   | 19,18    | 10,68  |
| Diámetro comercial (mm)                 | 28,7  |         |          |        |
| Hf múltiple (m)                         | 0,16  | 0,11    | 0,11     | 0,01   |
| Pmúltiple (m)                           | 4,70  | 4,60    | 4,60     | 4,18   |
| Pd (m)                                  | 5,90  | 8,17    | 8,17     | 9,35   |

Como se observa en el cuadro 5.9.3 la cantidad de laterales por cultivo es diferente por lo cual el valor de caudal total por cultivo también varía, es importante resaltar que las presiones en los puntos más críticos se encuentran dentro del rango de presión de trabajo.

De acuerdo con la densidad de siembra se estableció colocar 3 laterales por cama de tal modo que se riegue con una línea de goteo dos hileras de siembra y además que cada gotero se encuentre en medio de dos plantas para una mejor uniformidad.

Las tuberías de la múltiple irán colocadas en un extremo del terreno, esto por cuestiones de manejo de la tubería y cultivo en el terreno; teniendo laterales a un solo lado de la tubería. Se colocará la válvula al final de la múltiple, por lo que se estableció que la presión de entrada en esa válvula fuera la necesaria para garantizar la presión mínima de trabajo en los primeros goteros de la cinta de goteo y que no sobrepase la presión máxima de trabajo en los últimos goteros. Cabe mencionar que el diámetro de tubería se escogió con la finalidad de que al perforar la tubería para las salidas de los laterales no hubiese problema con el tamaño del tubo al realizar dicha operación; garantizando a su vez que la operación en cuanto a velocidades, pérdidas de carga y presiones fuera adecuada. A pesar de que se desea aplicar el riego a toda el área de modo

simultáneo se colocarán 3 válvulas más correspondientes a las otras secciones de cada cultivo. Las válvulas están numeradas de arriba hacia abajo.

Cabe mencionar que el volumen requerido al ser mayor que el mínimo captado se debe contemplar el uso de otra fuente de agua, en este caso el consumo de agua comercial, de acuerdo con el estudio a nivel hidrológico en los Anexos 10 y 11 se muestra las cantidades requeridas por mes.

Lo que respecta a la tubería principal, al tener establecido las presiones que se deben suministrar en cada punto (múltiples); y contar con 7 m de diferencia de altura en el tramo de la tubería principal se planteó como pérdidas máximas 3 m; obteniéndose así los siguientes valores para cada tramo de la tubería:

**Cuadro 5.9.4** Valores correspondientes a la tubería principal según cada tramo

| Parámetro                               | A-B   | B-C   | C-D   | D-E   |
|---|-------|-------|-------|-------|
| Longitud (m)                            | 23,7  | 8     | 8     | 3     |
| Diámetro teórico (mm)                   | 37,05 | 24,12 | 17,74 | 8,45  |
| Diámetro comercial (mm)                 | 39,80 |       |       |       |
| Hf tubería principal (m)                | 1,7   | 0,3   | 0,1   | 0,003 |
| Hf secundarias (m)                      | 0,34  |       |       |       |
| Q tubería principal (m <sup>3</sup> /h) | 7,56  | 5,13  | 2,97  | 0,81  |
| Carga dinámica (m)                      | 6,65  |       |       |       |
| Diferencia de altura (m)                | 7,11  | 2,4   | 2,4   | 0,9   |
| P (m)                                   | 5,41  | 7,51  | 9,81  | 10,70 |
| P distal (m)                            | 6,63  | 11    | 13,30 | 15,87 |

Como se muestra en el cuadro 5.9.4 el diámetro escogido es mayor a los teóricos, por el hecho de que para la presión de trabajo a la cual estará sometida la tubería se encuentra dentro del rango de tubería con SDR 41 y para esta el diámetro más pequeño es el de 39,80 mm; y también que el diámetro nominal de las múltiples es el mismo por lo cual al realizar el acople es mejor mantener el mismo diámetro y no pasar de un diámetro menor a uno mayor. También se puede apreciar que tras calcular la carga dinámica total y compararla con la diferencia de

altura que se tiene desde el tanque al punto B, el sistema puede funcionar adecuadamente por efecto de gravedad, por otra parte al presentarse pérdidas en la tubería principal menores a las permisible se tendrá una presión mayor en la entrada de cada múltiple, sin embargo al recalcularse las presiones tanto de la múltiple como la distal, estas siguen permaneciendo dentro del rango de operación establecido por el fabricante. Es importante recalcar que al colocarse múltiples individuales, es decir una por cultivo, se puede tener un mejor control y manejo al aplicar el riego, ya que, si por diversas razones uno de estos no requiere riego, y sin embargo los demás sí, se puede garantizar llevar a cabo la operación del sistema bajo esas condiciones. Por otra parte, se chequearon las velocidades y se obtuvieron los siguientes resultados:

**Cuadro 5.9.5** Parámetros del comportamiento del flujo en las tuberías

| <b>Tubería</b>         | <b>Diámetro (mm)</b> | <b>Caudal (m<sup>3</sup>/h)</b> | <b>Velocidad (m/s)</b> |
|------------------------|----------------------|---------------------------------|------------------------|
| <b>Principal (A-B)</b> | 39,8                 | 7,56                            | 1,69                   |
| <b>Principal (B-C)</b> | 39,8                 | 5,13                            | 1,14                   |
| <b>Principal (C-D)</b> | 39,8                 | 2,97                            | 0,66                   |
| <b>Principal (D-E)</b> | 39,8                 | 0,81                            | 0,2                    |
| <b>Múltiple 1</b>      | 28,7                 | 2,43                            | 1,04                   |
| <b>Múltiple 2</b>      | 28,7                 | 2,16                            | 0,93                   |
| <b>Múltiple 3</b>      | 28,7                 | 2,16                            | 0,93                   |
| <b>Múltiple 4</b>      | 28,7                 | 0,81                            | 0,35                   |
| <b>Laterales</b>       | 16,2                 | 0,09                            | 0,12                   |

Según se muestra en el Cuadro 5.9.5 anterior en general las velocidades se encuentran según el rango de operación recomendado, sin embargo para los laterales, tubería múltiple 4 y tramo de tubería principal D-E, las velocidades son inferiores a la mínima recomendado, no obstante los tramos de tubería son cortos y por la pendiente del terreno se facilitarían las labores de lavado de tuberías con la finalidad de controlar los problemas de sedimentación que se podrían generar en estas, y de este modo no existiría mayor problema en el funcionamiento del sistema de riego como tal.

### 5.9.2. Diseño en Finca La Pavilla

Para este diseño es importante mencionar que el suelo al ser plano las pérdidas establecidas fue simplemente el 20% de la presión de operación, esto repartido de primera instancia en 40% para el lateral y 60% para la tubería múltiple. A continuación, se muestran los valores obtenidos:

**Cuadro 5.9.6** Parámetros correspondientes a la tubería de los laterales

| <b>Parámetro</b>              | <b>Valor</b> |
|-------------------------------|--------------|
| Operación (m)                 | 1            |
| Hf admisibles (m)             | 0,08         |
| Nºgoteros                     | 25           |
| L lateral (m)                 | 9,8          |
| Q lateral (m <sup>3</sup> /h) | 0,05         |
| Diámetro teórico (mm)         | 8,21         |
| Diámetro comercial            | 16,2         |
| Hf lateral (m)                | 0,004        |
| Pentrada (m)                  | 1,003        |

Para este se establecerá una línea de goteo por línea de cultivo ya que se siembran en surcos y no en camas, además los goteros irán espaciados cada 20 cm ya que el caudal en este caso es mayor (2 l/h).

Lo que respecta a la tubería de la múltiple se obtuvo lo siguiente:

**Cuadro 5.9.7** Parámetros correspondientes a la tubería de la múltiple

| <b>Parámetro</b>               | <b>Valor</b> |
|--------------------------------|--------------|
| L múltiple                     | 12,5         |
| Nº laterales                   | 18           |
| Q múltiple (m <sup>3</sup> /h) | 0,9          |
| Hf permisibles (m)             | 0,08         |
| Diámetro teórico (mm)          | 24,44        |
| Diámetro comercial (mm)        | 28,7         |
| Hf múltiple (m)                | 0,04         |
| P múltiple (m)                 | 1,03         |
| P distal (m)                   | 0,96         |
| $\Delta P$ (m)                 | 0,07         |

Como se muestra en el cuadro 5.9.7 la diferencia de presión ( $\Delta P$ ) entre el primer gotero y el último o presión distal es menor al 20% de la presión de operación (0,2).

Finalmente, lo que respecta a la tubería principal se obtuvo lo siguiente:

**Cuadro 5.9.8** Valores correspondientes a la tubería principal

| <b>Parámetro</b>         | <b>Valor</b> |
|--------------------------|--------------|
| Longitud (m)             | 23           |
| Diámetro teórico (mm)    | 20,07        |
| Diámetro comercial (mm)  | 39,80        |
| Hf tubería principal (m) | 0,033        |
| Hf secundarias (m)       | 0,05         |
| Carga dinámica (m)       | 1,12         |
| Diferencia de altura (m) | 1,5          |

De acuerdo con lo que se requiere de carga para que el sistema funcione la diferencia de altura es suficiente para que este opere adecuadamente.

Nota: Para ambos sistemas se implementó el uso de un filtro de anillos a la salida del tanque para el control de partículas y sedimentos que puedan obstruir o dañar las tuberías. Las pérdidas de carga se obtuvieron según lo

establecido por el fabricante, siendo de 0,25 m para el caso del diseño de Finca Orgánicos Doña María y despreciables para Finca La Pavilla, ya que el caudal es muy bajo y por ende las pérdidas también de acuerdo con la curva del filtro (ver Anexo 9).

## 5.11. Materiales requeridos

**Cuadro 5.10.1** Materiales requeridos para el sistema de finca Orgánicos Doña María

|  |
|--|
| Cinta de riego por goteo 16mm                |
| 84 Conectores para cinta de riego (1/2 pulg) |
| 5 Válvula de paso (1 ¼ pulg)                 |
| 28 m de Tubería de polietileno (1 ¼ pulg)    |
| 1 Reducción 2" x 1 ¼"                        |
| 7 Tubos P.V.C (1 ¼ pulg)                     |
| Tanque (6 m <sup>3</sup> )                   |
| 4 T lisa P.V.C 1 ¼ pulg                      |
| 1 Filtro Azud 2" de anillos 120 mesh         |
| 1 Tapón P.V.C (1 ¼ pulg)                     |
| 4 Tapón polietileno (1 ¼ pulg)               |

**Cuadro 5.10.2** Materiales requeridos para el sistema de finca La Pavilla

|   |
|---|
| 2 Rollo Politubo AZUD 16 mm x 100 M       |
| Válvula de paso (1 ¼ pulg)                |
| 1 Válvula de paso 1 pulg                  |
| 12,5 m de Tubería de polietileno (1 pulg) |
| 1 Reducción 31 x 25 mm                    |
| 4 Tubos P.V.C (1 ¼ pulg)                  |
| 2 Codos 90° P.V.C (1 ¼ pulg)              |
| Tanque (6 m3)                             |
| 1 Filtro Azud de anillos 120 mesh         |
| Tapón polietileno (1 pulg)                |

## 5.12. Operación del sistema

**Cuadro 5.11.1** Operación semanal del sistema para finca Orgánicos Doña María

| <b>Día</b> | <b>Tiempo de riego</b> | <b>Válvulas</b> | <b>Cultivos</b>         |
|------------|------------------------|-----------------|-------------------------|
| Lunes      | 14 min                 | B, C, D         | Apio, Lechuga, Espinaca |
|            | 12 min                 | E               | Acelga                  |
| Martes     | 14 min                 | B, C, D         | Apio, Lechuga, Espinaca |
|            | 12 min                 | E               | Acelga                  |
| Jueves     | 14 min                 | B, C, D         | Apio, Lechuga, Espinaca |
|            | 12 min                 | E               | Acelga                  |
| Viernes    | 14 min                 | B, C, D         | Apio, Lechuga, Espinaca |
|            | 12 min                 | E               | Acelga                  |

**Cuadro 5.11.2** Operación semanal del sistema para finca La Pavilla

| <b>Día</b> | <b>Tiempo de riego</b> | <b>Válvulas</b> | <b>Cultivos</b> |
|------------|------------------------|-----------------|-----------------|
| Lunes      | 25 min                 | 1               | Apio            |
|            | 50 min                 | 1               | Tomate          |
| Martes     | 25 min                 | 1               | Apio            |
|            | 50 min                 | 1               | Tomate          |
| Jueves     | 25 min                 | 1               | Apio            |
|            | 50 min                 | 1               | Tomate          |
| Viernes    | 25 min                 | 1               | Apio            |
|            | 50 min                 | 1               | Tomate          |

En el caso de finca La Pavilla al sembrarse una temporada toda el área de apio y luego toda el área de tomate, se operará una sola válvula y la programación de riego será para cada temporada, es decir cuando se siembre apio o cuando se siembre tomate.

**Nota:** Las válvulas y distribución de los sistemas de riego se muestra en los Anexos 12 y 13.

## **6. ANÁLISIS ECONÓMICO**

Para el análisis económico de ambos sistemas se plantearon los siguientes supuestos:

1) Se realizará una producción constante de tal modo que se obtengan ingresos semanalmente.

2) Se estima una vida útil del sistema de 3 años, generándose una probabilidad de cumplimiento del 81%.

3) No obstante si se realizara un manejo muy riguroso podría ser de hasta 5 años la vida útil, por ende, el proyecto será evaluado a cinco años sin incurrir en inversiones adicionales como escenario optimista.

4) Llevándose a cabo un manejo inadecuado del sistema de riego por la ejecución de ciertas labores agrícolas culturales la vida útil podría reducirse a 2 años, escenario que será evaluado como pesimista.

5) Con el diseño realizado y un adecuado manejo del sistema se estima que los costos de funcionamiento no sean muy altos.

6) Posiblemente se requiera de otra fuente de agua para los meses de ene a mayo, julio, agosto, noviembre y diciembre.

7) La tasa comparativa tomando en cuenta certificados de depósito a plazo a 1 año, se define en 8%, compuesta de una tasa referencia de inversión en colones de 6,20% (BNCR) más spread de 1,8%.

8) El gasto por salarios incluye 13 horas mensuales en labores de un peón agrícola, cuyo salario es calculado tomando como referencia la tabla de salarios mínimos por ocupación del MTSS.

9) El capital para la inversión inicial se obtiene de fondos propios por lo que no se requiere de financiamientos externos.

10) Se está considerando un 80 % de los ingresos para subsanar el costo del proyecto, ya que el 20% restante se provisiona para cubrir los costos de producción según la experiencia del cliente.

11) Se considera en todos los escenarios omitir la inflación, ya que por su poca representatividad se trabaja bajo la premisa de colones constantes.

**Cuadro 6.1** Gastos y costos del sistema de riego por goteo para finca Orgánicos Doña María

**Estimación Costos y Gastos**

**Gastos del sistema de Riego (Colones)**

| Gasto                              | Mes 1          | Mes 2         | Mes 3         | Mes 4         | Mes 5         | Mes 6         | Mes 7         | Mes 8         | Mes 9         | Mes 10        | Mes 11        | Mes 12        | Costo Anual ¢    |
|------------------------------------|----------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|------------------|
| Capacitación                       | 5 531          |               |               |               |               |               |               |               |               |               |               |               |                  |
| Gasto de Salarios                  | 3 884          | 3 884         | 3 884         | 3 884         | 3 884         | 3 884         | 3 884         | 3 884         | 3 884         | 3 884         | 3 884         | 3 884         |                  |
| Cargas sociales                    | 1 554          | 1 554         | 1 554         | 1 554         | 1 554         | 1 554         | 1 554         | 1 554         | 1 554         | 1 554         | 1 554         | 1 554         |                  |
| Consultoría por servicios técnicos | 719 085        | 24 891        |               |               |               |               |               |               |               |               |               |               |                  |
| Consumo de agua                    | 38 567         | 38 567        | 38 567        | 38 567        | 35 167        | 33 931        | 35 308        | 35 547        | 32 132        | 33 228        | 35 462        | 38 567        |                  |
| <b>Total</b>                       | <b>768 622</b> | <b>68 897</b> | <b>44 005</b> | <b>44 005</b> | <b>40 605</b> | <b>39 369</b> | <b>40 746</b> | <b>40 985</b> | <b>37 571</b> | <b>38 666</b> | <b>40 900</b> | <b>44 005</b> | <b>1 248 377</b> |
| Gasto por depreciacion             | 11 104         | 11 104        | 11 104        | 11 104        | 11 104        | 11 104        | 11 104        | 11 104        | 11 104        | 11 104        | 11 104        | 11 104        |                  |

**Costos del sistema de Riego (Colones)**

| Costo  | Mes 1              | Mes 2        | Mes 3        | Mes 4        | Mes 5        | Mes 6        | Mes 7        | Mes 8        | Mes 9        | Mes 10       | Mes 11       | Mes 12       | Costo Anual ¢      |
|--|--------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------------|
| Cinta de riego por goteo 16mm                | 203 840            |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              | 203 840            |
| 84 Conectores para cinta de riego (1/2 pulg) | 13 208             |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              | 13 208             |
| 5 Válvula de paso (1 1/4 pulg)               | 11 145             |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              | 11 145             |
| 28 m de Tubería de polietileno (1 pulg)      | 22 400             |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              | 22 400             |
| 1 Reducción 50 x 31 mm                       | 1 603              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              | 1 603              |
| 7 Tubos P.V.C (1 1/4 pulg)                   | 44 198             |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              | 44 198             |
| Tanque (6 m <sup>3</sup> )                   | 578 000            |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              | 578 000            |
| 4 T lisa P.V.C 1 1/4 pulg                    | 32 000             |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |                    |
| 1 Filtro Azud de anillos 120 mesh            | 21 042             |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              | 21 042             |
| Tapón P.V.C (1 1/4 pulg)                     | 2 500              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              | 2 500              |
| 4 Tapón polietileno (1 1/4 pulg)             | 2 800              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              | 2 800              |
| <b>Total</b>                                 | <b>¢932 736,16</b> | <b>¢0,00</b> | <b>¢900 736,16</b> |

**Cuadro 6.2** Flujo de caja bajo un escenario pesimista del proyecto en finca Orgánicos Doña María

Flujo Efectivo Sistema de Riego (Colones)

| Rubro                                   | 0                   | Año 1               | Año 2               | Año 3                |
|---|---------------------|---------------------|---------------------|----------------------|
| Ingresos                                |                     | 5 897 460,00        | 5 897 460,00        | 5 897 460,00         |
| Costos (menos)                          |                     | 932 736,16          | 21 042,00           | 21 042,00            |
| <b>Utilidad Bruta</b>                   |                     | <b>4 964 723,84</b> | <b>5 876 418,00</b> | <b>5 876 418,00</b>  |
| Gastos (menos)                          |                     | 1 248 377,46        | 65 258,93           | 65 258,93            |
| Gastos no desembolsables (depreciacion) |                     | 133 248,02          | 133 248,02          | 133 248,02           |
| <b>Utilidad antes de impuestos</b>      |                     | <b>3 583 098,36</b> | <b>5 677 911,05</b> | <b>5 677 911,05</b>  |
| Impuesto de la renta                    | 0,10                | 358 309,84          | 567 791,10          | 567 791,10           |
| <b>Utilidad despues de impuestos</b>    |                     | <b>3 223 721,47</b> | <b>5 110 119,94</b> | <b>5 110 119,94</b>  |
| Gastos no desembolsables (depreciacion) |                     | 133 248,02          | 133 248,02          | 133 248,02           |
| Incremento capital de trabajo           |                     | -                   |                     |                      |
| Recuperacion del capital de trabajo     |                     |                     |                     |                      |
| Nueva Inversion Requerida               | 900 736,16          |                     |                     |                      |
| Recuperacion de la Inversion            |                     | 900 736,16          |                     |                      |
| Amortizacion de deuda                   | -                   | -                   | -                   | -                    |
| <b>Flujo de Efectivo Nominal</b>        | <b>- 900 736,16</b> | <b>4 257 705,66</b> | <b>5 243 367,97</b> | <b>5 243 367,97</b>  |
| <b>Flujo Acumulado</b>                  | <b>- 900 736,16</b> | <b>3 356 969,50</b> | <b>8 600 337,46</b> | <b>13 843 705,43</b> |

|   |                |
|---|----------------|
| <b>Periodo de Recuperación</b>              | 1,00           |
| <b>Calculo de los Indicadores VAN y TIR</b> |                |
| Flujos Descontados                          | ¢12 600 017,50 |
| VAN 8%                                      | ¢11 699 281,34 |
| TIR   | 488%           |

**Cuadro 6.3** Comportamiento del VAN y TIR bajo los diferentes escenarios del proyecto para finca Orgánicos Doña María

| Escenarios   |           |                     |            |         |                         |
|--------------|-----------|---------------------|------------|---------|-------------------------|
| Escenarios   | Inversion | Flujo<br>Descontado | VAN        | TIR     | Periodo<br>recuperación |
| Flujo Normal | 900 736   | ¢12 600 017,50      | 11 699 281 | 488,43% | 1 año                   |
| Optimista    | 900 736   | ¢20 022 597,62      | 19 121 861 | 491,12% | 1 año                   |
| Pesimista    | 900 736   | ¢8 437 662,96       | 7 536 927  | 474,09% | 1 año                   |

**Cuadro 6.4** Gastos y costos del sistema de riego por goteo para finca La Pavilla.

**Estimación Costos y Gastos**

**Gastos del sistema de Riego (Colones)**

| Gasto                              | Mes 1          | Mes 2         | Mes 3         | Mes 4         | Mes 5        | Mes 6        | Mes 7        | Mes 8        | Mes 9        | Mes 10       | Mes 11       | Mes 12        | Costo Anual ¢  |
|------------------------------------|----------------|---------------|---------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|----------------|
| Capacitación                       | 5 531          |               |               |               |              |              |              |              |              |              |              |               |                |
| Gasto de Salarios                  | 2 590          | 2 590         | 2 590         | 2 590         | 2 590        | 2 590        | 2 590        | 2 590        | 2 590        | 2 590        | 2 590        | 2 590         |                |
| Cargas sociales                    | 1 036          | 1 036         | 1 036         | 1 036         | 1 036        | 1 036        | 1 036        | 1 036        | 1 036        | 1 036        | 1 036        | 1 036         |                |
| Consultoría por servicios técnicos | 719 085        | 24 891        |               |               |              |              |              |              |              |              |              |               |                |
| Consumo de agua                    | 10 060         | 10 060        | 10 060        | 10 060        | 4 960        | 3 105        | 5 170        | 5 536        | 407          |              |              | 10 060        |                |
| <b>Total</b>                       | <b>738 301</b> | <b>38 577</b> | <b>13 685</b> | <b>13 685</b> | <b>8 585</b> | <b>6 731</b> | <b>8 796</b> | <b>9 161</b> | <b>4 033</b> | <b>3 625</b> | <b>3 625</b> | <b>13 685</b> | <b>862 491</b> |
| Gasto por depreciación             | 7 975          | 7 975         | 7 975         | 7 975         | 7 975        | 7 975        | 7 975        | 7 975        | 7 975        | 7 975        | 7 975        | 7 975         |                |

**Costos del sistema de Riego (Colones)**

| Costo                                     | Mes 1              | Mes 2        | Mes 3        | Mes 4        | Mes 5        | Mes 6        | Mes 7        | Mes 8        | Mes 9        | Mes 10       | Mes 11       | Mes 12       | Costo Anual ¢      |
|---|--------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------------|
| 2 Rollo Politubo AZUD 16 mm x 100 M       | 28 942             |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              | 28 942             |
| Válvula de paso (1 1/4 pulg)              | 2 229              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              | 2 229              |
| 1 Válvula de paso 1 pulg                  | 900                |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              | 900                |
| 12,5 m de Tubería de polietileno (1 pulg) | 9 500              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              | 9 500              |
| 1 Reducción 31 x 25 mm                    | 632                |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              | 632                |
| 2 Codos 90º P.V.C (1 ¼ pulg)              | 3 020              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              | 3 020              |
| 4 Tubos P.V.C (1 1/4 pulg)                | 25 256             |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              | 25 256             |
| Tanque (6 m <sup>3</sup> )                | 578 000            |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              | 578 000            |
| 1 Filtro Azud de anillos 120 mesh         | 21 042             |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              | 21 042             |
| Tapón polietileno (1 pulg)                | 396                |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              | 396                |
| <b>Total</b>                              | <b>¢669 916,39</b> | <b>¢0,00</b> | <b>¢669 916,39</b> |

**Cuadro 6.5** Flujo de caja bajo un escenario pesimista del proyecto para finca La Pavilla

Flujo Efectivo Sistema de Riego (Colones)

| Rubro                                   | 0                   | Año 1               | Año 2               | Año 3               |
|---|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Ingresos                                |                     | 3 948 960,00        | 3 948 960,00        | 3 948 960,00        |
| Costos (menos)                          |                     | 669 916,39          | 21 042,00           | 21 042,00           |
| <b>Utilidad Bruta</b>                   |                     | <b>3 279 043,61</b> | <b>3 927 918,00</b> | <b>3 927 918,00</b> |
| Gastos (menos)                          |                     | 862 490,63          | 43 505,95           | 43 505,95           |
| Gastos no desembolsables (depreciacion) |                     | 95 702,34           | 95 702,34           | 95 702,34           |
| <b>Utilidad antes de impuestos</b>      |                     | <b>2 320 850,64</b> | <b>3 788 709,71</b> | <b>3 788 709,71</b> |
| Impuesto de la renta                    | 0,10                | 232 085,06          | 378 870,97          | 378 870,97          |
| <b>Utilidad despues de impuestos</b>    |                     | <b>2 066 983,91</b> | <b>3 409 838,74</b> | <b>3 409 838,74</b> |
| Gastos no desembolsables (depreciacion) |                     | 95 702,34           | 95 702,34           | 95 702,34           |
| Incremento capital de trabajo           |                     | -                   |                     |                     |
| Recuperacion del capital de trabajo     |                     |                     |                     |                     |
| Nueva Inversion Requerida               | 669 916,39          |                     |                     |                     |
| Recuperacion de la Inversion            |                     | 669 916,39          |                     |                     |
| Amortizacion de deuda                   | -                   | -                   | -                   | -                   |
| <b>Flujo de Efectivo Nominal</b>        | <b>- 669 916,39</b> | <b>2 832 602,64</b> | <b>3 505 541,08</b> | <b>3 505 541,08</b> |
| <b>Flujo Acumulado</b>                  | <b>- 669 916,39</b> | <b>2 162 686,25</b> | <b>5 668 227,33</b> | <b>9 173 768,40</b> |

|   |               |
|---|---------------|
| <b>Periodo de Recuperación</b>              | 1,00          |
| <b>Calculo de los Indicadores VAN y TIR</b> |               |
| Flujos Descontados                          | ¢8 411 028,20 |
| VAN 8%                                      | ¢7 741 111,81 |
| TIR   | 438%          |

**Cuadro 6.6** Comportamiento del VAN y TIR bajo los diferentes escenarios del proyecto para finca La Pavilla

| Escenarios   |           |                     |            |         |                         |
|--------------|-----------|---------------------|------------|---------|-------------------------|
| Escenarios   | Inversion | Flujo<br>Descontado | VAN        | TIR     | Periodo<br>recuperación |
| Flujo Normal | 669 916   | ₡8 411 028,20       | 7 741 112  | 438,14% | 1 año                   |
| Optimista    | 669 916   | ₡13 373 517,90      | 12 703 602 | 441,27% | 1 año                   |
| Pesimista    | 669 916   | ₡5 628 216,67       | 4 958 300  | 422,90% | 1 año                   |

Como se puede apreciar en las imágenes anteriores a pesar de contemplar un flujo pesimista bajo el supuesto de que por cuestiones de un manejo inadecuado del sistema la vida útil sea de tan solo 2 años, se presenta un VAR y TIR muy positivos por lo que se indica que el proyecto es factible a nivel económico y adjunto a esto que en el primer año se recuperaría la inversión inicial, por lo que la rentabilidad de este podría ser inclusive mejor.

Cabe mencionar que para la depreciación del equipo de riego se tomó según lo que dicta el reglamento de la ley del impuesto sobre la renta, la cual es del 15% para una vida útil de 7 años

## **7. ANÁLISIS SOCIOCULTURAL**

De acuerdo a lo establecido por el Plan Regulador Territorial para el cantón de Alvarado y lo visualizado en campo, cabe resaltar que este cantón es de carácter rural, sin embargo ha tenido un crecimiento urbana significativo en los últimos años, lo cual es de suma importancia contemplar ya que de cierta manera el proyecto puede influir a nivel sociocultural en la población estrechamente relacionada a este como los productores y familia directa, ya que podría generar ciertos beneficios a nivel económico por un uso más controlado del recurso hídrico y contribución con el buen desarrollo de los cultivos.

Partiendo de que el Índice de Desarrollo Humano (IDH) de Alvarado es de 0,79, la pobreza humana cantonal de 0,10. El Índice de Esperanza de Vida (IEV) es de 0,9, el Índice de Conocimiento (IC) es de 0,82, el Índice de Bienestar Material (IBM) es de 0,61, la tasa de alfabetización adulta es de 95,5% y la tasa de matriculación global es de 77,6% (datos establecidos por el proyecto PRUGAM), a través de este tipo de proyectos se podría mantener y/o mejorar esos índices, de tal modo que se aspire a una mejor producción mediante el uso de nuevas prácticas y tecnologías que ayuden a retroalimentar el conocimiento de las personas y la estabilidad social para su familia, sobre todo para aquellos que son más jóvenes.

La influencia que se puede presentar se considera que sería solamente sobre las personas directas al mismo (productores), ya que es un proyecto de pequeña índole y no de carácter social, puesto que no se pretende generar nuevas fuentes de empleo, por ejemplo, sin embargo podría significar una apertura hacia un pequeño cambio o tendencia a mejorar técnicas y formas de producir en la zona, ya que al encontrarse el proyecto bajo la directriz del MAG se puede valorar la opción de aumentar la implementación de este tipo de proyectos en el cantón y de este modo transformarse a un proyecto de tipo social; adjunto a esto se debe aclarar que no se pretende cambiar el patrimonio cultural del lugar, sino más bien dar un cierto giro positivo en la ejecución de prácticas culturales agrícolas basadas en las que se ya aplican, solamente que con ciertas implementaciones proyectadas hacia una producción agrícola más eficiente y conservadora en cuanto a los recursos y usos de suelo.

## **8. ANÁLISIS AMBIENTAL**

Tras realizar el formulario D1 de Viabilidad Ambiental dado por Setena se obtuvo como clasificación de proyecto B2, puesto que la calificación obtenida tuvo un valor de 210 puntos, para el cual se debe realizar una declaración de compromisos ambientales (ver Anexos 14 y 15), es decir completar el formulario D2 dado por Setena en la cual se presentaron las cualidades del proyecto, tomando en cuenta las sanciones que se pueden dar al incumplir con lo estipulado por el proyecto, por lo tanto cabe mencionar que a pesar de que el impacto ambiental que se generará con el proyecto no tiene mayor significancia según lo obtenido con el formulario D1, es importante dar conocer ciertos factores de relevancia pertenecientes al formulario D2. El simple hecho de reportar la cantidad de agua consumida por mes, así como la fuente de obtención es muy importante para tener un control sobre lo concedido por el ente respectivo, pues como se sabe la parte ambiental se rige por el marco jurídico y legal, por lo que no se puede sobrepasar con respecto a lo estipulado por la ley. Por otra parte en la declaración de compromisos ambientales se muestra en general el impacto dado en el proyecto (ver Anexos 16, 17 y 18) sobre factores como suelo, agua, aire; cabe mencionar que sobre el factor aire no se produce ninguna acción, por otra parte el proyecto no generará cambio en el uso de suelo, movimientos de tierra grandes ni gran producción de residuos de desecho (basura); mientras lo que respecta al agua, no se producirán aguas negras y el sistema de captación pluvial está bien encauzado para la aplicación de riego y de este modo evitar posible erosión por escorrentía.

## **9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## 9.1. Conclusiones

- Los valores obtenidos de lluvias mínimas y máximas por mes para la zona de estudio, presentaron una probabilidad de cumplimiento del 81%.
- Mediante el estudio hidrológico realizado en la zona se determinó la cantidad de agua que se puede captar, con una probabilidad de cumplimiento muy aceptable; destinada para el uso de riego, así como la cantidad de agua que se debe obtener de otra fuente.
- Pese a los períodos críticos de lluvia se planteó la implementación de un sistema con el cual el consumo de agua sea óptimo.
- Los parámetros agronómicos e hidráulicos obtenidos concuerdan con los patrones ya establecidos para un determinado tipo de suelo, cultivo y zona.
- Los sistemas de riego propuestos se adecuan a las necesidades del cultivo y zona del proyecto.
- Con el diseño del sistema planteado se garantiza una aplicación de riego uniforme y satisfactoria para los cultivos con los que se trabajó.
- El sistema de riego se adaptó a las condiciones del terreno y necesidades de consumo.
- Se logró realizar un plan de manejo y operación del sistema de tal forma que se obtenga un equilibrio entre el requerimiento de agua, funcionamiento del sistema y disponibilidad de uso de agua para aplicación de riego.
- A nivel sociocultural el proyecto no genera mayor impacto sin embargo podría ser un inicio para generar un cambio positivo en las prácticas agrícolas de la zona.
- El proyecto es completamente viable a nivel ambiental ya que no genera efectos significativos sobre este.
- El proyecto es factible desde el punto de vista económico, pues se puede recuperar la inversión inicial en un tiempo menor al proyectado para el sistema de riego, además de generarse una utilidad provechosa.

## 9.2. Recomendaciones

- Es importante dar seguimiento a los registros de lluvia para analizar el comportamiento de esta conforme el tiempo, así como tener presente que el comportamiento de las mismas pertenezca a una probabilidad de cumplimiento no menor al 80%.
- Es indispensable el cuidado al llevar a cabo las labores agrícolas pertinentes con la finalidad de conservar en buen estado los accesorios y tuberías del sistema.
- Para un correcto funcionamiento y eficiencia del sistema de riego es trascendental que el productor opere dicho sistema bajo el plan de manejo establecido.
- Con la finalidad de ajustar aún más la exactitud del requerimiento de agua del cultivo, sería ideal comenzar a realizar mediciones de temperatura y humedades dentro de los ambientes protegidos y además registrarlos a través del tiempo.
- Para evitar obstrucciones en los goteros se debe chequear constantemente el filtro y darle mantenimiento general al sistema (lavado de tuberías, etc).
- Al momento de realizar la declaración jurada respecto a la parte ambiental se debe considerar todo lo que se solicita en el formulario y no obviar nada, para que el proyecto marche conforme la ley.
- Implementar gradualmente las nuevas prácticas agrícolas (aplicación de riego) con el propósito de que el impacto sobre la cultura de los productores de la zona no sea grotesca, sino adoptable.
- Durante la ejecución el proyecto es importante que los gastos se registren conforme lo estipulado por la ley.

## **10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Andrade, R, Ibarra, R, Guncay, F. (2013). “Determinación de peso específico aparente por el método del hoyo”. Recuperado de: <https://es.slideshare.net/tato762/determinacin-de-la-densidad-aparente>
- Arboleda, J. (2008). “Manual para la evaluación de impacto ambiental de proyectos, obras o actividades”. Recuperado de:  
[https://www.kpesic.com/sites/default/files/Manual\\_EIA\\_Jorge%20Arboleda.pdf](https://www.kpesic.com/sites/default/files/Manual_EIA_Jorge%20Arboleda.pdf)
- Arboleda, J. (2008). “Manual para la evaluación de impacto ambiental de proyectos, obras o actividades”. Recuperado de:  
[https://www.kpesic.com/sites/default/files/Manual\\_EIA\\_Jorge%20Arboleda.pdf](https://www.kpesic.com/sites/default/files/Manual_EIA_Jorge%20Arboleda.pdf)
- AYA. (2017). “NORMA TÉCNICA PARA DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE, DE SANEAMIENTO Y PLUVIAL”. Recuperado de:  
<https://www.aya.go.cr/Noticias/Documents/Norma%20dise%C3%B1o%20y%20construccion%20sistemas%20agua,%20saneamiento%20y%20pluvial.pdf>
- Baca Urbina, G. (1996). “Evaluación de proyectos” (4. rd ed.). México: Mc Graw Hill. Recuperado de: <http://www.eumed.net/jirr/pdf/19.pdf>
- Butrón, C. (2017). “CALIBRACIÓN DE LA ECUACIÓN FAO PENMAN-MONTEITH PARA CALCULAR LA EVAPOTRANSPIRACIÓN DE REFERENCIA (ET<sub>o</sub>) EN CONDICIONES DE INVERNADERO EN EL CENTRO EXPERIMENTAL DE COTA COTA” Recuperado de: <https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/15245/TM-2461.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Esmeral, Y. (2011). “ANÁLISIS DE LA EVAPOTRANSPIRACIÓN REAL EN EL CULTIVO DE ROSA”. Recuperado de: <http://bdigital.unal.edu.co/3858/1/820021.2010.pdf>
- FAO. (2013). “CAPTACIÓN Y ALMACENAMIENTO DE AGUA DE LLUVIA. Opciones técnicas para la agricultura familiar en América Latina y el Caribe”. Recuperado de:  
<http://www.fao.org/3/i3247s/i3247s.pdf>
- FAO. (s.f). “Evapotranspiración del cultivo en condiciones no estándar”. Recuperado de:  
<http://www.fao.org/3/x0490s/x0490s03.pdf>
- FAO. (2013). “Manual de Riego Parcelario”. Recuperado de:  
[http://www.fao.org/tempref/GI/Reserved/FTP\\_FaoRlc/old/prior/reccnat/pdf/MR\\_cap1.PDF](http://www.fao.org/tempref/GI/Reserved/FTP_FaoRlc/old/prior/reccnat/pdf/MR_cap1.PDF)

- Hamilton, W. M. (2005). *“Formulación y evaluación de proyectos tecnológicos empresariales aplicados”*. Recuperado de:  
[https://books.google.co.cr/books?id=PfpYxDclwUMC&pg=PT169&dq=Tasa+Interna+de+Retorno+\(TIR\)&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwjgzbDUIJvaAhXJUJAKHfFOCrcQ6AEITTAH#v=onepage&q=Tasa%20Interna%20de%20Retorno%20\(TIR\)&f=false](https://books.google.co.cr/books?id=PfpYxDclwUMC&pg=PT169&dq=Tasa+Interna+de+Retorno+(TIR)&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwjgzbDUIJvaAhXJUJAKHfFOCrcQ6AEITTAH#v=onepage&q=Tasa%20Interna%20de%20Retorno%20(TIR)&f=false)
- INDER. (2017). *“Caracterización del Territorio Paraíso-Alvarado”*. Recuperado de:  
[https://www.inder.go.cr/territorios\\_inder/region\\_central/caracterizaciones/Caracterizacion-Territorio-Paraiso-Alvarado.pdf](https://www.inder.go.cr/territorios_inder/region_central/caracterizaciones/Caracterizacion-Territorio-Paraiso-Alvarado.pdf)
- Instituto de Desarrollo Rural. (2006). *“Caracterización del Territorio. Cartago-Oreamuno-El Guarco-La Unión”*. Recuperado de:  
[https://www.inder.go.cr/territorios\\_inder/region\\_central/caracterizaciones/Caracterizacion-territorio-Cartago-Oreamuno-El-Guarco-La-Union.pdf](https://www.inder.go.cr/territorios_inder/region_central/caracterizaciones/Caracterizacion-territorio-Cartago-Oreamuno-El-Guarco-La-Union.pdf)
- Liberta, B. B. (2007). *“Impacto, impacto social y evaluación del impacto”*. Recuperado de:  
<http://scielo.sld.cu/pdf/aci/v15n3/aci08307.pdf>
- López, G. (2018). *“Desarrollo de una herramienta con bases de datos relaciones para la evaluación de impactos sociales en proyectos de ingeniería”*. Recuperado de:  
<file:///C:/Users/Acer/Downloads/TFM-I-853.pdf>
- López, R. (2016). *“MANEJO Y USO EFICIENTE DEL AGUA DE RIEGO INTRAPREDIAL PARA EL SUR DE CHILE”*. Recuperado de:  
<http://biblioteca.inia.cl/medios/biblioteca/boletines/NR40569.pdf>
- MAG. (2011). *“Boletín del programa nacional sectorial de producción agrícola bajo ambientes protegidos”*. Recuperado de: [http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/BoletinAP5\(30\).pdf](http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/BoletinAP5(30).pdf)
- MAG. (2017). *“Curso corto CAPTACIÓN Y APROVECHAMIENTO DE AGUA DE LLUVIA PARA AGRICULTURA PROTEGIDA”*. Recuperado de:  
[http://www.mag.go.cr/informacion/curso\\_agua\\_pluvial/Ejemplo\\_de\\_Calculo.pdf](http://www.mag.go.cr/informacion/curso_agua_pluvial/Ejemplo_de_Calculo.pdf)
- Mahecha, J. (2017). *“GENERALIDADES DE LOS SISTEMAS DE RIEGO”*. Recuperado de:  
<https://repository.uniminuto.edu/bitstream/handle/10656/6575/CARTILLA%20ANEXA%20MAHECHA%20VANEGAS%20JAIRO%20ANDRES.pdf?sequence=9&isAllowed=y>

- Municipalidad de Alvarado. (2009). “*Plan Regulador Territorial del Cantón de Alvarado*”. Recuperado de:  
[http://www.munialvarado.go.cr/images/normativalegal/reglamentos/plan\\_regulador\\_territorial\\_cantonalvarado\\_version\\_agosto2015.pdf](http://www.munialvarado.go.cr/images/normativalegal/reglamentos/plan_regulador_territorial_cantonalvarado_version_agosto2015.pdf)
- Rojas, N. (2011). “*Curvas de Intensidad Duración Frecuencia de algunas estaciones meteorológicas mecánicas*”. Recuperado de:  
[http://www.mag.go.cr/informacion/curso\\_agua\\_pluvial/cidf\\_mecanicas.pdf](http://www.mag.go.cr/informacion/curso_agua_pluvial/cidf_mecanicas.pdf)
- Ruberto, A. (2006). “*Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental*”. Madrid, España. Editorial Mundi Prensa. Recuperado de:  
[http://centro.paot.mx/documentos/varios/guia\\_metodologica\\_impacto\\_ambiental.pdf](http://centro.paot.mx/documentos/varios/guia_metodologica_impacto_ambiental.pdf)
- Silva et al. (2015). “Manual de estudio y ejercicios relacionados con el contenido de agua en el suelo y su uso por los cultivos” Recuperado de:  
<https://pdfs.semanticscholar.org/2943/2db0f35241f3824f8c3637f3def805267ea5.pdf>
- Villalobos, M. (2008). “*Fundamentos de Riego*”. Cartago, Costa Rica: Centro de Desarrollo de Material Bibliográfico (CDMB).
- Villalobos, M. (2011). “*Material de clase: Riego por Goteo*”. Cartago.
- INA CIRSA (s.f). “Lluvias de diseño”. Recuperado de:  
[https://www.ina.gov.ar/cirsa/hidrologia/pdf/INA\\_CIRSA\\_Lluvias\\_de\\_Disenio.pdf](https://www.ina.gov.ar/cirsa/hidrologia/pdf/INA_CIRSA_Lluvias_de_Disenio.pdf)

## **11. ANEXOS**

**Anexo 1** Valores de Yt.según el tiempo de retorno. Fuente: Rojas, 2011

|                |         |         |         |         |         |         |         |         |        |        |
|----------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|--------|
| T              | 2       | 5       | 10      | 25      | 30      | 50      | 75      | 100     | 250    | 500    |
| Y <sub>T</sub> | 0.36651 | 1.49994 | 2.25037 | 3.19853 | 3.38429 | 3.90194 | 4.31078 | 4.60015 | 5.5194 | 6.2136 |

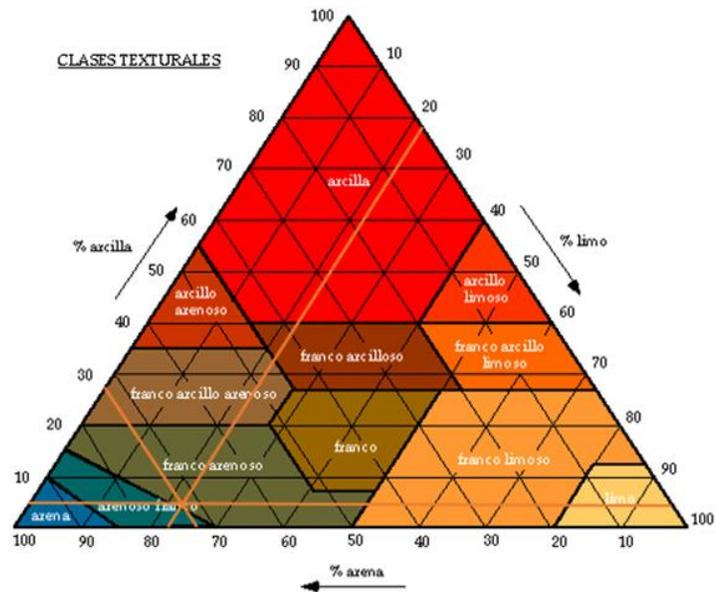
**Anexo 2** Valores de yn y Sn según el número de datos de la muestra. Fuente: Rojas, 2011

| Nºdatos | yn      | Sn      | Nºdatos | yn      | Sn      | Nºdatos | 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 3** Valores de Ce según el tipo de material. 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 4** Triángulo Textural. Fuente: Crespo, 2019



**Anexo 5** Valores de CC y PMP según el tipo de suelo. Fuente: Silva et all, 2015

| Clase Textural   | CC (%) | PMP (%) |
|------------------|--------|---------|
| Arcilla          | 23-46  | 13-29   |
| Franco arcillosa | 18-23  | 9-10    |
| Franco           | 12-18  | 4-11    |
| Franco arenosa   | 8-13   | 4-6     |
| Arena            | 5-7    | 1-3     |

**Anexo 6** Valores de Kc, profundidad de raíces y fracción de agotamientos para cada cultivo. Fuente: FAO, s.f.

| Cultivo  | Kc   | Ag  | Eh  | Ep  | Prof (m) |
|----------|------|-----|-----|-----|----------|
| Lechuga  | 1    | 0,3 | 0,2 | 0,2 | 0,5      |
| Apio     | 1    | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,5      |
| Acelga   | 0,95 | 0,3 | 0,2 | 0,2 | 0,5      |
| Espinaca | 1    | 0,2 | 0,3 | 0,2 | 0,5      |
| Tomate   | 1,15 | 0,4 | 0,4 | 0,7 | 0,7      |

**Anexo 7** Porcentaje del área humedecida en riego por goteo (PAR). Fuente: Villalobos, 2018.

| Espacia-<br>miento<br>entre<br>Laterales<br>[ 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 |
| Espaciamento 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 |   |
| 1.0  | 33                            | 70  | 100 | 40  | 80  | 100 | 80  | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100       | 100 |   |
| 1.2  | 25                            | 58  | 92  | 33  | 67  | 100 | 67  | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100       | 100 |   |
| 1.5  | 20                            | 47  | 73  | 26  | 53  | 80  | 53  | 80  | 100 | 80  | 100 | 100 | 100       | 100 |   |
| 2.0  | 15                            | 35  | 55  | 20  | 40  | 60  | 40  | 60  | 80  | 60  | 80  | 100 | 80        | 100 |   |
| 2.5  | 12                            | 28  | 44  | 16  | 32  | 48  | 32  | 48  | 64  | 48  | 64  | 80  | 64        | 80  |   |
| 3.0  | 10                            | 23  | 37  | 13  | 26  | 40  | 26  | 40  | 53  | 40  | 53  | 67  | 53        | 67  |   |
| 3.5  | 9                             | 20  | 31  | 11  | 23  | 34  | 23  | 34  | 46  | 34  | 46  | 57  | 46        | 57  |   |
| 4.0  | 8                             | 18  | 28  | 10  | 20  | 30  | 20  | 30  | 40  | 30  | 40  | 50  | 40        | 50  |   |
| 4.5  | 7                             | 16  | 24  | 9   | 18  | 26  | 18  | 26  | 36  | 26  | 36  | 44  | 36        | 44  |   |
| 5.0  | 6                             | 14  | 22  | 8   | 16  | 24  | 16  | 24  | 32  | 24  | 32  | 40  | 32        | 40  |   |
| 6.0  | 5                             | 12  | 20  | 7   | 14  | 20  | 14  | 20  | 27  | 20  | 27  | 34  | 27        | 34  |   |

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

**Anexo 8** Especificaciones técnicas de la cinta de riego por goteo. Fuente: Ingeniería & Sistemas de Riego S.A

# TopDrip PC & PC AS

**DATOS TECNICOS**

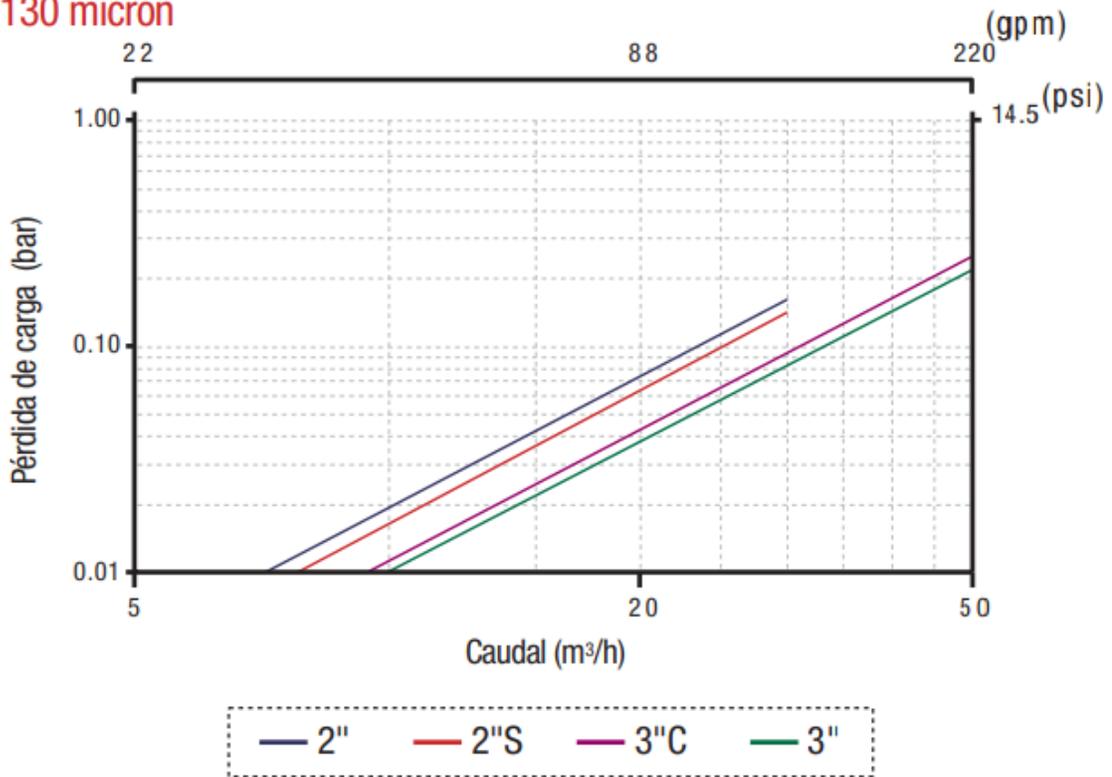
- Caudal: 1.0, 1.6 l/h
- Rango de regulación de presión: 0.4 – 2.5 bar
- Presión de operación: 0.4 – 2.5 bar, de acuerdo al espesor de la pared
- Espesor de pared: 13-25 mil, 0.33-0.63 mm
- Grado de filtración recomendado: 130 micrones (120 mesh)

**DATOS TECNICOS**

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

**Anexo 9** Relación de pérdida de carga según el caudal dado en el filtro

**PÉRDIDA DE CARGA FILTRO AZUD AGL DISCOS**  
130 micron



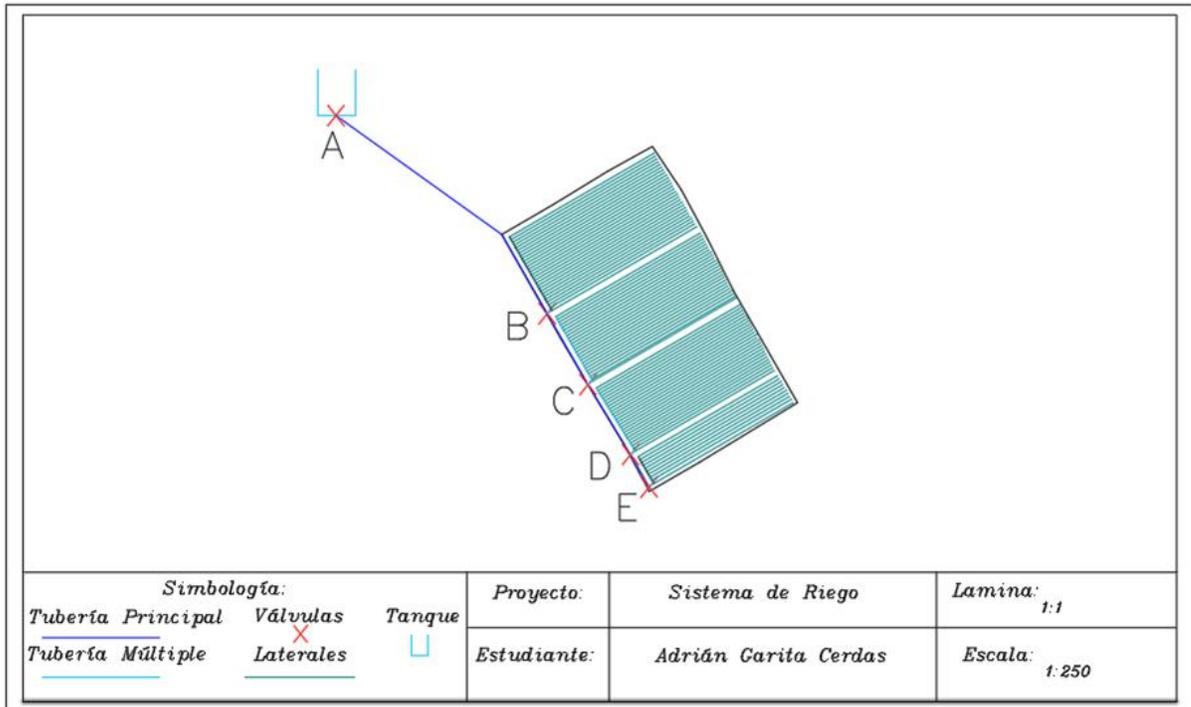
**Anexo 10** Valores de volumen requerido y faltante para finca La Pavilla

| <b>Mes</b> | <b>Volumen requerido (m<sup>3</sup>)</b> | <b>Volumen mín captado (m<sup>3</sup>)</b> | <b>Volumen faltante (m<sup>3</sup>)</b> |
|------------|--|--|---|
| Ene        | 7,16                                     | 0,00                                       | 7,16                                    |
| Feb        | 7,16                                     | 0,00                                       | 7,16                                    |
| Mar        | 7,16                                     | 0,00                                       | 7,16                                    |
| Abr        | 7,16                                     | 0,00                                       | 7,16                                    |
| May        | 7,16                                     | 3,63                                       | 3,53                                    |
| Jun        | 7,16                                     | 4,95                                       | 2,21                                    |
| Jul        | 7,16                                     | 3,48                                       | 3,68                                    |
| Ago        | 7,16                                     | 3,22                                       | 3,94                                    |
| Set        | 7,16                                     | 6,87                                       | 0,29                                    |
| Oct        | 7,16                                     | 5,70                                       | -                                       |
| Nov        | 7,16                                     | 3,32                                       | -                                       |
| Dic        | 7,16                                     | 0,00                                       | 7,16                                    |

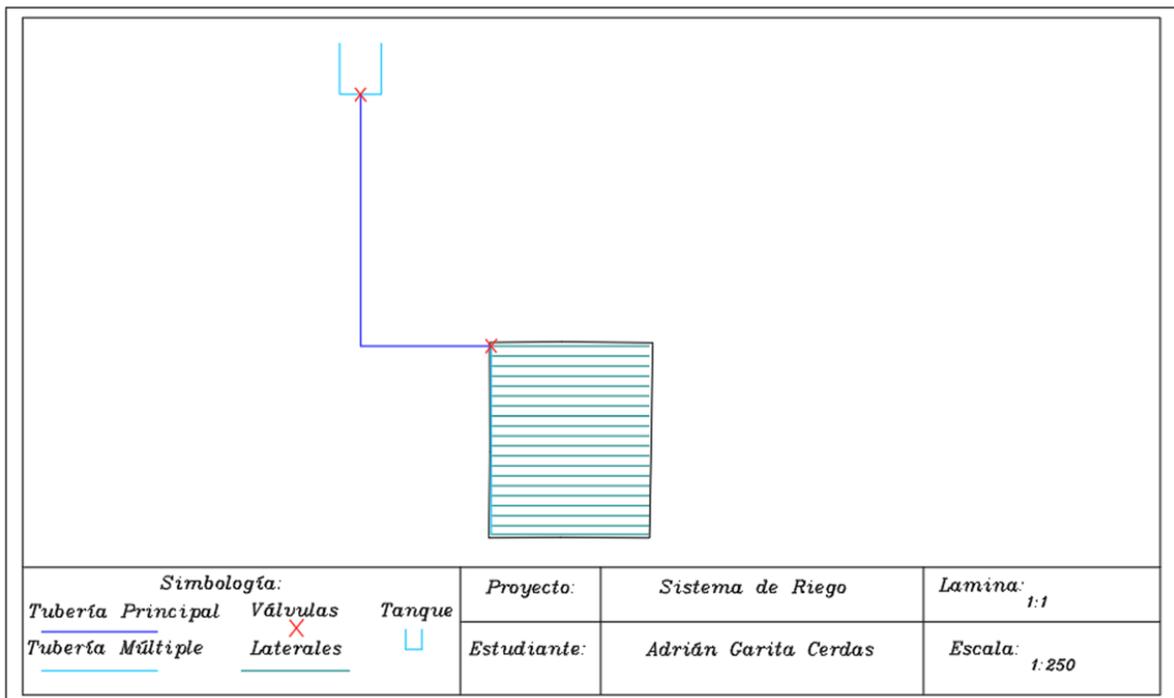
**Anexo 11** Valores de volumen requerido y faltante para finca Orgánicos Doña María

| <b>Mes</b> | <b>Volumen requerido (m<sup>3</sup>)</b> | <b>Volumen mín captado (m<sup>3</sup>)</b> | <b>Volumen faltante (m<sup>3</sup>)</b> |
|------------|--|--|---|
| Ene        | 27,45                                    | 0,00                                       | 27,45                                   |
| Feb        | 27,45                                    | 0,00                                       | 27,45                                   |
| Mar        | 27,45                                    | 0,00                                       | 27,45                                   |
| Abr        | 27,45                                    | 0,00                                       | 27,45                                   |
| May        | 27,45                                    | 2,42                                       | 25,03                                   |
| Jun        | 27,45                                    | 3,30                                       | 24,15                                   |
| Jul        | 27,45                                    | 2,32                                       | 25,13                                   |
| Ago        | 27,45                                    | 2,15                                       | 25,30                                   |
| Set        | 27,45                                    | 4,58                                       | 22,87                                   |
| Oct        | 27,45                                    | 3,80                                       | 23,65                                   |
| Nov        | 27,45                                    | 2,21                                       | 25,24                                   |
| Dic        | 27,45                                    | 0,00                                       | 27,45                                   |

**Anexo 12** Distribución del sistema de riego en invernadero de Finca Orgánicos Doña María



**Anexo 13** Distribución del sistema de riego en invernadero de Finca La Pavilla



**Anexo 14** Calificación del proyecto según el formulario D1 de SETENA.

| <b>Calificación obtenida de la SIA (Significancia del Impacto Ambiental)</b> |     |
|--|-----|
| Valor preliminar de SIA  | 70  |
| Valor de SIA ajustado por regulaciones (SIA <sup>R</sup> )                   | 140 |
| Calificación final de la SIA   | 210 |

**Anexo 15** Clasificación en función de la calificación final que establece el procedimiento en SETENA.

| <b>Tipo</b> | <b>Calificación final</b>               | <b>Procedimiento</b>                           |
|-------------|---|--|
| <b>A</b>    | Mayor que 1000.                         | Estudio de Impacto Ambiental.                  |
| <b>B1</b>   | Mayor que 300 y menor o igual que 1000. | Pronóstico-Plan de Gestión Ambiental.          |
| <b>B2</b>   | Menor o igual que 300.                  | Declaración Jurada de Compromisos Ambientales. |

**Anexo 16** Fuentes que se consumirán con la ejecución del proyecto, según el formulario D2 de SETENA. Fuente: Setena.

| <b>Aspectos</b> | <b>Componentes</b> | <b>Efectos</b>  | <b>SI</b> | <b>NO</b> | <b>NA</b> |
|-----------------|--------------------|---|-----------|-----------|-----------|
| <b>Consumo</b>  | Fuente de agua     | ¿Su proyecto se abastecerá de un acueducto?   | X         |           |           |
|                 |                    | ¿Su proyecto se abastecerá de un pozo?  |           | X         |           |
|                 |                    | ¿Su proyecto se abastecerá de un río, lago, manantial o naciente?                               |           | X         |           |
|                 |                    | ¿El consumo de agua estimado es superior a 50 m <sup>3</sup> /mes (consumo típico de una casa)? |           | X         |           |
|                 | Suelo              | ¿Su proyecto provocará un cambio en el uso del suelo?   |           | X         |           |
|                 | Energía            | ¿Necesita para el desarrollo de la actividad energía eléctrica?                                 |           | X         |           |
|                 |                    | ¿Utilizará una fuente propia de energía (auto generación)?<br>Especifique:                      |           | X         |           |
|                 |                    | ¿El consumo estimado de energía es superior a 240 MW h/año (consumo típico de una casa).        |           |           |           |
|                 | Cobertura vegetal  | ¿Para el desarrollo del proyecto necesita talar (cortar) árboles?<br>Cuántos:                   |           | X         |           |

**Anexo 17** Descripción del impacto que se produce con el proyecto, según el formulario D2 de SETENA. Fuente: Setena.

|         |          |  |   |   |  |   |
|---------|----------|--|---|---|--|---|
| Impacto | Aire     | ¿Su actividad, obra o proyecto emite al aire: gases, humo, ceniza, hollín por uso de hornos, chimeneas, motores fijos o quema de desechos agrícolas?   |   | X |  |   |
|         |          | ¿Su actividad, obra o proyecto emite gases o partículas, por el uso de vehículos, tractores, montacargas u otra maquinaria?  |   | X |  |   |
|         |          | ¿Su actividad, obra o proyecto producirá inmisiones (olores fuertes) por el uso de solventes, pinturas, basura orgánica y otros como consecuencia de su proceso productivo?  |   | X |  |   |
|         |          | ¿Su actividad, obra o proyecto producirá ruidos molestos a los vecinos inmediatos o colindantes?   |   | X |  |   |
|         | Aguas    | ¿Las aguas servidas (que son las provenientes de los baños, lavatorios, fregaderos, pilas, lavadoras, inodoros, orinales) de la actividad, obra o proyecto se tratarán mediante un tanque séptico, según regulación específica?                                |   |   |  | X |
|         |          | ¿Las aguas servidas (que son las provenientes de los baños, lavatorios, fregaderos, pilas, lavadoras, inodoros, orinales) de la actividad, obra o proyecto se tratarán en una planta de tratamiento propia, según regulación específica?                       |   |   |  | X |
|         |          | ¿Las aguas servidas (que son las provenientes de los baños, lavatorios, fregaderos, pilas, lavadoras, inodoros, orinales) de la actividad, obra o proyecto se dispondrán en un sistema de alcantarillado sanitario autorizado?                                 |   |   |  | X |
|         |          | ¿Las aguas residuales de la actividad, obra o proyecto (no incluye aguas negras) se tratarán en una planta de tratamiento propia, según regulación específica?   |   |   |  | X |
|         |          | ¿Las aguas pluviales de la actividad, obra o proyecto serán encauzadas al alcantarillado pluvial público?  |   | X |  |   |
|         |          | ¿Las aguas pluviales de la actividad, obra o proyecto serán encauzadas a un cauce de dominio público colindante?   |   | X |  |   |
|         |          | ¿Las aguas pluviales de la actividad, obra o proyecto serán encauzadas a una servidumbre de descarga existente?  | X |   |  |   |
|         | Suelo    | ¿La basura ordinaria producida durante la construcción y operación de la actividad, obra o proyecto se dispondrán en un relleno sanitario autorizado?  | X |   |  |   |
|         |          | ¿Durante la construcción y operación de la actividad, obra o proyecto se producen desechos especiales (tales como: formaletas, varillas, bolsas de cemento, cables, latas de pintura, solventes y otros similares) y se cumplirá con la regulación específica? | X |   |  |   |
|         |          | En caso que el proyecto implique demolición de edificación se debe dar acarreo, transporte y disposición final de escombros hasta una cantidad de 100 m <sup>3</sup> .   |   |   |  | X |
|         |          | El proyecto contempla movimientos de tierra de hasta 200 m <sup>3</sup> y relleno con acarreo fuera del área del proyecto.   |   | X |  |   |
|         |          | El proyecto contempla movimientos de tierra de hasta 200 m <sup>3</sup> y relleno sin movilización fuera del área del proyecto.  |   | X |  |   |
|         |          | En el caso de que el proyecto implique el desarrollo de cortes del terreno, en la cercanías de la colindancia (hasta 5 metros), el mismo contemplará el desarrollo de obras de estabilización de ingeniería,   | X |   |  |   |
|         | Cultural | La actividad, obra o proyecto afectará el patrimonio científico o el cultural o el arquitectónico o el arqueológico.   |   | X |  |   |

**Anexo 18** Descripción de otros riesgos que se pueden presentar con el proyecto, según el formulario D2 de SETENA. Fuente: Setena.

|                      |  |  |  |   |
|----------------------|--|--|--|---|
| <b>Otros riesgos</b> | Durante la operación de la actividad, obra o proyecto se almacenará y consumirá hidrocarburos como: gasolina, canfín, diesel, gas LPG, gas natural en una cantidad mínima  |  |  | X |
|                      | Durante la operación de la actividad, obra o proyecto se almacenará y consumirán agroquímicos hasta 1000 litros al mes. ¿Cuánto? Especifique ¿cuáles? (puede utilizar hojas  |  |  | X |
|                      | Durante la operación de la actividad, obra o proyecto se almacenará y consumirán algún tipo de productos peligrosos, tales como: oxígeno, gases explosivos, hidrógeno, biogas, disolventes o cualquier otro. ¿Cuánto? Especifique ¿cuáles? (puede utilizar hojas |  |  | X |