

## **CONSTANCIA DE DEFENSA PÚBLICA DE TRABAJO DE GRADUACIÓN**

A las 10:00 horas del día 18 del mes de noviembre del año 2024 la estudiante

**Keyla Verónica Chacón Castro**

presenta y defiende su trabajo de graduación titulado:

**Diseño de cuatro sistemas automatizados de riego por goteo y fertirriego en ambientes protegidos para familias productoras de hortalizas en el cantón de Pérez Zeledón, Costa Rica.**

Ante el Tribunal de Evaluación compuesto por los siguientes miembros:

Preside: Ing. Milton Solórzano Q. - MBA

Lectura: Dr. Adrián Chavarría Vidal

Asesoría externa: Lic. Adriana Gómez Castillo

Concediéndosele una calificación de 91.

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

MILTON  
ULISES  
SOLORZANO  
QUINTANA  
(FIRMA)

Firmado digitalmente  
por MILTON ULISES  
SOLORZANO  
QUINTANA (FIRMA)  
Fecha: 2024.11.18  
13:51:42 -06'00'

PRESIDENTE O PRESIDENTA

ADRIAN  
ENRIQUE  
CHAVARRIA  
VIDAL (FIRMA)

Firmado  
digitalmente por  
ADRIAN ENRIQUE  
CHAVARRIA VIDAL  
(FIRMA)  
Fecha: 2024.11.18  
13:43:56 -06'00'

LECTORA O LECTOR

ADRIANA  
GOMEZ  
CASTILLO  
(FIRMA)

Firmado digitalmente  
por ADRIANA GOMEZ  
CASTILLO (FIRMA)  
Fecha: 2024.11.18  
12:33:25 -06'00'

ASESORA O ASESOR EXTERNO



ESTUDIANTE

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA  
VICERRECTORIA 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 CUATRO SISTEMAS AUTOMATIZADOS DE RIEGO POR GOTEO Y  
FERTIRRIEGO EN AMBIENTES PROTEGIDOS PARA FAMILIAS PRODUCTORAS  
DE HORTALIZAS EN EL CANTÓN DE PÉREZ ZELEDÓN, COSTA RICA.

KEYLA VERÓNICA CHACÓN CASTRO

CARTAGO, 2024.

DISEÑO DE CUATRO SISTEMAS AUTOMATIZADOS DE RIEGO POR GOTEO Y FERTIRRIEGO EN AMBIENTES PROTEGIDOS PARA FAMILIAS PRODUCTORAS DE HORTALIZAS EN EL CANTÓN DE PÉREZ ZELEDÓN, COSTA RICA.

Keyla Verónica Chacón Castro

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

---

Milton Solórzano Quintana

Asesor

---

Natalia Gómez Calderón

Directora Escuela  
Ingeniería Agrícola

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

CARTAGO, COSTA RICA

2024



Esta obra está bajo licencia [Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

## **DEDICATORIA**

*A mis papitos Alexis Chacón y Saray Castro por cada sacrificio, apoyo y amor incondicional en esta etapa. Por enseñarme a no darme por vencida, dar todo de mí y trabajar con amor, perseverancia y transparencia siempre.*

*A mi hermanita Vielka Chacón por ser siempre mi inspiración y mi lugar seguro. Por motivarme, ayudarme y cuidarme en cada momento.*

*A esos amigos que siempre estuvieron presente aún a la distancia y los que hicieron de esta etapa una experiencia inolvidable.*

## **AGRADECIMIENTOS**

*En primer lugar, agradezco a Dios por brindarme salud, sabiduría y resiliencia, y permitirme culminar esta etapa con éxito.*

*A mi familia, por su apoyo constante, por ser siempre mi inspiración y motivación para salir adelante y cumplir mis metas.*

*A mis amigos y compañeros de estudio, Marcela y Yorjani que me ayudaron e hicieron de esta etapa una experiencia inolvidable.*

*A mis amigas Francini, Keisy y Dayana por estar presentes aún a la distancia, siempre darme palabras de aliento y motivación.*

*Al personal de la Escuela de Ingeniería Agrícola, y especialmente a mi profesor tutor Milton Solórzano Quintana, por brindarme su apoyo y consejos durante este proceso.*

*Al personal del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG,) Adriana Gómez Castillo, Andrea Cordero Sánchez y Andrés Barrantes Rivera por su valiosa contribución y apoyo.*

## Índice de Contenido

RESUMEN.....	x
ABSTRACT .....	xi
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. OBJETIVOS:.....	4
2.1. Objetivo General: .....	5
2.2. Objetivos Específicos: .....	5
3. REVISIÓN DE LITERATURA .....	6
3.1. Ambientes protegidos:.....	7
3.2. Generalidades de las hortalizas: .....	8
3.2.1. Descripción del cultivo:.....	8
3.2.2. Necesidades edafológicas:.....	8
3.2.3. Requerimientos nutricionales:.....	8
3.2.4. Requerimiento hídrico:.....	9
3.3. Cosecha de lluvia: .....	9
3.3.1. Precipitación de diseño: .....	9
3.3.2. Precipitación neta: .....	10
3.4. Riego:.....	10
3.4.1. Riego por goteo:.....	11
3.4.2. Componentes del riego por goteo:.....	11
3.5. Diseño de riego: .....	12
3.5.1. Determinación del requerimiento hídrico: .....	12
3.5.2. Diseño hidráulico:.....	17
3.6. Fertirriego:.....	18
3.6.1. Componentes esenciales: .....	18
3.7. Automatización del sistema: .....	21
3.7.1. Niveles de automatización: .....	21
3.7.2. Componentes esenciales de automatización:.....	22
3.7.3. Control para apertura y cierre de válvulas:.....	24
3.8. Análisis económico:.....	24
3.8.1. Valor actual neto (VAN): .....	24
3.8.2. Tasa interna de retorno (TIR): .....	24

3.8.3. Índice de rentabilidad (IR):.....	25
3.8.4. Periodo de recuperación descontado (PRD): .....	25
3.9. Análisis ambiental:.....	25
4. METODOLOGÍA .....	26
4.1. Reconocimiento de zona de estudio:.....	27
4.2. Análisis Topográfico:.....	27
4.3. Cosecha de agua de lluvia:.....	27
4.3.1. Precipitación de diseño: .....	27
4.3.2. Precipitación neta: .....	27
4.3.3. Volumen de agua captado:.....	28
4.4. Diseño de riego: .....	28
4.4.1 Determinación del requerimiento hídrico: .....	28
4.4.2. Diseño hidráulico del lateral:.....	33
4.4.3. Diseño hidráulico del múltiple: .....	35
4.4.4. Diseño hidráulico de la principal: .....	38
4.5. Selección del componente de fertilización:.....	39
4.6. Automatización del sistema de riego: .....	39
4.7. Análisis económico:.....	40
4.8. Análisis ambiental:.....	41
5. RESULTADOS.....	43
5.1. Reconocimiento de campo y análisis topográfico: .....	44
5.2. Determinación del requerimiento hídrico:.....	48
5.2.1. Textura: .....	48
5.2.2. Capacidad de campo y punto de marchitez permanente: .....	49
5.2.3. Densidad Aparente: .....	49
5.2.4. Evapotranspiración potencial y de cultivo:.....	50
5.2.5. Selección del gotero:.....	50
5.2.6. Demanda hídrica: .....	51
5.3. Diseño hidráulico:.....	52
5.3.1. Laterales: .....	53
5.3.2. Múltiple: .....	54
5.3.3. Principal: .....	55
5.4. Cosecha de lluvia para diseño 4: .....	57

<b>5.5. Fertirriego:</b> .....	59
<b>5.6. Automatización:</b> .....	60
<b>5.6.1. Componentes esenciales:</b> .....	60
<b>5.6.2. Aplicación de fertilizante:</b> .....	62
<b>5.6.3. Fuentes de energía:</b> .....	63
<b>5.7. Análisis económico:</b> .....	64
<b>5.8. Análisis ambiental:</b> .....	69
<b>6. CONCLUSIONES</b> .....	70
<b>7. RECOMENDACIONES</b> .....	72
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	74
<b>ANEXOS</b> .....	78

## Índice de cuadros:

<b>Cuadro 1.</b> Componentes esenciales del sistema de riego por goteo.....	12
<b>Cuadro 2.</b> Contenido de humedad en el suelo con respecto a la textura.....	15
<b>Cuadro 3.</b> Densidad aparente promedio según el tipo de suelo.....	15
<b>Cuadro 4.</b> Valores de infiltración básica según textura del suelo.....	16
<b>Cuadro 5.</b> Coeficiente de cultivo, profundidad de raíces y fracción de agotamiento para hortalizas .....	17
<b>Cuadro 6.</b> Textura del suelo obtenida de cada ambiente protegido.....	49
<b>Cuadro 7.</b> Capacidad de campo y punto de marchitez permanente de cada ambiente protegido. ...	49
<b>Cuadro 8.</b> Densidad Aparente del suelo de cada ambiente protegido.....	50
<b>Cuadro 9.</b> Requerimientos hídricos de cada ambiente protegido.....	51
<b>Cuadro 10.</b> Caracterización hidráulica de los laterales.....	53
<b>Cuadro 11.</b> Caracterización hidráulica de la tubería múltiple.....	54
<b>Cuadro 12.</b> Caracterización hidráulica de la tubería principal.....	55
<b>Cuadro 13.</b> Volumen máximo de agua que se puede captar por mes para el ambiente protegido 4.	57
<b>Cuadro 14.</b> Volumen mínimo de agua que se puede captar para el ambiente protegido 4.....	58
<b>Cuadro 15.</b> Plan de fertirriego para hortalizas.....	60
<b>Cuadro 16.</b> Consumo energético de los componentes de automatización para 1000 horas.....	63
<b>Cuadro 17.</b> Lista de materiales esenciales para el sistema de riego.....	65
<b>Cuadro 18.</b> Ingresos brutos anuales de un ambiente protegido con hortalizas varias.....	65
<b>Cuadro 19.</b> Ingresos brutos anuales de un ambiente protegido de hortalizas de hojas.....	66
<b>Cuadro 20.</b> Costos asociados a la instalación de cada sistema.....	66
<b>Cuadro 21.</b> Análisis económico de ambiente protegido de hortalizas varias.....	67
<b>Cuadro 22.</b> Análisis económico de ambiente protegido de hortalizas de hojas.....	68

## Índice de figuras:

<b>Figura 1.</b> Triángulo de clases texturales.....	14
<b>Figura 2.</b> Instalación de inyector Venturi .....	20
<b>Figura 3.</b> Imagen satelital de ambiente protegido 1 .....	45
<b>Figura 4.</b> Imagen satelital de ambientes protegidos 2 a y 2b .....	46
<b>Figura 5.</b> Imagen satelital de ambiente protegido 3. ....	47
<b>Figura 6.</b> Imagen satelital de ambiente protegido 4. ....	48
<b>Figura 7.</b> Diagrama del funcionamiento general de la automatización. ....	62
<b>Figura 8.</b> Esquema general de automatización para el sistema de riego y fertirriego. ....	64

## RESUMEN

El proyecto se enfoca en diseñar cuatro sistemas automatizados de riego por goteo y fertirriego para familias productoras de hortalizas que han sido beneficiadas con un ambiente protegido en el cantón de Pérez Zeledón, Costa Rica. Se realizó un análisis del requerimiento hídrico por medio de parámetros como textura, capacidad de campo, punto de marchitez permanente y evapotranspiración mediante muestras disturbadas e indisturbadas de suelo de cada ambiente protegido para adecuar cada diseño a las necesidades específicas de cada zona. Además, se llevó a cabo el diseño hidráulico del sistema mediante el cálculo del dimensionamiento, presión y pérdidas de presión con lo que se seleccionó las tuberías, válvulas, filtros y componentes esenciales tomando en cuenta la fuente de agua y presión disponible. También, se integró el componente de fertilización por medio de un inyector Venturi y una propuesta de automatización de los sistemas que incluye controlador central, sensores y electroválvulas para maximizar su eficiencia.

Se obtuvo como resultado la lámina neta y bruta a suministrar en cada diseño, así como el tiempo de riego y frecuencia. Se seleccionó tubería de polietileno para la principal y múltiple y, cinta de riego por goteo para los laterales, tomando en cuenta la disponibilidad en el mercado. En términos económicos, el análisis financiero demostró la rentabilidad del proyecto mediante el VAN y TIR y, por medio del formulario D1 del Setena se demostró que, además, el proyecto es viable desde el punto de vista ambiental.

**Palabras clave:** Riego, diseño hidráulico, automatización, fertirriego, goteo.

## ABSTRACT

The project focuses on designing four automated drip irrigation and fertigation systems for vegetable-producing families who have benefited from protected agricultural systems in the canton of Pérez Zeledón, Costa Rica. An analysis of water requirements was conducted using parameters such as soil texture, field capacity, permanent wilting point and evapotranspiration, based on disturbed and undisturbed soil samples from each protected environment to adapt each design to the specific needs of each area. In addition, the hydraulic design of the system was carried out by calculating the sizing, required pressures and pressure losses, which led to the selection of pipes, valves, filters and essential components, taking into account the water source and available pressure. Furthermore, the fertilization component was integrated using a Venturi injector, along with a proposal for system automation that includes a central controller, sensors and solenoid valves to maximize efficiency.

The net and gross sheet to be supplied in each design was obtained as a result, as well as the irrigation time and frequency. Polyethylene pipe was selected for the main and multiple pipes and drip irrigation tape for the laterals, considering market availability. In economic terms, the financial analysis demonstrated the profitability of the project through the NPV and IRR and, through the Setena D1 form, it was also demonstrated that the project is viable from an environmental point of view.

**Keywords:** Irrigation, hydraulic design, automation, fertigation, drip.

# **1. INTRODUCCIÓN**

En el cantón de Pérez Zeledón, Costa Rica, la temperatura media anual se encuentra en 23 °C y la precipitación alcanza los 2944 mm al año, condiciones que han favorecido el incremento de la actividad agrícola en los últimos años. Según un informe realizado por la FAO y la Municipalidad del cantón (2021), la producción agrícola es una de las principales actividades económicas que tiene la población de este cantón. Entidades como el Instituto de Desarrollo Rural (INDER) y el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) han colaborado en la mejora de estas prácticas. Uno de sus proyectos se basó en la construcción de doce ambientes protegidos como apoyo para familias productoras de hortalizas donde se utiliza el suelo como medio de cultivo. A partir de esta iniciativa, el presente proyecto se enfoca en el diseño de sistemas de riego por goteo y fertirriego automatizado con la finalidad de optimizar el uso del recurso agua y nutrientes consolidando un modelo de producción en ambientes protegidos más eficiente y sostenible.

Se han seleccionado cinco ambientes protegidos de los doce para la implementación del proyecto, debido a que algunos ya cuentan con sistema de riego o no tienen la intención de instalar alguno. Es importante mencionar que, aunque se trabajará en cinco ambientes protegidos, se desarrollarán cuatro diseños de sistema de riego ya que dos de estos ambientes pertenecen a la misma finca. Los cinco seleccionados cuentan con diferentes características que los hace ideales para el diseño de sistema de riego y fertirriego propuesto. Algunos no cuentan con ningún tipo de sistema de riego instalado y otros cuentan con alguno instalado de manera empírica, sin su debido diseño previo, lo que limita su rendimiento. Además, cuentan con fuente de agua natural y en ninguno de los cinco se ha realizado estudios de suelo previo, lo que aporta valor al permitir un análisis desde el principio y una adecuada adaptación del sistema. Es importante resaltar que se ubican en diferentes zonas del cantón, por lo que las necesidades de diseño varían según las condiciones específicas de cada finca y el tipo de hortaliza cultivada.

Implementar un sistema de riego y fertirriego adaptado a las necesidades específicas de los cultivos permite proporcionar el suministro preciso de agua y nutrientes que asegure que las plantas se puedan crecer y desarrollarse de la mejor manera. Además, favorece la aplicación de estos recursos de manera más precisa, disminuyendo el desperdicio y el impacto ambiental. Según Villegas & Casadiego (2019), la automatización de estos sistemas

permite disminuir la mano de obra que se requiere y ayuda a mejorar la uniformidad de riego, permitiendo aumentar la productividad de los cultivos. Este proyecto tiene como finalidad brindar a las familias productoras una opción de mejora que les permita aumentar la eficiencia y competitividad de sus cultivos, asegurando una mejor sostenibilidad económica y ambiental.

## **2. OBJETIVOS:**

## **2.1. Objetivo General:**

Diseñar cuatro sistemas automatizados de riego por goteo y fertirriego con el fin de optimizar el uso del recurso hídrico y nutrientes en hortalizas cultivadas en ambientes protegidos ubicados en el cantón de Pérez Zeledón, Costa Rica.

## **2.2. Objetivos Específicos:**

- 1) Estimar parámetros de ciencias naturales e ingeniería necesarios para adaptar el sistema de riego y fertirriego a las condiciones específicas del suelo, ubicación y necesidades propias del cultivo.
- 2) Desarrollar una propuesta de automatización para los sistemas de riego que se adapte a las necesidades específicas de los ambientes protegidos involucrados con el fin de maximizar la eficiencia del uso del recurso hídrico.
- 3) Analizar el diseño de riego y fertirriego mediante indicadores económicos y matrices ambientales con el fin de brindar una solución integral a hortalizas cultivadas en ambientes protegidos.

### **3. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **3.1. Ambientes protegidos:**

De acuerdo con Santos, M (2010), la protección de los cultivos en los últimos años se ha convertido en una necesidad para el desarrollo de una agricultura moderna y competitiva. Los consumidores demandan productos de excelente calidad, en todo tiempo, sin daños por agentes climáticos, plagas ni enfermedades. A su vez, los agricultores requieren de aumentos de producción para mantener las exigencias de los mercados, lo que implica el uso de una serie de tecnologías que se enmarcan en el concepto de agricultura protegida.

Un ambiente protegido consiste en toda estructura cerrada, cubierta por materiales transparentes o semitransparentes, que permite obtener condiciones artificiales de microclima para el cultivo de plantas y flores. Bajo este sistema agrícola especializado se lleva a cabo el control del medio alterando condiciones como suelo, temperatura, radiación solar, viento, humedad, entre otros, lo que permite modificar el ambiente natural en el que se desarrollan los cultivos, con el propósito de alcanzar adecuado crecimiento vegetal, aumentar los rendimientos, mejorar la calidad de los productos y obtener excelentes cosechas. (Santos et al., 2010)

En sistemas protegidos las plantas tienen condiciones ambientales diferentes con respecto a las cultivadas al aire libre, lo que conlleva a que la demanda hídrica sea diferente. Por tal razón se requiere del conocimiento de la evapotranspiración (Etc), la cual se reduce hasta en un 50% en comparación con la del exterior, para establecer la adecuada programación de riego. Además, la precisión de la dosis y frecuencia de riego es de suma importancia para satisfacer de la forma más eficiente posible las necesidades hídricas del cultivo en cada etapa de su desarrollo. (Camejo et al., 2010)

En la agricultura protegida se obtienen producciones con alto valor agregado como las hortalizas. Además, dentro de sus mayores ventajas están proteger los cultivos de las bajas temperaturas, reducir la velocidad del viento, limitar el impacto de climas áridos y desértico, reducir los daños ocasionados por plagas, enfermedades, nematodos, malezas, pájaros y otros predadores, aumentar la producción, mejorar la calidad y preservar los recursos mediante el control climático, garantizar el suministro de productos de alta calidad a los mercados hortícolas, promover la precocidad (adelanto de la cosecha), producir fuera de época y, extender las áreas de producción y los ciclos de cultivo. (Langlais & Ryckewaert, 2001)

## **3.2. Generalidades de las hortalizas:**

### **3.2.1. Descripción del cultivo:**

Según Vicente Giaconi M (2001), las hortalizas son cultivos que tienen un ciclo vegetativo corto de aproximadamente 60 a 80 días. Los suelos recomendados para la siembra de hortalizas son los de textura media (franca) que ofrecen condiciones ideales, particularmente cuando la meta es lograr un óptimo rendimiento. Estos cultivos, en cuanto a la reacción del suelo (pH), en su mayoría prefieren suelos débilmente ácidos o neutros con elevado contenido de materia orgánica.

### **3.2.2. Necesidades edafológicas:**

De acuerdo con Juan José Castro Ruiz (1992), las hortalizas poseen una gran capacidad de adaptación a diferentes tipos de suelo, aunque dependen en gran medida de la disponibilidad del agua y minerales del suelo. Los principales tipos de suelo a los que responden bien la mayoría de las hortalizas son: franco-arcillosos, franco-limosos y franco-arenosos. La acidez de los suelos (pH) para un desarrollo normal de las hortalizas oscila entre 5.5 a 7.5

### **3.2.3. Requerimientos nutricionales:**

Los elementos que más necesitan las hortalizas corresponden al Nitrógeno, fósforo, Potasio, Calcio, Magnesio y Azufre (N, P, K, Ca, Mg, S) comúnmente llamados macronutrientes. En la fase de crecimiento vegetativo y en el desarrollo del fruto el nitrógeno juega un papel importante, sin embargo, si se aplica en exceso puede provocar que se retrase la madurez de la planta y si es deficiente, que reduzca su tamaño. El fósforo favorece la acumulación de azúcares en los frutos, su deficiencia podría llegar a provocar necrosamiento o manchas rojizas. También, el potasio contribuye a proteger a la planta contra enfermedades y maduración del fruto. Su deficiencia se manifiesta como quemaduras en los bordes de las hojas. (Bautista, 2023)

Las hortalizas de hoja y flor demandan durante su desarrollo mayores cantidades de nitrógeno con relación a otros nutrientes y las hortalizas de fruto requieren mayor cantidad después del trasplante hasta la floración, a partir de esta etapa comienzan a elevar su demanda de calcio, potasio y fósforo con relación a los demás nutrientes. (Bautista, 2023)

#### **3.2.4. Requerimiento hídrico:**

La mayoría de los cultivos hortícolas requieren de humedad uniforme durante todo su ciclo para obtener buenos rendimientos y calidad de fruto. Es por ello por lo que es importante que el agua siempre esté disponible y en cantidades adecuadas. Entre el 80 – 95 % del peso de las hortalizas está constituido por agua. Además, entre 90 – 95 % del agua absorbida por las plantas hortícolas es destinada a transpiración (se pierde a la atmósfera bajo forma de vapor de agua). Este proceso tiene como función directa regular la temperatura y generar un gradiente para la absorción de agua y nutrientes desde el suelo, de ahí radica su importancia. (Berrueta & Grasso, 2023)

### **3.3. Cosecha de lluvia:**

Según la FAO (2013), “La cantidad de agua disponible en una determinada región depende básicamente del régimen de precipitación incidente”. La cosecha de agua lluvia hace referencia a la captación del líquido con el fin de almacenarla en reservorios, tanques y recipientes para su uso posterior en consumo humano, agrícola, forestal, acuícola o industrial. La recolección se puede hacer sobre superficies cubiertas con plásticos, cemento, arcilla o sobre los arroyos que se forman sobre el suelo al ocurrir las precipitaciones.(Alvarado, 2015)

#### **3.3.1. Precipitación de diseño:**

La precipitación de diseño corresponde a el evento hipotético pluvial más intenso, estadísticamente previsible, para una duración dada y una recurrencia asignada que, al alimentar un modelo lluvia- escorrentía 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.)

Según National Technical University of Athens (2024) , una herramienta que es útil para calcular parámetros hidrológicos es “Hydrognomom 4” la cual, es una aplicación de software libre diseñada para el análisis y procesamiento de datos hidrológicos, principalmente en forma de series temporales. Entre sus características principales están la representación de datos en múltiples formas y el análisis de datos desde minutos hasta décadas o siglos.

Hydrognomom 4 permite el análisis estadístico como el ajuste de funciones de distribución, regresión múltiple, pronóstico estadístico y análisis de intensidades de precipitación-duración-frecuencia (IDF). Además, posee herramientas que analizan datos hidrológicos y calcula parámetros como la evapotranspiración, precipitación de diseño, modelos de cuencas hidrográficas.(National Technical University of Athens, 2024)

### **3.3.2. Precipitación neta:**

De acuerdo con la metodología para el diseño de los sistemas de captación y almacenamiento de agua de lluvia se requiere calcular la precipitación neta para determinar la cantidad de precipitación aprovechable considerando las pérdidas de acuerdo con el tipo de material del área de captación.(Juan, 2006). Se requiere de valores promedio mensuales de precipitación de al menos 10 años de registro para determinar la cantidad de lluvia que se precipita durante cada mes. La eficiencia de la captación del agua de lluvia depende del coeficiente de escurrimiento del material del que está hecha el área de captación, cuyos valores se pueden observar en el cuadro del Anexo 1.

### **3.4. Riego:**

De acuerdo con el Instituto Americano de Conservación para la Agricultura (IICA), (2020) Un sistema de riego se calcula y dimensiona en función de los factores de producción vegetal: suelo, clima, y cultivo; y, disponibilidad de agua. A partir de estos datos se debe tomar ciertas decisiones desde el punto de vista técnico y económico. El diseño de riego se puede dividir en dos etapas: Diseño agronómico y diseño hidráulico.

El sistema de riego a presión utiliza accesorios como aspersores o goteros para la distribución del agua. Para el funcionamiento de estos accesorios, se necesita que el agua tenga presión, esta puede ser obtenida de dos maneras: Una, es por desnivel del terreno; y, otra por medio de una bomba. La elección del método de riego es importante para conseguir el máximo beneficio. Si se emplea un método inadecuado se pueden producir fallas en el riego y causar daños al suelo y al cultivo. Cada método tiene características que pueden determinar su elección. Entre los sistemas o métodos de riego a presión más conocidos se cuentan: cañón, aspersión, microaspersión y goteo. (IICA, 2020)

### **3.4.1. Riego por goteo:**

El riego por goteo consiste en la aplicación de agua en forma de gotas continuas, en la cantidad requerida según el resultado obtenido en el cálculo de la ETp, (Evapotranspiración potencial) en el área cubierta por las raíces, formando un bulbo húmedo cuya distribución depende de la textura del suelo y del caudal utilizado principalmente. Se caracteriza porque requiere de bajas presiones para operar, en un rango de 5 a 10 m, la eficiencia es sumamente alta, superior al 90 %, y se aplica solamente el agua que se evapotranspira diariamente. Sus características principales son: se humedece solamente una porción del suelo, los caudales utilizados son pequeños y la aplicación del agua se hace con una alta frecuencia, normalmente en forma diaria. (Valverde Conejo, 2022).

### **3.4.2. Componentes del riego por goteo:**

En general los equipos de riego por goteo están constituidos por las mismas partes integrantes, cambiando algunas de las características según la compañía que lo fabrica. Los componentes de un sistema de riego por goteo se muestran en el Cuadro 1. El cabezal de control es una de las partes más importantes del sistema de riego, consta de el sistema de fertiirrigación y filtrado.(Martínez, 2007).

**Cuadro 1.** Componentes esenciales del sistema de riego por goteo

<b>Componente</b>	<b>Descripción</b>
<b>Equipo de bombeo:</b>	Compuesto por un motor y una bomba que toma el agua de los depósitos y la bombea hacia el cabezal de control.
<b>Cabezal de control:</b>	Se encuentra enseguida del equipo de bombeo. Está constituido por medidores de caudal, filtros de arena, inyector de fertilizante, filtros de tela o malla, válvulas de control de presión, llaves de paso, manómetros
<b>Línea principal o primaria:</b>	Conduce el agua desde el equipo de bombeo hasta la línea de derivación. La tubería es de polietileno o PVC normalmente esta tubería se encuentra enterrada para seguridad del sistema y para facilitar el uso de la maquinaria de trabajo del suelo
<b>Líneas de derivación o secundaria:</b>	Son tuberías que unen la tubería principal con las tuberías laterales.
<b>Líneas laterales o terciarias:</b>	Son las mangueras donde van colocados los goteros. Se colocan en forma espaciada a lo largo de las líneas de derivación a una distancia de 45 cm, determinada por el espaciamiento de las líneas de cultivo
<b>Goteros:</b>	Es uno de los elementos principales del sistema, disipan la presión del agua que conduce la tubería terciaria aplicando cantidades muy pequeñas de ésta en forma constante. El espaciamiento de los goteros se halla determinado por la separación de las plantas en el surco. El diámetro del gotero es de 0.3 y 1 milímetros para lograr bajos caudales de agua

Fuente: Elaboración propia a partir de Martínez Huerta (2007).

### **3.5. Diseño de riego:**

#### **3.5.1. Determinación del requerimiento hídrico:**

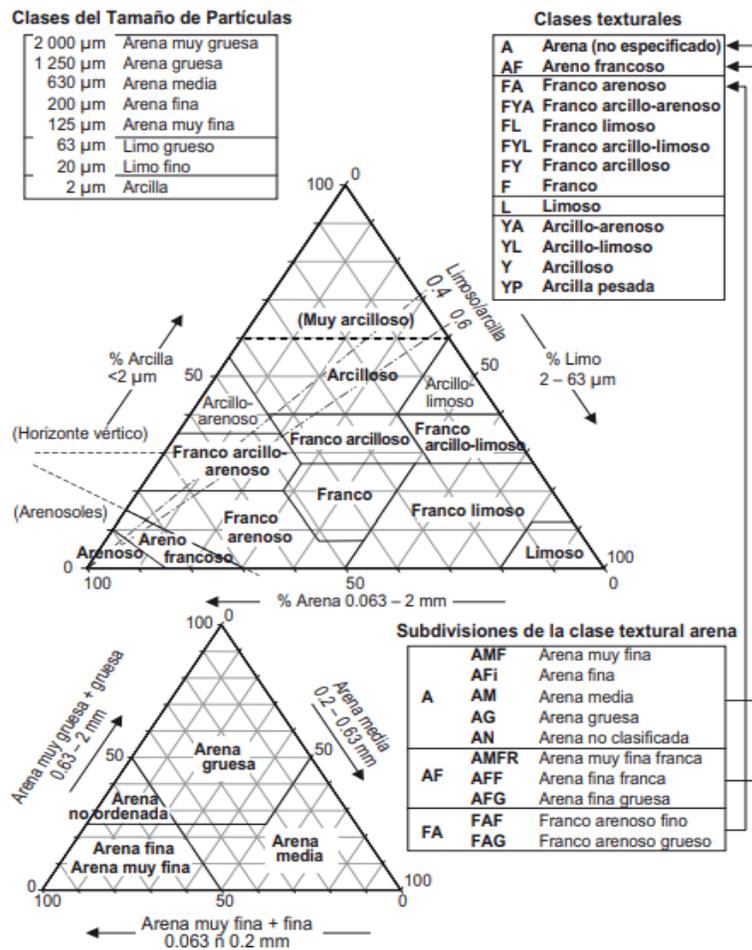
La determinación del requerimiento hídrico representa la primera etapa del proceso de diseño de cualquier tipo de instalación de riego. En él se determina, en una primera aproximación, la cantidad de agua que ha de aplicarse a los cultivos y que se corresponderá con el cálculo de las necesidades brutas de riego para la época de máxima demanda. Asimismo, se establece cómo se distribuirán los emisores de riego y qué especificaciones deberán de tener para conseguir el objetivo marcado, teniendo en cuenta las demandas hídricas de los cultivos, marcos de plantación, calidad de las aguas de riego y los diferentes tipos de suelo. (Monge Redondo, 2022)

### **3.5.1.1. Textura:**

Según la Organización de las Naciones Unidas Para la Agricultura y La Alimentación (2009), la textura se refiere a la proporción relativa de las clases de tamaño de partícula en donde se tiene un volumen de suelo identificado a lo que se describe como la clase textural del suelo en donde la mayoría de los sistemas nacionales e internacionales describen el tamaño de las partículas por medio de 3 fracciones de grano de arena, limo y arcillas.

Los nombres de las clases texturales (que describe clases de tamaño de partícula combinadas) del material de suelo descrito son codificados como en la Figura 1. En adición a la clase textural, se da un estimado en campo del porcentaje de arcilla. Este estimado es útil para indicar el incremento y decremento en contenido de arcilla dentro de las clases texturales y para comparar estimaciones de campo con los resultados analíticos. La relación entre las clases texturales básicas y los porcentajes de arcilla, limo y arena se indican en una forma triangular. (FAO, 2009)

**Figura 1.** Triángulo de clases texturales



Nota. Posterior al análisis en laboratorio se utiliza el cuadro textural para determinar a qué grupo pertenece el suelo en estudio

Fuente. Segundo FAO (1990)

### 3.5.1.2. Capacidad de campo (CC) y punto de marchitez permanente (PMP):

La capacidad de campo corresponde al 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)

El punto de marchitez permanente por otro lado, 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). En el Cuadro 2 se observan los rangos de humedad disponible en el suelo de acuerdo con la textura del mismo.

**Cuadro 2.** Contenido de humedad en el suelo con respecto a la textura.

<b>Textura</b>	<b>Capacidad de campo (%)</b>	<b>Punto de marchitez permanente (%)</b>	<b>Agua total disponible (%)</b>
Arenosa	6-12	2-6	4-6
Franco arenosa	10-18	4-8	6-10
Franco	18-26	8-12	10-14
Franco arcillosa	23-31	11-15	12-16
Arcillo arenosa	27-35	13-17	14-18
Arcillosa	31-39	15-19	16-20

Fuente.(Villalobos, 2008)

#### **3.5.1.4. Densidad aparente:**

De acuerdo con (Guardia et al., 2015) los valores de densidad aparente del suelo varían en función de las propiedades de éstos, y fundamentalmente con la textura y el contenido de materia orgánica. Sin embargo, se pueden utilizar como valores medios los que se muestran en el Cuadro 3.

**Cuadro 3.** Densidad aparente promedio según el tipo de suelo.

<b>Suelo</b>	<b>Densidad Aparente (g/cm<sup>3</sup>)</b>
Arenas	1,4-1,6
Francos	1,3-1,4
Arcillas	1,1-1,3
Suelos orgánicos	0,7-1,1

Fuente. (Guardia et al., 2015)

#### **3.5.1.5. Infiltración:**

La infiltración es una propiedad hidrodinámica, que considera el movimiento vertical del agua en el suelo, estrechamente relacionada con los procesos de capilaridad y de las fuerzas asociadas con la adhesión y la cohesión de las partículas del suelo. Depende de las características intrínsecas del medio, como el contenido de materia orgánica, la porosidad, la textura, la densidad aparente y el contenido de agua, entre otros. (Orjuela et al., 2010)

Un criterio de diseño en riego por goteo es que la tasa a aplicar en el sistema no debe superar la velocidad de infiltración básica del suelo para evitar acumulaciones de agua en superficie y pérdidas por escorrentía, con efectos negativos como disminución de la eficiencia en el uso del recurso hídrico o incremento en el riesgo de erosión.(Abarca et al., 2021)

La infiltración básica está definida como el valor instantáneo, cuando la velocidad de cambio de entrada para un periodo estandar es 10% o menos de su valor, es decir, la infiltración se mantiene constante, a partir de cierto periodo. (Orjuela et al., 2010). Los valores de infiltración básica según la textura del suelo se pueden observar en el.

**Cuadro 4.** Valores de infiltración básica según textura del suelo.

Suelo	Infiltración básica (mm/h)
Arenoso	>30
Franco arenoso	20-30
Franco arenoso	10-20
Franco arcilloso	5-10
Arcilloso	1-5

Fuente.(Valverde & Villalobos, 2014)

### 3.5.1.5 Evapotranspiración potencial (Eto) y del cultivo (Etc):

La suma de la transpiración y evaporación se conoce como evapotranspiración (*ETc*). Esta puede variar en función del clima, las características del cultivo, las prácticas de manejo y el medio de desarrollo, por lo tanto el conocimiento preciso de la *ETc* es una herramienta fundamental que contribuye con una adecuada gestión de los recursos hídricos y con el mejoramiento de la productividad de los cultivos. (Cenicaña, 2015)

La medición de la evapotranspiración de un cultivo puede determinarse a través de los métodos de transferencia de masa, de un balance de energía o mediante el uso de lisímetros. Estos métodos generalmente exigen precisión en las mediciones, requieren de equipos especializados y de largos periodos de medición, en general son costosos, de allí que su uso se limita a determinaciones para algunos cultivos de interés y a nivel de investigaciones. (Cenicaña, 2015)

Por lo tanto para la mayoría de los cultivos, la  $ET_c$  se estima a partir del enfoque del coeficiente del cultivo ( $K_c$ ), como el producto de una evapotranspiración del cultivo de referencia ( $ET_o$ ) y el coeficiente del cultivo. (Cenicaña, 2015). En el Cuadro 5 se pueden observar los valores de  $K_c$  para cultivos hortícolas.

**Cuadro 5.** Coeficiente de cultivo, profundidad de raíces y fracción de agotamiento para hortícolas

Cultivo	Coeficiente de cultivo (ad)	Agotamiento (%)	Profundidad de raíces (m)
Lechuga	1	0,3	0,5
Apio	1	0,2	0,5
Acelga	0,95	0,3	0,5
Espinaca	1	0,2	0,5
Tomate	1,15	0,4	0,7

Fuente. (FAO, 2006)

### 3.5.1.6. Porcentaje de área de regar (PAR):

El porcentaje de área a regar se refiere a la relación porcentual entre el área mojada por los emisores y el área total cubierta por la planta, con la finalidad de satisfacer un mínimo de superficie mojada que permita el desarrollo normal de las raíces del cultivo sin necesidad de regar la totalidad del área. En el caso de las hortalizas, se recomienda un porcentaje de área mojada entre un 70- 90% con una densidad de siembra alta, sin embargo, para el riego por goteo se considera aceptable regar un porcentaje entre 35- 70 % del área total.(Valverde Conejo, 2022)

Para su determinación, usualmente se utilizan tablas y, la de Keller & Karmelli (1975) es una de la más utilizadas, esta se muestra en el Anexo 2. Esta indica el porcentaje de suelo mojado en función de la separación de los laterales de riego, el caudal del emisor y la textura del suelo.

### 3.5.2. Diseño hidráulico:

De acuerdo con el ingeniero Miguel Monge Redondo (2022), el diseño hidráulico se calcula y dimensiona la red de riego, de tal forma que se puedan aplicar las necesidades de agua al cultivo en el tiempo establecido en el diseño agronómico previamente realizado. Se calculan los diámetros de las tuberías y las presiones de operación, se seleccionan los equipos de bombeo, los sistemas de filtración, las válvulas, contadores, piezas y otros accesorios que nos permitirán aplicar el agua a los cultivos de la manera más eficiente y controlada posible.

### **3.6. Fertirriego:**

La técnica de fertirriego consiste en la aplicación de una solución nutritiva a partir de fertilizantes solubles, la cual se aplica a través del agua por los sistemas de riego a presión, creando así una solución nutritiva de riego. Permite optimizar la utilización del recurso agua y al mismo tiempo colocar los fertilizantes en solución cerca del sistema radicular de la planta, con lo cual, se da un contacto más rápido y directo de los elementos nutritivos con las raíces y, por ende, se da una mejor absorción y aprovechamiento de los fertilizantes. Asimismo, tomando en cuenta las distintas etapas de desarrollo del cultivo, se puede suministrar fertilización, reduciendo o aumentando las cantidades, según la necesidad del cultivo de manera que se propicie una reducción de la contaminación ambiental y de los costos de producción. (Martí Jiménez Bermúdez & Rodríguez Volio, 2018).

Según Ramón Martínez Huerta(2007), aún es común el uso de tanques de fertilización, por sus bajos costos, aunque cada vez son más empleados los sistemas que introducen los fertilizantes mediante inyectores Venturi o por bombas de inyección e incluso aquellos en los que la incorporación se realiza aprovechando la aspiración del equipo de bombeo. La utilización de inyectores implica el uso de tecnologías complementarias. Así, es necesario incorporar un programa para controlar el funcionamiento del equipo, uno o varios depósitos para preparar las soluciones de abono, una o varias bombas de inyección que aspiren las soluciones y las introduzcan a la red de riego, contadores de agua, electroválvulas, convertidora de señales, y medidores de PH.

#### **3.6.1. Componentes esenciales:**

El sistema de fertilización consta de componentes esenciales para su correcto funcionamiento, entre ellos; tanque de fertilizante, sistema de filtrado, equipo de inyección y en algunos casos, bomba de succión.

##### **3.6.1.1. Tanque de fertilizante:**

De acuerdo con Vega Ravello (2016) un tanque de almacenamiento de fertilizante es un depósito donde se preparan las soluciones nutritivas. Varían en número y tamaño según el diseño del sistema de fertirriego para el cultivo dado. El material más usado para su fabricación es el plástico por ser resistente a las soluciones ácidas.

### **3.6.1.2. Sistema de filtrado:**

El sistema de filtrado limpia las impurezas en el agua y en la solución fertirriego; pero no las impurezas de origen químico, las cuales se manejan a través del pH, siendo el rango de pH entre 5.5 y 6 el más favorable para la solución fertirrigadora. Las impurezas de origen biológico se contrarrestan evitando la exposición del agua a la luz o con productos químicos. Es importante tener presente que la presencia de impurezas afecta a los emisores, alterando su descarga o la aplicación de agua a la planta (Vega Ravello, 2016)

### **3.6.1.3. Equipo de inyección:**

El equipo de inyección por otro lado es el que permite la aplicación de la solución nutritiva al sistema de distribución. Trabajan con una bomba que eleva la presión de inyección de la solución nutritiva con respecto a la del sistema presurizado. Varían de acuerdo con el volumen y tiempo de inyección. Pueden ser Venturi, dosificadores, tanque de fertilización o bombas inyectoras. (Vega Ravello, 2016)

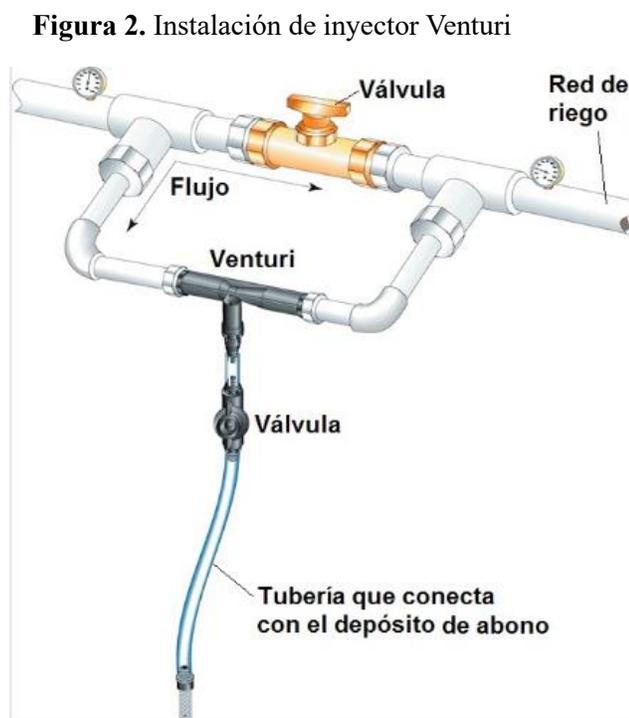
El inyector tipo Venturi el “inyector Venturi de presión diferencial” es un dispositivo cuyo funcionamiento consiste en introducir una corriente de agua de riego a presión a través de un conducto, incrementando la velocidad y reduciendo la presión, para arrastrar un líquido aditivo a través de una tubería de succión y mezclando el aditivo con la corriente de agua de riego e incorporarlo al exterior del elemento.(Manzano et al., 2015)

Según Vega Ravello (2016), la bomba de inyección puede ser de accionamiento eléctrico o hidráulico. Tienen un embolo o una membrana que inyecta la solución fertilizante en la red de riego. Por otro lado, el tanque de fertilización consiste en un depósito cerrado en el que se introduce la solución fertilizante. El depósito se conecta en paralelo a la red de riego, después del sistema de filtrado, y pasa sólo una parte del caudal por el depósito. El caudal que entra y sale del depósito es el mismo.

Un dosificador de acuerdo con Rizo (2011) , se utiliza para inyectar fertilizantes, pero también otras soluciones para pesticidas, fungicidas e insecticidas. Trabaja siendo instalado directamente en la línea de agua, y este flujo de agua es el que mueve al pistón dentro del dosificador. No requiere de energía eléctrica en absoluto. Cuando el pistón se mueve hacia arriba, se crea un vacío y éste succiona el fertilizante por medio de la manguera de succión,

y lo envía a la cámara interna que está en la parte inferior del cuerpo del dosificador y cuando el pistón se mueve hacia abajo, se crea una turbulencia que mezcla el fertilizante con el agua que se encuentra en la cámara, obteniendo una mezcla uniforme y homogénea, y por último envía esta mezcla por la línea de salida hacia las plantas.

De acuerdo con Alfonso Osorio (2016), cada uno de estos equipos de inyección tienen sus características respecto a caudal y presión requeridos para su funcionamiento óptimo, según el fabricante. En el caso del inyector Venturi, para determinar la capacidad y el modelo adecuados del inyector para un sistema de riego, se requiere la siguiente información y operaciones: Flujo total de agua en el sistema de riego, en litros por minuto, dosis de fertilizante o producto químico deseado, en litros por hora, diferencia de presión en el sistema, ojalá no inferior al 20%. En la Figura 2 se muestra una imagen de un ejemplo de la instalación de un dispositivo Venturi.



Fuente. (Rodríguez, s. f.)

En el caso de seleccionar un sistema de fertilización que use unidad de aspiración, en la bomba del sistema de riego, se deberá prever el tamaño del recipiente para preparar la mezcla y disponer de una válvula que regule la velocidad de inyección o aspiración.

Normalmente se utilizan recipientes de 200 a 1000 litros, fabricados en fibra de vidrio. Si se selecciona un sistema con tanque en paralelo, debe dimensionarse éste según la cantidad de mezcla que desee preparar y según el área de terreno que desee cubrir. En este caso, el fertilizante es aplicado por arrastre y si se selecciona o diseña un recipiente muy pequeño puede ser que la mezcla no se aplique uniformemente. En el caso de las bombas inyectoras, la idea es seleccionar un equipo que entregue una presión superior a la del sistema de riego y que sea capaz de inyectar a una determinada tasa de inyección. Todo ello viene definido en el catálogo que entrega el fabricante. (Osorio, 2016)

En caso de seleccionar un dosificador, los comerciales suelen clasificarse en función del máximo flujo de agua (litros/minuto) que entra a la unidad. Comúnmente son de 30, 42, 53, 75, 151, 379, y aun sobre 420 L/min. Las presiones máximas de estas unidades van de un máximo de 85 psi (6 bar) para unidades de 75 L/min o menos, a un máximo de 110 psi (7.7 bar) para las unidades de 151 L/min, e incluso existen unidades de presiones superiores a 120 psi (8.4 bar). Con un dosificador es posible usar productos en líquido o polvo 100% soluble en agua. A hora de seleccionar un dosificador se debe tener en cuenta la confiabilidad, servicio, partes y vida útil. (Rizo, 2011)

### **3.7. Automatización del sistema:**

Hay distintas maneras de controlar el riego que se suministra a un cultivo y en función del que se utilice habrá que controlar una serie de variables. En general, en el riego se puede controlar el tiempo y caudal de agua. En fertilización, se puede controlar la inyección de fertilizantes mediante el pH de la solución nutritiva, la conductividad eléctrica y la inyección de microelementos. (Ruiz & Molina, 2020).

#### **3.7.1. Niveles de automatización:**

##### **3.7.1.1. Nivel 0:**

Consiste en el accionamiento manual. Se utilizan válvulas de accionamiento manual para dar paso al agua de riego hacia cada una de las unidades. El parámetro que se emplea para controlar el riego es el tiempo o el volumen de agua aplicado si se dispone de un contador. La actividad del regante consiste en la recarga de abonos, limpieza de filtros, vigilar funcionamiento de emisores, abrir y cerrar válvulas, sin embargo, incluso el nivel cero de automatización requiere mucha menos mano de obra que cualquier otro sistema. (Gea, 2016)

### **3.7.1.2. Nivel 1:**

De acuerdo con Pedro Gea (2016), el nivel 1 se acciona por medio de válvulas volumétricas independientes. Cada válvula o serie de válvulas debe ser puesta en marcha antes de cada ciclo. Se selecciona manualmente con el volumen de agua que se quiere aplicar en cada riego y la válvula se cierra automáticamente cuando ha pasado a su través el volumen establecido. Solo la primera válvula se acciona manualmente al principio de cada riego. Las válvulas operan en secuencia, de forma que el cierre de una válvula que riega un determinado sector acciona la apertura de la válvula que riega el sector siguiente. La fertirrigación se hace de forma manual.

### **3.7.1.3. Nivel 2:**

Este nivel consiste en un riego secuencial hidráulico, en él, la válvula o conjunto de válvulas repiten el ciclo de riego automáticamente. Es un riego secuencial repetido mediante un programador, accionado con corriente eléctrica de red o de batería, que controla la apertura y cierre de electroválvulas. La programación se efectúa estableciendo los días de riego y la duración de cada riego. Se pueden controlar las bombas dosificadoras para el aporte de productos químicos.

### **3.7.1.4. Nivel 3:**

El nivel 3 se acciona por medio de microcomputadoras es el nivel más alto de automatización. Abarca todas las operaciones necesarias para la automatización: riego secuencial o independiente por sectores, limpieza de filtros, fertilización, detección de averías, elección de tarifa eléctrica más adecuada. Permite la utilización de un gran número de sensores para controlar el riego. (Gea, 2016)

## **3.7.2. Componentes esenciales de automatización:**

### **3.7.2.1. Programador de riego:**

Un programador de riego puede controlar la apertura o cierre de sectores o válvulas de riego. Además, puede controlar la apertura de Venturas. De entrada, pueden incorporar contadores de agua y medidores de presión. Los datos que pueden almacenar son muy variados (CE, pH, temperatura, etc.). Incorporan, además, varios programas de riego. (Ruiz & Molina, 2020).

### **3.7.2.2. Sensores de humedad:**

Los sensores de humedad miden una señal eléctrica que calcula la cantidad de agua en el suelo, lo cual permite determinar el volumen de agua almacenado en éste después de un riego o una lluvia, calcular el consumo de agua por el cultivo en un día o una semana y determinar la eficiencia del riego. Generalmente se componen de una sonda con electrodos en un extremo y un sistema de excitación y captura de información. Los electrodos van insertos en el suelo y su longitud oscila entre 5 y 30 cm. (Cenicaña, 2018)

### **3.7.2.3. Electroválvulas:**

Corresponden a elementos de un sistema de riego que permiten abrir o cerrar el paso del agua siguiendo las órdenes de un programador. Son importantes en la automatización del riego, ya que de ellas depende la frecuencia de riego, así como el control y flujo de agua. Actúa como una llave de paso y depende de la señal eléctrica que le envía el programador y la presión del agua.(RIEGOPRO, 2021)

### **3.7.2.4. Módulo de comunicación:**

Los medios de transmisión inalámbricos realizan la recepción de señales y datos por medio de antenas integradas dentro del sistema automatizado. Los medios de transmisión pueden ser por Wifi, sin ningún tipo de cables por medio de ondas de radio. También por GPRS con mensajes cortos, internet, navegación y correo electrónico o también por medio de bluetooth en dispositivos de bajo consumo, bajo costo y cobertura. Este último, permite la comunicación entre diferentes dispositivos para la transmisión de voz y datos mediante radiofrecuencia en la banda.(Mora García, 2018). Estos sistemas de transmisión inalámbrica permiten la comunicación entre el programador de riego, en este caso, y los actuadores o electroválvulas para realizar una acción en específico.

Home Assistant es un ejemplo de software con un completo sistema operativo de código abierto, que permite integrar cientos de marcas de dispositivos domóticos, y miles de dispositivos, y todo ello de forma simultánea para tener el control total de la domótica en un proyecto. Una vez que se ha añadido todos los dispositivos al sistema (se llama integraciones), se puede realizar diferentes automatizaciones para que realicen ciertas acciones que se configuran en detalle. Además, permite unificar de manera centralizada todos

los sensores, actuadores y dispositivos de domótica que se tengan con una gestión local y una interfaz gráfica de usuario realmente intuitiva. (De luz, 2024)

ESPHome es un complemento de Home Assistant. Un framework (modulo software) que se utiliza para controlar los módulos ESP8266/ESP32 de una manera muy sencilla pero potente y crear dispositivos inteligentes. (De luz, 2024)

### **3.7.3. Control para apertura y cierre de válvulas:**

Para el control automático de los sistemas, cada unidad de riego dispone de una o varias válvulas, que se pueden accionar por distintos mecanismos cierran cuando ha pasado un determinado volumen de agua, o tras un determinado tiempo de funcionamiento. Hay varios mecanismos automáticos para accionar las válvulas, entre ellos hidráulicos, eléctricos o electrónicos y por microcomputadoras.(Cava, 2019)

## **3.8. Análisis económico:**

Para determinar si es viable realizar el proyecto económicamente se llevará a cabo un análisis financiero que involucre los indicadores VAN, TIR, IR Y PRD.

### **3.8.1. Valor actual neto (VAN):**

El VAN mide la deseabilidad de un proyecto en términos absolutos. Calcula la cantidad total en que ha aumentado el capital como consecuencia del proyecto. Es el método más conocido para evaluar proyectos de inversión a largo plazo. El Valor Actual Neto nos permite determinar si una inversión cumple con el objetivo básico financiero: maximizar la inversión. (Quiñonez et al., 2018)

### **3.8.2. Tasa interna de retorno (TIR):**

Según Quiñonez et al (2018), el TIR expresa el crecimiento del capital en términos relativos y determina la tasa de crecimiento del capital por período. Es otro criterio utilizado para la toma de decisiones sobre los proyectos de inversión y financiamiento. Se define como la tasa de descuento que iguala el valor presente de los ingresos del proyecto con el valor presente de los egresos. Es la tasa de interés que, utilizada en el cálculo del Valor Actual Neto, hace que este sea igual a 0. El argumento básico que respalda a este método es que señala el rendimiento generado por los fondos invertidos en el proyecto en una sola cifra que resume las condiciones y méritos de aquel.

### **3.8.3. Índice de rentabilidad (IR):**

Muestra la relación que existe entre el valor presente de los flujos de caja futuros, que se espera genere una inversión específica, y la inversión realizada para ejecutar dicha inversión. Si es mayor a 1, el proyecto debe aceptarse; si es igual a 1 se debe buscar una mejor opción de inversión y, si es menor que 1, el proyecto debe rechazarse. (Andrade Pinelo, 2021)

### **3.8.4. Periodo de recuperación descontado (PRD):**

Muestra el tiempo de recuperación o periodo de la inversión inicial, tomando en cuenta el valor del dinero en el tiempo. (Andrade Pinelo, 2021)

### **3.9. Análisis ambiental:**

De acuerdo con Carmona, C (2019), la evaluación de impacto ambiental es un instrumento de carácter prospectivo, encaminado a identificar las consecuencias ambientales de la ejecución y funcionamiento de un proyecto, obra o actividad con el fin de establecer las medidas de manejo (preventivas, correctivas, de mitigación y compensación que hagan posible el desarrollo de la actividad sin perjudicar, o perjudicando lo menos posible, al medio ambiente.

## **4. METODOLOGÍA**

#### **4.1. Reconocimiento de zona de estudio:**

Se realizó una visita a cada productor con la finalidad de observar las necesidades de cada uno en cuanto al sistema de riego y, con la ayuda de la herramienta GPS se obtuvieron los puntos georreferenciados de interés como la ubicación de los ambientes protegidos, fuente de agua y tanque de almacenamiento para posteriormente convertirlos a coordenadas CRTM05 y poder modelarlos y obtener una visualización más clara de la ubicación de los ambientes protegidos involucrados.

#### **4.2. Análisis Topográfico:**

Se hizo uso de la herramienta GPS con altímetro barométrico incluido para tomar las diferencias de altura entre puntos de interés de la zona de estudio como el invernadero, fuente de agua y tanque de abastecimiento en cada finca. Aunque el dispositivo se calibra de manera automática, se puede ajustar manualmente en caso de conocer la altura exacta de un punto. Su precisión oscila entre  $\pm 1-3$  m y se puede ver afectada por cambios en la presión atmosférica o señal de GPS limitada, sin embargo, al ser áreas planas, la precisión del dispositivo se considera aceptable. El procesamiento de los datos se llevó a cabo con el software Qgis (Qgis, 2020) donde se realizó el mapa de las zonas de estudio.

#### **4.3. Cosecha de agua de lluvia:**

##### **4.3.1. Precipitación de diseño:**

Para la determinación de la precipitación de diseño se obtuvieron los valores de precipitación diaria en un periodo de 10 años, de la zona de San Pedro de Pérez Zeledón. Posteriormente, se calculó la precipitación de diseño máxima y mínima mensual mediante la herramienta “Hydrognomom 4”, analizando las precipitaciones para un periodo de retorno de 10 años y utilizando una distribución Lognormal.

##### **4.3.2. Precipitación neta:**

Teniendo la precipitación de diseño máxima y mínima mensual se procedió a calcular la precipitación neta máxima y mínima con la ecuación (1) para cada mes tomando en cuenta la información del cuadro correspondiente al Anexo 1.

$$PN = P_d \times Ce \quad (1)$$

Donde:

PN = Precipitación Neta (mm)

Pd = Precipitación de diseño(mm)

Ce = Coeficiente de escurrimiento (adimensional)

#### 4.3.3. Volumen de agua captado:

Tomando en cuenta el área del techo y la precipitación neta, se utilizó la ecuación (2) para determinar el volumen máximo y mínimo de agua que puede ser captado.

$$V = A_t \times PN \quad (2)$$

Donde:

V = Volumen de agua que se puede captar (m<sup>3</sup>)

A<sub>t</sub> = Área del techo para captar lluvia (m<sup>2</sup>)

PN = Precipitación neta mensual (m)

#### 4.4. Diseño de riego:

##### 4.4.1 Determinación del requerimiento hídrico:

###### 4.4.1.1 Textura:

Para determinar la textura del suelo se tomaron muestras disturbadas del suelo en cada finca y se utilizó el método de Bouyoucos descrito por Andrades et al (2015) el cual consiste en medir durante un tiempo determinado, la sedimentación de las partículas del suelo en el laboratorio.

El porcentaje de partículas presentes en las muestras de suelo se determina mediante las expresiones (3)(4)(5)(6):

$$\%(Limo + Arcillas) = \frac{Lc_{40s}}{PM} \times 100 \quad (3)$$

$$\%Limo = 100 - (\%Arenas + \%Arcillas) \quad (4)$$

$$\%Arcilla = \left(\frac{Lc_{2h}}{PM}\right) \times 100 \quad (5)$$

$$\%Arenas = 100\% - (Limo + Arcilla)\% \quad (6)$$

Donde:

Lc = Lectura corregida a los 40s y 2 h

PM = Peso de la muestra seca (g)

Con los porcentajes de partículas obtenidos, se procedió a utilizar la Figura 1 del triángulo textural para determinar la textura del suelo en estudio.

#### 4.4.1.2 Capacidad de campo (CC) y punto de marchitez permanente (PMP):

Se utilizaron muestras indisturbadas y disturbadas de cada ambiente protegido, las cuales se sometieron a saturación durante 24 horas para luego ser llevadas a las ollas de presión con una presión de succión de 0,33 atm en el caso de las muestras para obtener capacidad de campo y 15 atm para las de punto de marchitez permanente. Las muestras permanecieron en las ollas durante 72 horas. Una vez transcurrido ese lapso, se pesaron para obtener el peso de suelo húmedo y se llevaron al horno a temperatura de 110°C durante 24 h. Al pasar este tiempo, se volvieron a pesar para obtener el peso del suelo seco y se determinó el contenido de humedad para cada una de las pruebas realizando una diferencia de pesos mediante la ecuación (7)

$$CC, PMP = \frac{Psh - Pss}{Pss} \times 100 \quad (7)$$

Psh = Peso de suelo húmedo(g)

Pss = Peso de suelo seco (g)

CC= Capacidad de campo (%)

PMP = Punto de marchitez permanente (%)

#### 4.4.1.3. Densidad aparente:

Para obtener el valor de densidad aparenten se tomaron muestras indisturbadas de suelo en cilindros ubicadas en el centro de cada invernadero. Posteriormente, se determinó el volumen de los cilindros de las muestras de suelo midiendo con una regla la altura y diámetro de cada cilindro para utilizar la ecuación (8)

$$V = \frac{\pi \times D^2 \times h}{4} \quad (8)$$

Donde:

V = Volumen interno del cilindro (cm<sup>3</sup>)

D = Diámetro (cm)

h = Altura (cm)

Posteriormente, se colocaron las muestras en el horno a 105 °C durante 24 horas y pasado ese tiempo, se pesaron en una balanza digital y se utilizó la ecuación (9) para determinar la densidad aparente para cada una de las muestras.

$$Da = \frac{Pss}{V} \quad (9)$$

Donde:

Da = Densidad aparente (g/cm<sup>3</sup>)

Pss = Peso del suelo seco (g)

V = Volumen interno del cilindro (cm<sup>3</sup>)

Estos valores se compararon con los valores medios de densidad aparente según la textura del suelo que propone (Guardia et al. , 2015) en el Cuadro 3.

#### **4.4.1.4 Evapotranspiración potencial (Eto) y de cultivo (Etc):**

El valor de la evapotranspiración potencial se determinó haciendo uso de los programas Climwat y Cropwat mediante datos meteorológicos medios de la zona de estudio. La evapotranspiración de cultivo se obtuvo haciendo uso de la ecuación (10), el valor de Eto y del coeficiente de cultivo correspondiente a hortalizas tomado del Cuadro 5.

$$Etc = Kc \times Eto \quad (10)$$

Donde:

Etc = Evapotranspiración de cultivo (mm/día)

Eto = Evapotranspiración potencial (mm/día)

$K_c$  = Coeficiente de cultivo (adimensional)

#### 4.4.1.5. Selección del gotero:

Se seleccionó el gotero tomando en cuenta la disponibilidad del mercado, el tipo de cultivo y sus necesidades del recurso hídrico, así como el costo y calidad.

#### 4.4.1.6. Porcentaje de área a regar:

El Porcentaje de área a regar o (PAR) se determinó por mediante la ecuación (11) y el cuadro del Anexo 2. Teniendo en cuenta que con riego por goteo no se humedece totalmente el 100 % del área, un valor aceptable para obtener buenos resultados está en un PAR de 35-70%.

$$PAR = \frac{P1XS1 + P2XS2}{Sr} \quad (11)$$

Donde:

PAR = Porcentaje de área a regar (%)

P1 = Porcentaje de área humedecida 1, se obtiene del Anexo 2(%)

S1 = Espaciamiento corto entre laterales (m)

Sr = Espaciamiento entre hileras (m)

S2 = Espaciamiento largo entre laterales (m)

#### 4.4.1.7. Lámina neta:

La lámina neta se obtuvo haciendo uso de la ecuación (12):

$$Ln = \left( \frac{CC - PMP}{100} \right) \times Da \times Prof \times Ag \times PAR \quad (12)$$

Donde:

Ln = Lámina neta (mm)

CC = Capacidad de campo (%)

PMP = Punto de marchitez permanente (%)

Da = Densidad aparente (g/cm<sup>3</sup>)

Prof = Profundidad radicular (mm)

Ag = Agotamiento (decimal)

PAR = Porcentaje de área a regar (decimal)

#### 4.4.1.8. Frecuencia de riego:

La frecuencia de riego se obtuvo mediante la ecuación (13) . Esta se redondea al valor menor inferior más cercano.

$$Fr = \frac{Ln}{Etc} \quad (13)$$

Donde:

Fr = Frecuencia de riego (días)

Ln = Lámina neta (mm)

Etc = Evapotranspiración del cultivo (mm/día)

#### 4.4.1.9. Lámina bruta:

Haciendo uso de la ecuación (14) se determinó la lámina bruta de riego. Tomando en consideración la eficiencia de aplicación y la lámina neta anteriormente calculada.

$$Lb = \frac{Ln}{Ef} \quad (14)$$

Donde:

Lb = Lámina bruta (mm)

Ln = Lámina neta (mm)

Ef = Eficiencia de aplicación (%)

#### 4.3.1.10. Tiempo de riego:

El tiempo de riego o periodo del ciclo de riego se determinó mediante la ecuación (15).

$$Tr = \frac{Lb \times Ap}{n \times q_{got}} \quad (15)$$

Donde:

Tr = Tiempo de riego (h)

Lb = Lámina bruta (mm)

Ap = Área del marco de plantación (m<sup>2</sup>)

qgot = caudal del gotero seleccionado (m<sup>3</sup>/h)

n = Número de goteros por planta

#### **4.3.1.11. Número máximo de operaciones por área:**

Para diseñar los bloques de riego es necesario calcular el número máximo de divisiones por área. Para su cálculo se utilizó la ecuación (16).

$$N < \frac{(Fr \times H_{ef})}{Tr} \quad (16)$$

Donde:

N = Número máximo de operaciones por área para regar (ad)

Fr = Frecuencia de riego (días)

H ef = Horas efectivas para regar diarias (h)

Tr = Tiempo de riego (h)

#### **4.4.2. Diseño hidráulico del lateral:**

##### **4.4.2.1. Número de goteros:**

La cantidad de goteros presentes en todo el lateral se determinó mediante la ecuación (17)

$$N_g = \frac{L_l}{E_g} \quad (17)$$

Donde:

Ng = Número de goteros

Ll = Longitud del lateral (m)

Eg = Espaciamiento entre goteros (m)

#### 4.4.2.2. Longitud real:

Colocando el primer gotero en la posición  $E_g/2$  se determinó la longitud real del lateral con la ecuación (18)

$$Lr_l = N_g \times E_g \quad (18)$$

Donde:

Lrl = Longitud real del lateral (m)

Ng = Número de goteros

Eg = Espaciamiento entre goteros

#### 4.4.2.3. Caudal:

Tomando en cuenta el caudal del gotero seleccionado se determinó el caudal del lateral mediante la ecuación (19)

$$Q_l = Q_g \times N_g \quad (19)$$

Donde:

Ql = Caudal del lateral (m<sup>3</sup>/s)

Qg = Caudal del gotero (m<sup>3</sup>/s)

Ng = Número de goteros

#### 4.4.2.4. Número de laterales:

Utilizando la ecuación (20) se obtuvo el número de laterales necesarios por bloque de riego para el diseño.

$$N_l = \frac{L_m}{E_l} \quad (20)$$

Donde:

Nl = Número de laterales

Lm = Longitud del múltiple (m)

El = Espaciamiento entre laterales (m)

#### 4.4.2.5. Presión a la entrada:

Mediante la ecuación (21) se determinó la presión a la entrada de la tubería lateral.

$$P_e = P_o + 0,77 \times Hf + 0,23 \times \Delta z \quad (21)$$

Donde:

Pe = Presión a la entrada del lateral (mca)

Po = Presión de operación (mca)

Hf = Pérdidas por fricción (mca)

$\Delta z$  = Pendiente (m/m)

#### 4.4.3. Diseño hidráulico del múltiple:

##### 4.4.3.1. Longitud:

La longitud del múltiple se obtuvo mediante la ecuación (22)

$$L_m = (N_l - 1) \times E_l \quad (22)$$

Donde:

Lm = Longitud del múltiple (m)

Nl = Número de laterales

El = Espaciamiento entre laterales

##### 4.4.3.2. Pérdidas admisibles:

Utilizando la ecuación (23) se calcularon las pérdidas admisibles en el múltiple, tomando en cuenta las pérdidas totales y las pérdidas en el lateral calculadas anteriormente.

$$Pad_m = 0,2 \times P_o \pm \Delta z_l \pm \Delta z_m - Hf_l \quad (23)$$

Done:

Padm = Pérdidas admisibles en el múltiple (mca)

Po = Presión de operación del gotero (mca)

Hfl = Pérdidas en el lateral (mca)

$\Delta z_l$  = Diferencia de altura en el lateral (m)

$\Delta z_m$  = Diferencia de altura en el múltiple (m)

#### 4.4.3.3. Diámetro teórico:

Mediante la ecuación (24) se determinó el diámetro teórico que debe tener la tubería el múltiple. Este valor se usó como referencia para seleccionar el diámetro comercial que mejor se ajuste a las necesidades del diseño.

$$D = \left( \frac{1,131 \times 10^9 \times \left( \frac{Q_l}{C} \right)^{1,852} \times L \times f}{P_{ad}} \right)^{0,205254} \quad (24)$$

Donde:

D = Diámetro del múltiple(mm)

Ql = Caudal del múltiple (m<sup>3</sup>/s)

Pad = Pérdidas admitidas en el múltiple (mca)

C = Coeficiente de Hazen-Williams(adimensional)

L = Longitud del múltiple(m)

f = Coeficiente de fricción (adimensional)

#### 4.4.3.4. Pérdidas por fricción:

Para determinar las pérdidas provocadas por fricción en la tubería múltiple y principal se utilizó la ecuación (25) de Hazen- Williams.

$$Hf = 1,131 \times 10^9 \times \left( \frac{Q_l}{C} \right)^{1,852} \times D^{-4,872} \times L_l \times f \quad (25)$$

Donde:

Hf = Pérdidas por fricción (mca)

Ql = Caudal del múltiple/ principal(m<sup>3</sup>/s)

C = Coeficiente de Hazen- Williams (adimensional)

D = Diámetro del múltiple/principal (mm)

Ll = Longitud del múltiple/principal (m)

f = Coeficiente de fricción (adimensional)

#### 4.4.3.5. Caudal:

El caudal del múltiple se obtuvo por medio de la ecuación (26)

$$Q_m = N_l \times Q_l \quad (26)$$

Donde:

$Q_m$  = Caudal del múltiple (m<sup>3</sup>/s)

$N_l$  = Número de laterales

$Q_l$  = Caudal del lateral (m<sup>3</sup>/s)

#### 4.4.3.6. Presión en las válvulas:

La presión de las válvulas se determinó mediante la ecuación (27)

$$P_v = P_e + 0,77 \times Hf_m + 0,23 \times \Delta z_m \quad (27)$$

Donde:

$P_v$  = Presión en la válvula (mca)

$P_e$  = Presión de entrada del lateral (mca)

$Hf_m$  = Pérdidas admisibles en el múltiple (mca)

$\Delta z_m$  = Diferencia de altura en la tubería múltiple (m)

#### 4.4.3.7. Presión distal:

Mediante la ecuación (28) se obtuvo la presión distal en el múltiple.

$$P_d = P_v - Hf_m - Hf_l \pm \Delta z_m \pm \Delta z_l \quad (28)$$

Donde:

$P_d$  = Presión distal (mca)

$P_v$  = Presión en la válvula (mca)

$Hf_m$  = Pérdidas por fricción el múltiple (mca)

$Hf_l$  = Pérdidas por fricción en el lateral (mca)

$\Delta z_m$  = Diferencia de altura en la tubería múltiple (m)

$\Delta z_l$  = Diferencia de altura en la tubería lateral (m)

#### 4.4.4. Diseño hidráulico de la principal:

##### 4.4.4.1. Caudal de la tubería principal:

El caudal de la tubería principal corresponde al de todo el sistema, en este caso, al regar simultáneamente, sería el mismo caudal obtenido para el múltiple.

##### 4.4.4.2. Diámetro teórico de la principal:

El diámetro de la principal se obtuvo mediante la ecuación (29). Se tomó una velocidad admisible de 1,5 m/s según el Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias del Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos (2017). Con este valor de diámetro teórico se seleccionó el diámetro comercial de la tubería principal, tomando el valor superior más cercano al obtenido.

$$D = \sqrt{\frac{4 \times Q_p}{\pi \times v}} \times 1000 \quad (29)$$

Donde:

D = Diámetro de la tubería principal (mm)

Q<sub>p</sub> = Caudal en la principal (m<sup>3</sup>/s)

v = velocidad (m/s)

Con el diámetro comercial seleccionado se recalculó la velocidad del flujo para tener certeza de que se encontrara dentro del rango permitido que se estableció.

##### 4.4.4.3. Carga dinámica:

La carga dinámica total se calculó haciendo uso de la ecuación (30).

$$CD = P_v + 0,05 \times (P_v + Hf_p) + Hf_p \pm \Delta z_p \quad (30)$$

Donde:

CD = Carga dinámica (mca)

P<sub>v</sub> = Presión en la válvula (mca)

Hf<sub>p</sub> = Pérdidas por fricción en la tubería principal

Δz<sub>p</sub> = Diferencia de altura en la tubería principal (m)

#### 4.4.4.4. Potencia de la bomba:

La potencia de la bomba que se requiere para abastecer el sistema se determinó mediante la ecuación (31).

$$P_b = \frac{Q_s \times CD}{270 \times Ef} \quad (31)$$

Donde:

P<sub>b</sub> = Potencia de la bomba (hp)

Q<sub>s</sub> = Caudal del sistema (m<sup>3</sup>/h)

E<sub>f</sub> = Eficiencia de la bomba (%)

#### 4.5. Selección del componente de fertilización:

Se seleccionaron los componentes del sistema de fertilización considerando criterios específicos para asegurar su adecuado funcionamiento. El equipo de inyección se seleccionó tomando en cuenta la disponibilidad en el mercado, presión de operación mínima y máxima, caudal de succión, material y dimensiones. Se verificó la diferencia de presión en la entrada y salida del inyector para asegurar que cumpliera con el requisito mínimo de 20% de la presión de entrada al de cada sistema de riego.

El tanque de almacenamiento se eligió de acuerdo con la cantidad de fertilizante que comúnmente requieren los cultivos de hortalizas y el área que abarcan. Además, el plan de fertirriego se realizó tomando en cuenta las etapas de crecimiento y desarrollo de las hortalizas presentes en cada ambiente protegido, así como los elementos esenciales en cada etapa y duración de esta.

#### 4.6. Automatización del sistema de riego:

Se estableció el nivel de automatización que se quiere aplicar a cada diseño tomando en cuenta la extensión, ubicación, disponibilidad de corriente eléctrica y posible inversión. Posteriormente, se identificó todos los componentes de automatización como programador, sensores, válvulas y módulo de comunicación involucrados y siguiendo el orden de activación se explicó el funcionamiento de cada uno desde la fuente de agua hasta los emisores para optimizar el control del sistema.

Para determinar el consumo de los componentes se utilizó la ecuación (32)

$$C = \frac{P}{1000} \times t \quad (32)$$

Donde:

C = Consumo diario/mensual (kW)

P = Potencia (W)

t = horas de uso (h)

Siendo la potencia calculada con la ecuación (33)

$$P = V \times I \quad (33)$$

Donde:

P = Potencia (W)

V = Voltaje (V)

I = Corriente (A)

#### 4.7. Análisis económico:

Se llevó a cabo un análisis financiero que involucra variables como VAN, TIR, IR Y PR mediante las ecuaciones (34) (35) (36) (37) con el fin de determinar la rentabilidad de llevar a cabo el sistema de riego. Siendo necesario para su aceptación cumplir con los criterios de VAN y TIR positivos, IR mayor a 1 y PR inferior al total de años de utilidad del proyecto. Además, se realizó una tabla donde se especifica los valores obtenidos y el costo total de inversión para cada uno de los sistemas de riego.

$$VAN = -I_0 + \sum_1^n \frac{Ft}{(1+i)^n} \quad (34)$$

Donde:

VAN = Valor actual neto (€)

I0 = Inversión inicial (€)

Ft = Flujo total efectivo (€)

n = Años de vida útil del proyecto

$$0 = -I_0 + \sum_1^n \frac{Ft}{(1 + TIR)^n} \quad (35)$$

Donde:

TIR = Tasa interna de retorno (%)

I0 = Inversión inicial (C)

Ft = Flujo total efectivo (C)

n = Años de vida útil del proyecto

$$IR = \frac{VAN + I_0}{I_0} \quad (36)$$

Donde:

IR = Índice de rentabilidad (adimensional)

VAN = Valor actual neto (C)

I0 = Inversión inicial (C)

$$PR = \frac{-Fna}{Fne} + n \quad (37)$$

Donde:

PR = Periodo de recuperación (años)

Fna = Flujo neto acumulado (C)

Fne = Flujo neto efectivo (C)

n = año donde se da el último flujo neto acumulado negativo

#### 4.8. Análisis ambiental:

Se realizó una Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) para el proyecto por medio del formulario D1 de la Secretaría Técnica Nacional Ambiental de Costa Rica (SETENA) el cual se encarga de categorizar el proyecto propuesto tomando en cuenta las actividades que involucran su implementación en los factores, aire, suelo, agua, humano y otros por medio

de una calificación. Categoriza el proyecto en A si la calificación es mayor a 1000, en B1 si la calificación es mayor a 300 y menor a 1000 y en B2 si es menor a 300. A partir de la categoría, indica el procedimiento que se debe seguir.

## **5. RESULTADOS**

En los cuatro diseños de sistemas de riego por goteo y fertirriego se ven involucrados cinco ambientes protegidos en cuatro fincas diferentes. Para su correcta identificación en lo que resta del documento se referirá a ellos por número con respecto al diseño y finca a la que pertenecen. El ambiente protegido 1 corresponde al diseño 1 y así sucesivamente. En el diseño 2 se ven involucrados dos ambientes protegidos por lo que se llamarán como ambiente protegido 2 a y 2b.

### **5.1. Reconocimiento de campo y análisis topográfico:**

El ambiente protegido 1 pertenece al productor José Vega Mora. Se ubica en Cajón de Pérez Zeledón como se muestra en la Figura 3. Posee un área de 400 m<sup>2</sup> (20m x20m) y, cuenta con una selección variada de hortalizas, entre ellos; culantro, chile, lechuga y apio como se detalla en la imagen del Anexo 3. Además, a una distancia de 325 m se encuentra una quebrada, la cual se consideró como la fuente de agua potencial para abastecer el sistema. Posee una altitud de 1036 metros sobre el nivel del mar, mientras que el ambiente protegido se encuentra a 962 metros.

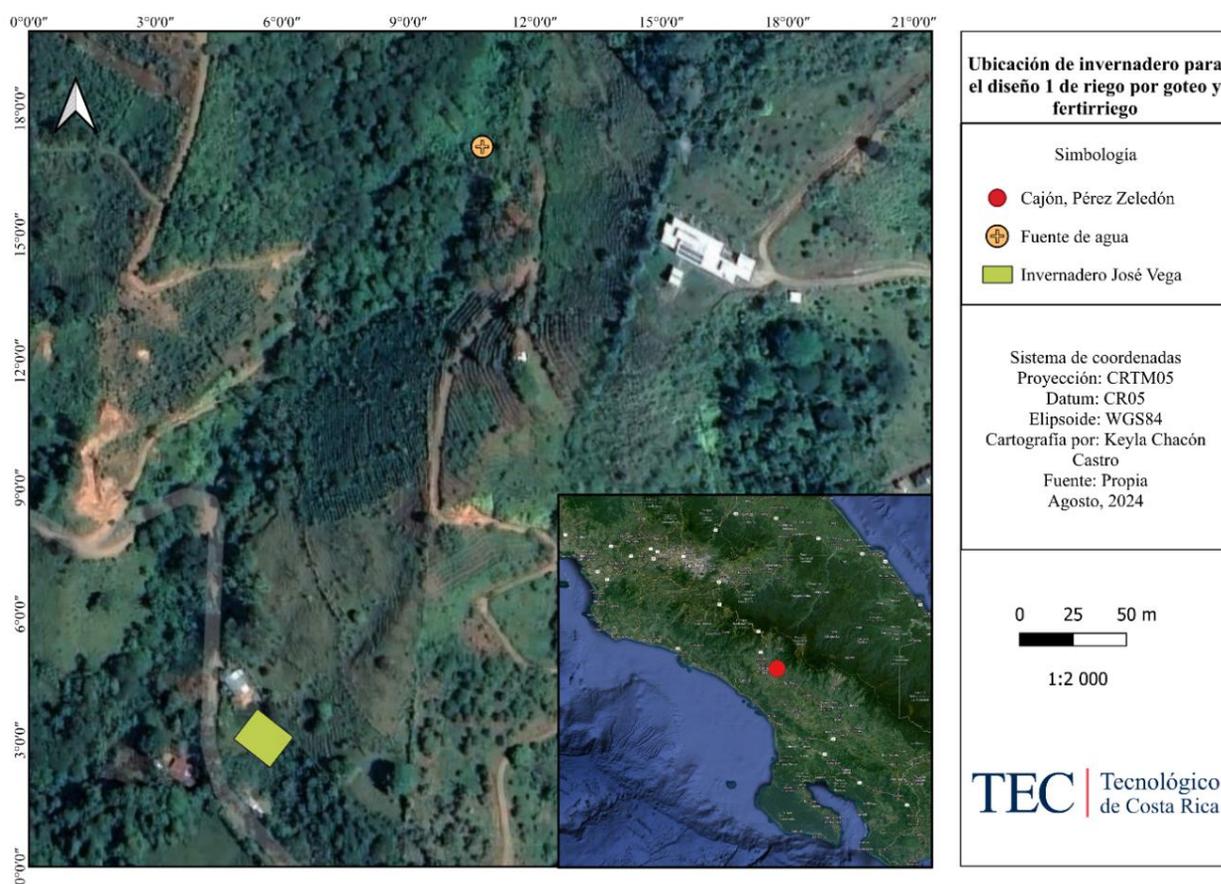
Los ambientes protegidos 2 a y 2b se encuentran en la finca perteneciente a Marta Naranjo Navarro ubicada en Santa Elena de General Viejo, Pérez Zeledón que cuenta con varios invernaderos. Se seleccionaron dos ambientes protegidos que carecen un sistema de riego establecido, ambos de 200 m<sup>2</sup> (20m x 10m). Se dispone de una fuente de agua natural que se encuentra a 39,2 m para abastecer el sistema. Tiene una altitud de 813 metros sobre el nivel del mar y se encuentra situada a 200 metros de los ambientes protegidos que se encuentran a 821 metros sobre el nivel del mar como se muestra en la Figura 4. Uno de ellos está dedicado al cultivo de lechuga, el cual se nombrará posteriormente como ambiente protegido 2a, mientras que el otro tiene hortalizas varias, que se nombrará ambiente protegido 2b. En la imagen del Anexo 4 se puede observar con detalle.

El ambiente protegido 3 posee un área de 200 m<sup>2</sup> (20m x 10m) y ha presentado problemas a la hora de producir. Debido a esto, el productor José Céspedes Barrantes pretende eliminar los cultivos que tiene en la actualidad, visibles en la imagen del Anexo 5 y sembrar lechuga en su totalidad. Este ambiente protegido, como lo muestra la Figura 5, se encuentra ubicado en General Viejo de Pérez Zeledón y cuenta con fuente de agua natural

proveniente de una quebrada situada a 52 m del ambiente protegido, con una diferencia de altura de 3 msnm con el ambiente protegido.

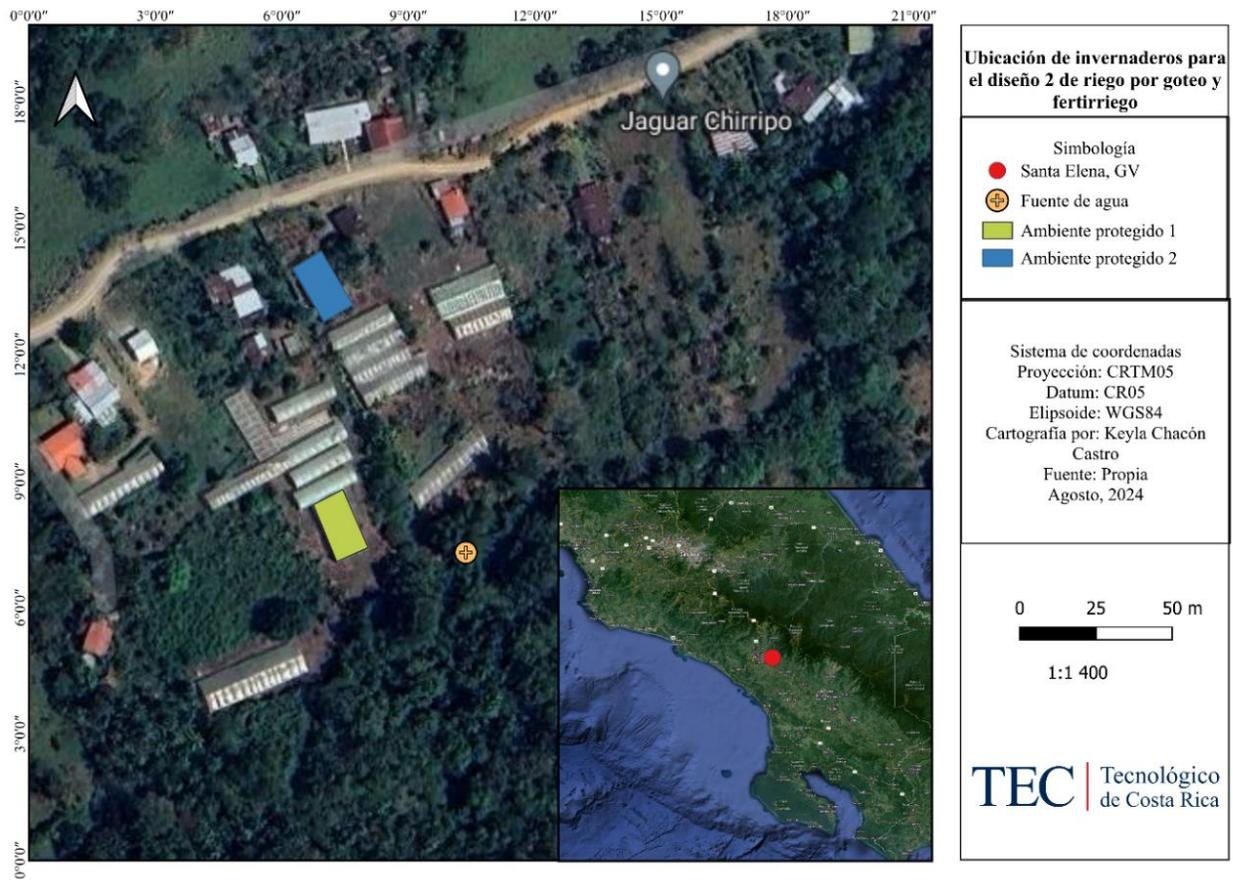
El ambiente protegido 4 pertenece a Henry Quesada Estrada y se ubica en San Pedro de Pérez Zeledón. En su totalidad abarca un área de 200 m<sup>2</sup> (20 m x 10m) y se dedica al cultivo de hortalizas varias, entre ellas; lechuga, pepino, tomate y cebollino como se puede observar en la Figura 6 y la imagen del Anexo 6. Este ambiente protegido no dispone de una fuente de agua natural que sea potencial para abastecer el sistema, por lo que se procedió a realizar un sistema de captación de agua de lluvia para garantizar el riego.

**Figura 3.** Imagen satelital de ambiente protegido 1



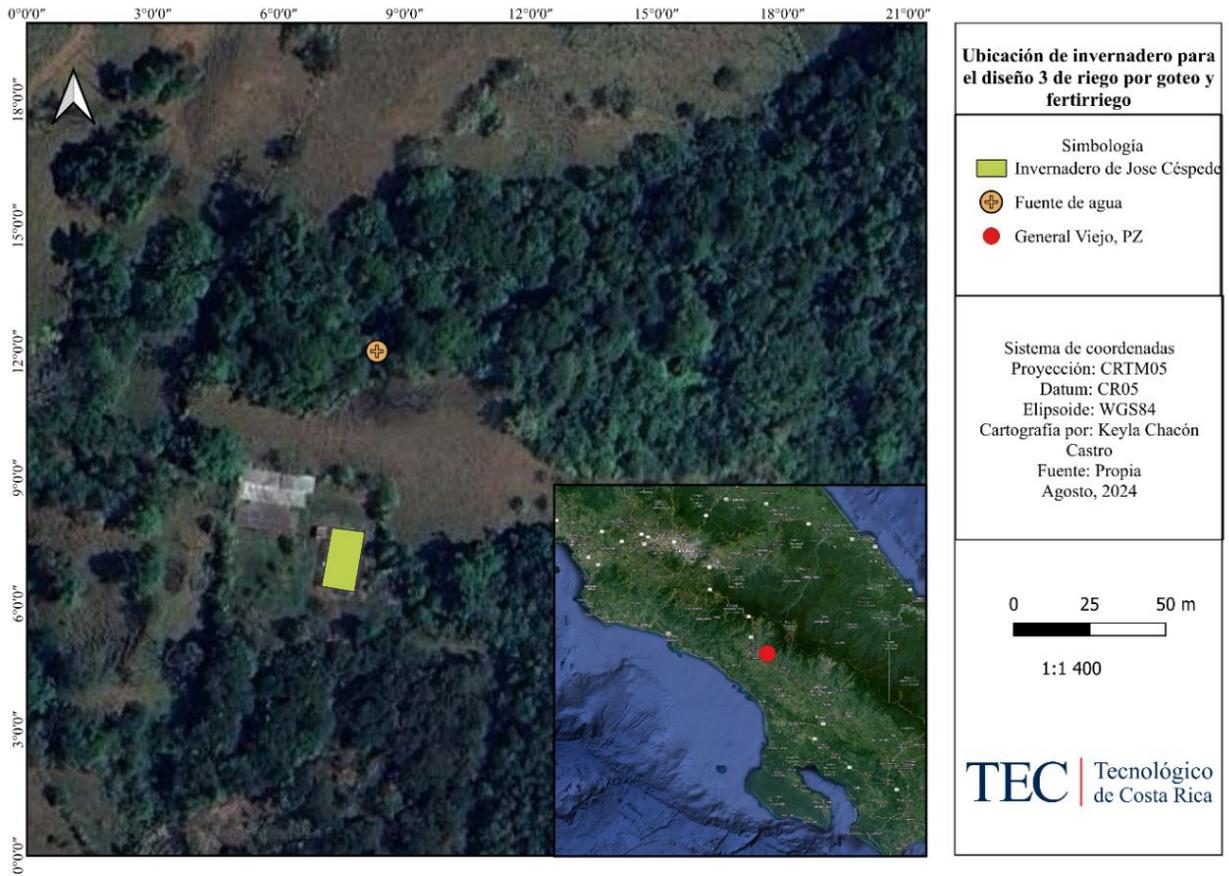
Fuente. Elaboración Propia

**Figura 4.** Imagen satelital de ambientes protegidos 2 a y 2b



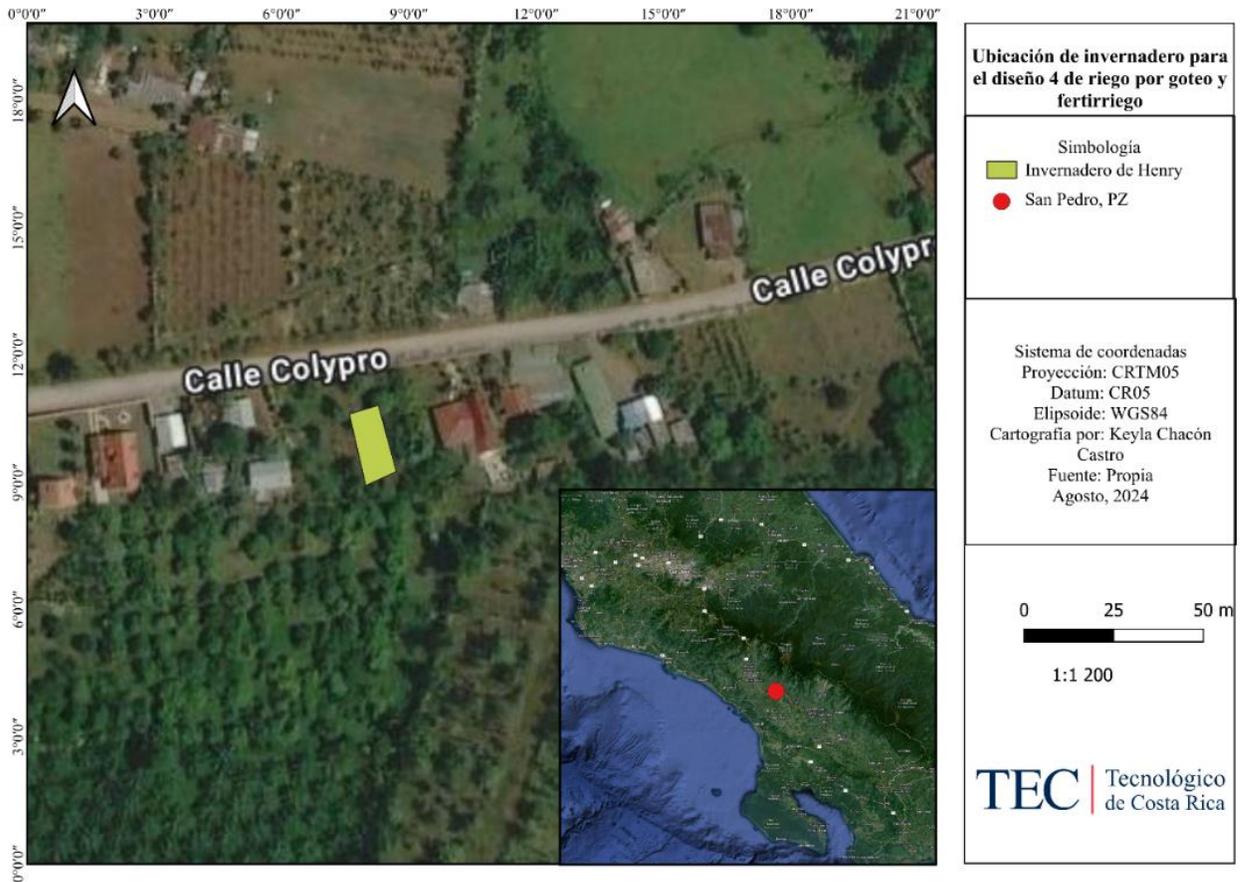
Fuente. Elaboración propia.

Figura 5. Imagen satelital de ambiente protegido 3.



Fuente. Elaboración propia.

**Figura 6.** Imagen satelital de ambiente protegido 4.



Fuente. Elaboración propia.

## 5.2. Determinación del requerimiento hídrico:

### 5.2.1. Textura:

Mediante el método de Bouyoucos en el laboratorio se determinó la textura del suelo para cada diseño con muestras disturbadas tomadas en puntos estratégicos dentro de cada ambiente protegido. El porcentaje de partículas se determinó mediante las ecuaciones (3)(4)(5) y (6) establecidas en la metodología. Cada parámetro analizado se muestra con detalle en el cuadro del Anexo 19. En el Cuadro 6 se muestra el resultado obtenido de las partículas del suelo y textura para cada ambiente protegido.

Para los ambientes protegidos 1,2 a, 2b y 3 dio como resultado una textura Franca, caracterizada por tener un equilibrio en la combinación de arenas, limos y arcillas, lo que se asocia con buena retención de agua y nutrientes, así como drenaje y aireación, lo que favorece

el desarrollo saludable de las hortalizas. El ambiente protegido 4 presentó una textura arcillosa que a diferencia de los otros se caracteriza como un suelo más denso con un buen porcentaje de nutrientes esenciales, elevada retención de humedad y dificultad de drenaje.

**Cuadro 6.** Textura del suelo obtenida de cada ambiente protegido.

Ambiente protegido	Arcilla%	Limos %	Arenas%	Textura
1	29,584	38,307	32,109	Franco arcilloso
2a	25,440	22,280	52,280	Franco arcilloso arenoso
2b	24,404	23,252	52,344	Franco arcilloso arenoso
3	33,512	15,091	51,397	Franco arcilloso arenoso
4	43,656	23,307	33,037	Arcilloso

Fuente. Elaboración propia.

### 5.2.2. Capacidad de campo y punto de marchitez permanente:

Para cada ambiente protegido se obtuvo el porcentaje de capacidad de campo y punto de marchitez permanente por medio de la ecuación (7) de la metodología. Los valores de peso obtenidos para cada muestra se muestran con detalle en los cuadros del Anexo 21 y Anexo 22. En el Cuadro 7 se muestran los resultados obtenidos mediante las pruebas realizadas en el laboratorio.

**Cuadro 7.** Capacidad de campo y punto de marchitez permanente de cada ambiente protegido.

Ambiente protegido	% CC	% PMP	% Agua útil
1	31,412	14,349	17,063
2a	25,219	16,766	8,453
2b	24,326	14,648	9,678
3	28,280	18,681	9,599
4	36,162	18,794	17,368

Fuente. Elaboración propia.

Estos resultados se encuentran dentro del rango aceptable que indica la teoría en el Cuadro 2 de los porcentajes de humedad del suelo de acuerdo con la textura.

### 5.2.3. Densidad Aparente:

En el cuadro del Anexo 20 se detallan los valores asociados al peso y volumen obtenido con lo que se determinó la densidad aparente de cada ambiente protegido mediante muestras indisturbadas de suelo por medio de las ecuaciones (8) y (9) descritas en la metodología. En el Cuadro 8 se muestran los resultados.

Los resultados obtenidos para los ambientes protegidos 1, 2a, 2b y 3 se encuentran en un rango de 1,2 – 1,3, aceptable para suelos con texturas francas según afirma Guardia et al. (2015) en el Cuadro 3. Para el ambiente protegido 4, como era de esperarse, se obtuvo un valor menor de 1,18 g/cm<sup>3</sup> que de igual manera se considera aceptable para una textura arcillosa.

**Cuadro 8.** Densidad Aparente del suelo de cada ambiente protegido.

Ambiente protegido	Volumen (m <sup>3</sup> )	Pss (g)	Da (g/cm <sup>3</sup> )
1	159,499	195,290	1,224
2a	165,874	222,780	1,343
2b	169,745	224,860	1,325
3	178,157	222,900	1,251
4	177,624	210,710	1,186

Fuente. Elaboración propia.

#### 5.2.4. Evapotranspiración potencial y de cultivo:

De acuerdo con los valores de precipitación que se muestran en el cuadro del Anexo 7 proporcionados por software climwat de la FAO, se estableció una evapotranspiración potencial (*Eto*) para los 4 diseños de 5,10 mm/ día que corresponde al mes de marzo, dado que, según los datos climáticos, este se considera el mes con un valor más elevado de *Eto* en el año para la estación de San Isidro del General, distrito al que pertenecen la totalidad de ambientes protegidos de los 4 diseños. Se utiliza este valor como referencia para asegurar que el sistema esté dimensionado para cubrir las necesidades hídricas del cultivo en las condiciones más demandantes. La evapotranspiración de cultivo (*Etc*) obtenida fue de 5,10 mm/día para el mes de marzo utilizando un coeficiente de cultivo de 1 de hortalizas de hoja, para los ambientes protegidos 1, 2a y 3. Para los ambientes protegidos 2b y 4, la evapotranspiración de cultivo se obtuvo haciendo uso de la ecuación (*I0*) de la metodología. Esta dio como resultado 5,87 mm/ día utilizando 1,15 como coeficiente de cultivo del tomate según el Cuadro 5.

#### 5.2.5. Selección del gotero:

Se seleccionó una línea con gotero autocompensado de la marca DripNet PC, el cual posee un caudal de 1 l/h con un espaciamiento de 0,2 m entre goteros y un rango de presión de operación de 0,5 a 4,0 bar. Este gotero es ideal para mantener el flujo uniforme aún en las

variaciones de presión y requiere de un filtro malla de 120 Mesh. Su información técnica se puede observar en la imagen del Anexo 8.

### 5.2.6. Demanda hídrica:

Siguiendo el procedimiento planteado en la metodología, se determinó el porcentaje de área a regar por medio de la ecuación (11) que dio como resultado un PAR de 79% para cada ambiente protegido, tomando en cuenta que los cultivos están sembrados en camas de 1m de ancho, cada cama tiene dos laterales y también, que hay pasillos de 0,4 m de ancho para desplazarse.

Las láminas neta y bruta se determinaron por medio de las ecuaciones (12) y (14) respectivamente, la frecuencia de riego mediante la ecuación (13), el tiempo en que se debe aplicar el riego por medio de la ecuación (15) y el número máximo de bloques en que se puede dividir el área haciendo uso de la ecuación (16). Estos valores obtenidos muestran los requerimientos hídricos asociados al suelo y cultivo, los cuales se detallan en el Cuadro 9.

**Cuadro 9.** Requerimientos hídricos de cada ambiente protegido.

<b>Ambiente protegido</b>	<b>1</b>	<b>2a</b>	<b>2b</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
Lámina neta (mm)	24,745	13,448	21,258	14,231	34,175
Frecuencia de riego (días)	4	2	3	2	5
Lámina bruta (mm)	26,047	14,156	22,377	14,980	35,974
Tiempo de riego (h)	1,563	0,849	1,119	0,899	1,799
Número máximo de operaciones por área	3	2	2	2	3

Fuente. Elaboración propia.

El ambiente protegido 1 posee el doble de área total en comparación con los demás, por lo que se obtuvo una lámina neta superior a la de los ambientes protegidos 2a, 2b y 3. En el caso de los ambientes protegidos 2a y 3, se obtuvo una lámina neta similar debido a que ambos tienen la misma área y cultivan hortalizas de hojas, las cuales presentan raíces más superficiales. El ambiente protegido 2b, al cultivar diversas hortalizas con mayor profundidad de raíces, requiere de una lámina neta mayor. Finalmente, el ambiente protegido 4 demanda una lámina neta mayor por su elevada capacidad de retención de agua de su suelo arcilloso y a que cultiva hortalizas con raíces más profundas. La lámina bruta refleja la

cantidad que realmente debe aplicarse para contrarrestar las pérdidas que se pueden ocasionar como la evaporación y distribución no uniforme.

La frecuencia de riego calculada sugiere que se riegue cada dos días durante 0,80 h o 50 min, en los ambientes protegidos 2a y 3 ya que las hortalizas de hoja requieren de un riego más frecuente o continuo. El ambiente protegido 1 debe regarse cada cuatro días durante 1,5 h, el 2b cada dos días durante 1 h y finalmente, el ambiente protegido 4, cada 5 días durante 1 h y 50 min. Su frecuencia de riego tan distanciada puede deberse al contenido de arcilla, que tiende a retener agua por más tiempo.

Finalmente, cada ambiente protegido se dividirá en dos secciones o bloques iguales, lo que implica que se realizará en dos turnos, regando solo una mitad por vez. Esta división se realiza para garantizar que, en caso de fugas, problemas con la tubería o imprevistos, las otras secciones puedan operar normalmente sin interrupciones. En el cuadro del Anexo 23 se muestra con detalle el resultado de los cálculos realizados para la demanda hídrica de cada ambiente protegido.

### **5.3. Diseño hidráulico:**

En el ambiente protegido 1, se genera una diferencia de altura entre la fuente de agua disponible para abastecer el sistema de riego y el invernadero de 74 metros. Esta diferencia permite que el sistema pueda operar por gravedad y no sea necesario incorporar una bomba para transportar el agua.

Para los ambientes protegidos 2 a, 2b y 3 se tiene una diferencia de altura entre la fuente de agua y el invernadero que sugiere que el sistema no se puede operar por gravedad, por lo que es necesaria la instalación de una bomba que permita dirigir el agua hasta un tanque de almacenamiento y de ahí se dirija hacia las tuberías que alimentan el sistema.

En el caso del ambiente protegido 4, la fuente de agua que abastecerá el sistema corresponde al volumen captado de lluvia, por lo que, de igual manera se necesita una bomba para elevar la presión a la entrada del sistema y una válvula de retorno para asegurar que la presión se encuentre dentro de un rango aceptable y de esa manera, asegurar que el sistema de riego por goteo funcione de manera adecuada.

Adicional, en cada diseño se instalará un tanque de agua de 2500 litros, cercano al ambiente protegido. Este tanque será elevado a 10 metros a partir del suelo en los ambientes protegidos 1, 2a, 2b y 3. En el ambiente protegido 4 se instalará a dos metros de altura para mantenerlo debajo del techo o superficie de captación. El tanque ayudará a estabilizar el flujo y asegurar que el suministro al invernadero sea regular. También, funciona como reserva estratégica para anticipar cualquier problema con la fuente principal y así, garantizar el riego continuo.

### 5.3.1. Laterales:

Siguiendo las ecuaciones establecidas en la metodología, se calculó la longitud de cada lateral utilizando la ecuación (18); el número de goteros a lo largo de cada lateral mediante la ecuación (17); el caudal a conducir en cada lateral mediante la ecuación (19); el número de laterales por bloque con la ecuación (20); las pérdidas admisibles mediante la ecuación (23); y la presión a la entrada del lateral por medio de la ecuación (21).

Se seleccionó línea de goteo con un diámetro de tubería de 16 mm para los laterales del cada diseño. En el Cuadro 10 se detalla el diseño hidráulico correspondiente a los laterales de un bloque por ambiente protegido, siendo este representativo para ambos, ya que las secciones son simétricas y operan bajo los mismos parámetros.

**Cuadro 10.** Caracterización hidráulica de los laterales.

<b>Ambiente protegido</b>	<b>1</b>	<b>2a</b>	<b>2b</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
Longitud de cada lateral(m)	20,00	20,00	10,00	20,00	10,00
Número de goteros por lateral	100,00	100,00	50,00	100,00	50,00
Caudal de cada lateral(m <sup>3</sup> /h)	0,10	0,10	0,05	0,10	0,05
Caudal por era (m <sup>3</sup> /h) (2 laterales)	0,20	0,20	0,10	0,20	0,10
Número de laterales por bloque	14,00	7,00	14,00	7,00	14,00
Pérdidas admisibles en el lateral(mca)	1,56	1,20	1,15	1,10	1,06
Presión de entrada en el lateral(mca)	6,33	5,97	5,92	5,87	5,83

Fuente. Elaboración propia.

Se adecuaron los diseños a la forma de siembra previamente establecida en cada ambiente protegido con el objetivo de optimizar la distribución de agua en función de las necesidades de las hortalizas. En todos los ambientes protegidos se colocaron dos laterales por era, con una separación de 0,2m entre goteros, que coincide con la distancia a la que comúnmente se siembran las hortalizas.

Para los ambientes protegidos 1, 2a y 3, se emplearon laterales de 20 m de longitud. Al utilizar tubería con goteros auto compensados de 1 l/h, el caudal de cada lateral es de 0,10 m<sup>3</sup>/h y, el caudal en cada era resultó en 0,20 m<sup>3</sup>/h. En los ambientes protegidos 2b y 4, los laterales fueron diseñados con una longitud de 10m con 50 goteros. El caudal de cada lateral dio como resultado 0,05 m<sup>3</sup>/h lo que genera un caudal total de la era de 0,10 m<sup>3</sup>/h.

La presión de entrada en los laterales debe ser superior a la presión mínima de trabajo de la línea de tubería seleccionada, la cual en este caso opera con presiones entre los 0,4 y 5 bar y en todos los casos se supera, lo que garantiza un funcionamiento adecuado del sistema bajo las condiciones previstas.

### 5.3.2. Múltiple:

Con base en las ecuaciones descritas en la metodología, se calculó la longitud de la tubería múltiple utilizando la ecuación (22); las pérdidas admisibles y las ocasionadas por la fricción utilizando las ecuaciones (23) y (25), respectivamente. El diámetro teórico se obtuvo a partir de la ecuación (24), mientras que el caudal del múltiple se calculó utilizando la ecuación (26). Finalmente, la presión en las válvulas y la presión distal se determinaron aplicando las ecuaciones (27) y (28).

La caracterización hidráulica del múltiple se muestra en el Cuadro 11.

**Cuadro 11.** Caracterización hidráulica de la tubería múltiple.

<b>Ambiente protegido</b>	<b>1</b>	<b>2a</b>	<b>2b</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
Longitud del múltiple (m)	10,00	5,00	10,00	5,00	10,00
Pérdidas admisibles en múltiple (mca)	2,46	1,35	1,30	1,18	1,16
Caudal del múltiple (m <sup>3</sup> /h)	1,40	0,70	0,70	0,70	0,70
Diámetro Teórico (mm)	13,48	10,51	11,80	12,45	12,08
Diámetro comercial (mm)	31,00	31,00	31,00	31,00	31,00
Pérdidas por fricción (mca)	0,04	0,007	0,012	0,014	0,012
Presión en la válvula (mca)	6,57	6,01	5,96	5,90	5,86
Presión distal (mca)	6,42	5,15	5,10	4,97	4,95

Fuente. Elaboración propia.

Se puede observar que el caudal en el múltiple es de 1,4 m<sup>3</sup>/h en el ambiente protegido 1, considerando los 14 laterales que conforman el sistema. En los demás ambientes protegidos, el caudal es de 0,70 m<sup>3</sup>/h. Este valor es inferior debido al que, a diferencia del ambiente protegido 1, todos tienen la misma área.

Para el diámetro teórico se obtuvo un valor inferior a 15 mm en todos los ambientes protegidos. No obstante, se optó por seleccionar una tubería de polietileno con un diámetro de  $1\frac{1}{4}$ " (31,00 mm) para facilidad de instalación del sistema y evitar fugas. También, esta tubería corresponde a la disponible en el mercado con proximidad al diámetro necesario.

En lo que respecta a las pérdidas admisibles en el múltiple son de 2,46 mca en el ambiente protegido 1 donde la longitud y el caudal son mayores y alrededor de 1 mca en los demás. Las pérdidas provocadas por la fricción no sobrepasan las admisibles en ninguno de los casos, lo que confirma que la selección de la tubería es adecuada para minimizar las pérdidas.

En cuanto a la presión en las válvulas es de aproximadamente 6 mca en todos los casos, lo que se considera suficiente de acuerdo con la presión a la que trabaja el sistema (4-30mca). La presión distal o presión en el extremo final es en todos los casos menor lo que es esperado debido a las inevitables pérdidas a lo largo de la tubería.

### 5.3.3. Principal:

A partir de las ecuaciones presentadas en la metodología, se calculó el diámetro teórico necesario para la tubería principal utilizando la ecuación (29). Las pérdidas admisibles y las provocadas por la fricción utilizando las ecuaciones (23) y (25), respectivamente. Asimismo, la carga dinámica utilizando la ecuación (30), y la potencia necesaria de la bomba mediante la ecuación (31).

En el Cuadro 12 se muestran los parámetros hidráulicos obtenidos para la tubería principal de cada ambiente protegido.

**Cuadro 12.** Caracterización hidráulica de la tubería principal.

<b>Ambiente protegido</b>	<b>1</b>	<b>2a</b>	<b>2b</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
Caudal en la principal (m <sup>3</sup> /h)	1,40	1,40		0,70	0,70
Diámetro de la principal (mm)	18,17	18,17		12,85	12,85
Diámetro comercial (mm)	31,00	31,00		31,00	31,00
Presión en la entrada (mca)	10,00	10,00		10,00	10,00
Pérdidas por fricción (mca)	1,09	0,42		0,15	0,06
Velocidad recalculada (m/s)	0,52	0,52		0,26	0,26
Carga dinámica (mca)	20,55	19,75		19,36	8,22
Potencia de la bomba (hp)	0,00	0,32		0,15	0,07

Fuente: Elaboración propia.

El caudal en la tubería principal coincide con el del múltiple de 1,40 m<sup>3</sup>/h en el ambiente protegido 1. Para los ambientes protegidos 2a y 2b, que se encuentran ubicados en la misma finca y disponen de la misma fuente de agua, el caudal conjunto es de 1,4 m<sup>3</sup>/h. Para los ambientes protegido 3 y 4 el caudal es de 0,7 m<sup>3</sup>/h.

El diámetro teórico de la tubería necesaria para abastecer cada sistema se determinó utilizando una velocidad de flujo máxima permitida de 1,5 m/s para evitar problemas de presión excesiva y durabilidad a la tubería. Los diámetros teóricos obtenidos son de 18,17 mm para los ambientes protegidos con mayor caudal (1, 2 a y 2b) y de 12,85 mm para los ambientes protegidos con menor caudal (3 y 4). Aunque los valores teóricos no superan los 20 mm, se seleccionó tubería de polietileno con un diámetro de 1 ¼" (31,00 mm) al igual que en la tubería múltiple. Esta elección se basa en la disponibilidad en el mercado y facilidad de instalación.

Con el diámetro comercial se calculó una velocidad real del flujo que dio como resultado valores por debajo del límite permitido de 1,5 m/s, lo que confirma que el diseño de la tubería es adecuado para evitar pérdidas excesivas o daños por velocidades elevadas. Por otro lado, las pérdidas provocadas por la fricción en todos los ambientes protegidos se mantienen por debajo de las permitidas de 3,06 en los ambientes protegidos de mayor caudal (1,2 a y 2b) y 1,96mca en los ambientes protegidos 3 y 4.

La carga dinámica dio como resultado 20,55 mca en el ambiente protegido 1, pero al tener una diferencia de altura de 64 m entre la fuente de agua y el tanque de almacenamiento, la presión a la entrada generada por la gravedad, de aproximadamente 5 bar, es más que suficiente para superar la carga dinámica sin la necesidad de una bomba.

En el caso de los ambientes protegidos 2 a, 2b y 4 se obtuvo una carga dinámica de 19,75 mca y 8,22 mca respectivamente. Estos valores se utilizaron para determinar la potencia necesaria de la bomba, la cual dio como resultado 0,31 hp y 0,07 hp. Se seleccionó una bomba de agua modelo QB60 de 0,5 hp para ambos diseños. Sus especificaciones técnicas se muestran con detalle en la imagen del Anexo 11.

Finalmente, la carga dinámica en el ambiente protegido 3 dio como resultado 19,36 mca. Este valor se utilizó para determinar la potencia necesaria de la bomba a utilizar el

sistema. La potencia dio como resultado 0,15 hp, sin embargo, se seleccionó una bomba periférica de gasolina de 2,5 hp y 1 x 1”, para que, sin presencia de corriente eléctrica, se logre succionar el caudal que requiere el sistema al tanque elevado de 10 m. Sus especificaciones técnicas se pueden observar en la imagen del Anexo 12.

Se elaboró un dibujo a escala en el que se representa la distribución de la tubería principal, múltiple y laterales de riego para cada ambiente protegido. En el dibujo del Anexo 24 se muestra la representación del ambiente protegido 1; en el dibujo del Anexo 25, los ambientes protegidos 2a y 3 y; en el dibujo del Anexo 26, los ambientes protegidos 2b y 4.

#### 5.4. Cosecha de lluvia para diseño 4:

Se procedió a realizar un diseño de captación de agua de lluvia para un área de captación de 165 m<sup>2</sup>. Se calculó la precipitación de diseño máxima y mínima mensual para un periodo de retorno de 10 años, valor que comúnmente se utiliza en prácticas agrícolas. Posteriormente, se determinó la precipitación neta que puede ser captada utilizando la ecuación (1) descrita en la metodología y, con el área del techo se determinó el volumen que se puede captar mensualmente mediante la ecuación (2). Los resultados obtenidos para precipitaciones de diseño máximas se muestran en el Cuadro 13 y para precipitaciones de diseño mínimas en el Cuadro 14.

**Cuadro 13.** Volumen máximo de agua que se puede captar por mes para el ambiente protegido 4

Mes	Precipitación		Volumen máximo (m <sup>3</sup> )
	de diseño max (mm)	Precipitación Neta (mm)	
Enero	52,180	46,962	7,749
Febrero	37,910	34,119	5,630
Marzo	56,880	51,192	8,447
Abril	52,040	46,836	7,728
Mayo	58,630	52,767	8,707
Junio	68,630	61,767	10,192
Julio	59,000	53,100	8,762
Agosto	58,550	52,695	8,695
Septiembre	65,000	58,500	9,653
Octubre	86,200	77,580	12,801
Noviembre	118,810	106,929	17,643
Diciembre	55,110	49,599	8,184

Fuente. Elaboración propia.

**Cuadro 14.** Volumen mínimo de agua que se puede captar para el ambiente protegido 4.

<b>Mes</b>	<b>Precipitación de diseño min (mm)</b>	<b>Precipitación Neta (mm)</b>	<b>Volumen mínimo (m3)</b>
Enero	3,89	3,501	0,578
Febrero	0,85	0,765	0,126
Marzo	0,67	0,603	0,099
Abril	0,22	0,198	0,033
Mayo	29,3	26,370	4,351
Junio	27,66	24,894	4,108
Julio	27,65	24,885	4,106
Agosto	25,95	23,355	3,854
Septiembre	32,71	29,439	4,857
Octubre	30,23	27,207	4,489
Noviembre	28,27	25,443	4,198
Diciembre	5,16	4,644	0,766

Fuente. Elaboración propia.

Los valores más críticos obtenidos corresponden a los meses de enero, febrero, marzo, abril y diciembre donde las precipitaciones son mínimas o inexistentes, sin embargo, se puede observar en el Cuadro 13 que sí hay valores de precipitación máxima positivos, lo que indica que para cada mes existe precipitación que se puede captar, aunque sea mínimo, sin embargo, es importante determinar si es suficiente para cubrir la demanda del sistema.

En el ambiente protegido 4 se requiere un caudal de  $0,7 \text{ m}^3/\text{h}$  durante 1 hora y 50 min cada 5 días para suministrar la lámina bruta necesaria de 35,97 mm. Con un tanque de almacenamiento de 2500 litros se puede abastecer el sistema durante dos semanas. En los meses de mayo a noviembre, el volumen mínimo que se puede captar es el de dos tanques, cuatro riegos, lo que sería suficiente para abastecer el sistema durante el mes, sin embargo, no para abastecer los meses de menos lluvia de diciembre a abril, por lo que, utilizando los valores mínimos de volumen de captación, se necesitará otra fuente de agua para abastecer estos meses.

### 5.5. Fertirriego:

Para el componente de fertilización en cada finca se utilizará un recipiente de almacenamiento de fertilizante con una capacidad de 20 litros al que está conectado un inyector Venturi que fue seleccionado tomando en cuenta la presión de entrada disponible en el sistema de 10 mca.

Para los diseños 1 y 2 se seleccionó un Venturi Mazzei de 1" modelo 1078-03, cuyas especificaciones se pueden observar en la imagen del Anexo 9, con un caudal motriz de 1,75 m<sup>3</sup>/h, el cual es adecuado para el caudal que conduce el sistema de 1,4 m<sup>3</sup>/h. Con un diferencial de presión de 2,1 mca, el caudal de succión es de 0,0726 m<sup>3</sup>/h por lo que se aplicarán 20 l de fertilizante aproximadamente en 16,2 min.

Para los ambientes protegidos 3 y 4, se seleccionó un inyector Venturi Mazzei de ½" modelo 0584. Sus especificaciones se pueden visualizar con detalle en la imagen del Anexo 10. Este inyector posee una máxima presión de funcionamiento de 50 mca y trabaja con un caudal motriz de 0,822 m<sup>3</sup>/h por lo que se adecúa a el caudal de 0,70 m<sup>3</sup>/h de los sistemas. Con un diferencial de presión de 3, 5 mca con 10,5 mca a la entrada del inyector y 7,0 mca a la salida, el flujo de succión es de 0,0892 l/h. El tiempo aproximado de aplicación de 20 l de fertilizante será de 13 min.

En el Cuadro 15 se muestra la propuesta de plan de fertirriego para hortalizas en función de sus etapas de crecimiento y fertilizante recomendado para suplir sus necesidades de nutrición.

**Cuadro 15.** Plan de fertirriego para hortalizas.

<b>Etapa de desarrollo del cultivo</b>	<b>Duración de etapa</b>	<b>Frecuencia de aplicación</b>	<b>Fertilizante recomendado</b>	<b>Concentración del fertilizante</b>
Germinación	1-2 semanas	Diaria o de días por medio	Fosfato monoamónico (primeros días) o nitrato de calcio (alternado en días separados)	Baja
Crecimiento vegetativo temprano	2-4 semanas	2 veces por semana	Nitrato de potasio y nitrato de calcio (días separados), fosfato monoamónico en aplicaciones sin fosfato	Moderada
Crecimiento vegetativo ideal	4-5 semanas	2 veces por semana	Nitrato de potasio y sulfato de magnesio (en días alternos); nitrato de calcio sin mezclar con sulfato; micronutrientes (Fe, Zn, Mn) aplicados de forma alterna	Moderada- Alta
Etapa de maduración	1-2 semanas	1 vez por semana	Nitrato de calcio (en aplicaciones sin sulfato); micronutrientes (Fe, Zn, Mn)	Moderada

Fuente. Elaboración propia

## **5.6. Automatización:**

### **5.6.1. Componentes esenciales:**

#### **5.6.1.1. Programador central:**

Se seleccionó un Esp-32 que es un microcontrolador modular. Este microcontrolador no posee un software de control o monitoreo integrado lo que incrementa su capacidad de personalización y adaptabilidad. Permite extrapolar los sensores de manera que se pueden utilizar una gran variedad de componentes sin experimentar incompatibilidad por marca.

#### **5.6.1.2. Sensores:**

Para los sensores se utilizó uno de nivel de agua en tanque y 2 tipos de sensores de humedad en suelo. Se eligió un sensor de nivel de agua en tanque de presión hidrostática modelo “water level pressure sensor QDY30A” ya que la presión que ejercerá la columna de

agua será proporcional al nivel de esta y este es compatible con el controlador y el software de monitoreo.

Para los sensores de humedad en suelo, se tomó en cuenta la profundidad de raíces del cultivo, de 0,2 a 0,7 para el caso de las hortalizas, por lo que se seleccionó un sensor “DFRobot Capacitivo de Humedad de Suelo” que ofrece un rango de lectura hasta los 0,2 m. De estos se colocarán 5 en forma de zigzag distribuidos en el ambiente protegido. Además, se utilizarán dos sensores “vegetronix vh400” con un rango de lectura más profundo, hasta 0,9 m.

#### **5.6.1.3. Electroválvulas:**

Para controlar la apertura y cierre del flujo de agua se seleccionó una electroválvula que obedece al controlador central mediante señales eléctricas emitidas por la información de los sensores. Se seleccionó una modelo “PGV-101-G-B” que sostiene presiones por encima de 1 bar. Adicional, se agregará un relé para que el ESP- 32 no tenga problemas para gestionar la activación de la electroválvula que funciona con 24V AC.

#### **5.6.1.4. Software:**

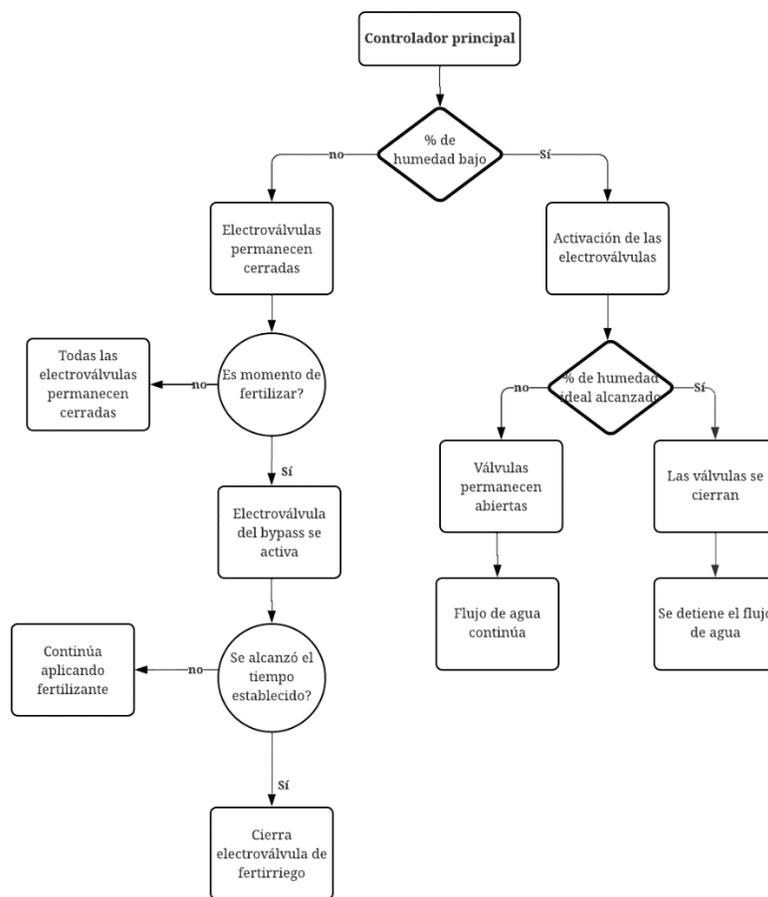
El ESP-32 es un microcontrolador versátil que, aunque no está diseñado específicamente como un programador de riego, se adecúa para este proyecto de automatización, ya que se puede adaptar a aplicaciones que requieren gestión o monitoreo remoto. En este caso se utilizará en conjunto con la herramienta “Home Assistant” que actuará como el sistema central de control. Mediante este software, el usuario tiene la posibilidad de gestionar el sistema de riego de forma tanto automática como manual.

El complemento ESPHome se encarga de conectar los sensores que monitorean constantemente la humedad del suelo. Los sensores enviarán las lecturas al ESP-32, que activará las electroválvulas en el momento que el nivel de humedad en el suelo esté por debajo del valor previamente establecido, sin necesidad de la intervención del usuario y se regará durante un tiempo establecido anteriormente tomando en cuenta las necesidades del cultivo y suelo para llevar a las condiciones óptimas de humedad.

Sin embargo, en el momento que desee, el usuario puede tomar control y activar o desactivar el riego de manera manual a través de la interfaz de Home Assistant, ya sea desde un dispositivo móvil o laptop. Esta combinación permite una integración amable con el usuario,

sin necesidad de que realice una programación avanzada. En la Figura 7 se muestra el funcionamiento según el orden de activación de los componentes.

**Figura 7.** Diagrama del funcionamiento general de la automatización.



Fuente. Elaboración propia.

### 5.6.2. Aplicación de fertilizante:

El sistema de fertirriego utilizará un inyector Venturi que será el encargado de succionar el fertilizante desde el recipiente de almacenamiento y mezclarlo con el agua de riego. Este estará instalado en un bypass que permitirá controlar su operación. Este bypass incluirá una electroválvula modelo “PGV-101-G-B”, cuya función es regular el flujo de agua

hacia el Venturi, permitiendo que el fertilizante se incorpore de manera precisa en el sistema de riego.

La operación de la electroválvula será automatizada por medio del controlador central, que gestionará el fertirriego según un calendario y tiempo predefinido dentro del controlador central. De esta manera, el día programado, el controlador activará la electroválvula, abriéndola durante el tiempo antes establecido en el que se aplicará el fertilizante.

### 5.6.3. Fuentes de energía:

En caso de que algún ambiente protegido no cuente con un suministro de energía por red eléctrica, se detalla el consumo energético aproximado de cada componente en el Cuadro 16 para un funcionamiento ininterrumpido por lo que disminuirá al trabajar menos tiempo. Así, se podrá valorar la foto celda necesaria para suplir la demanda energética.

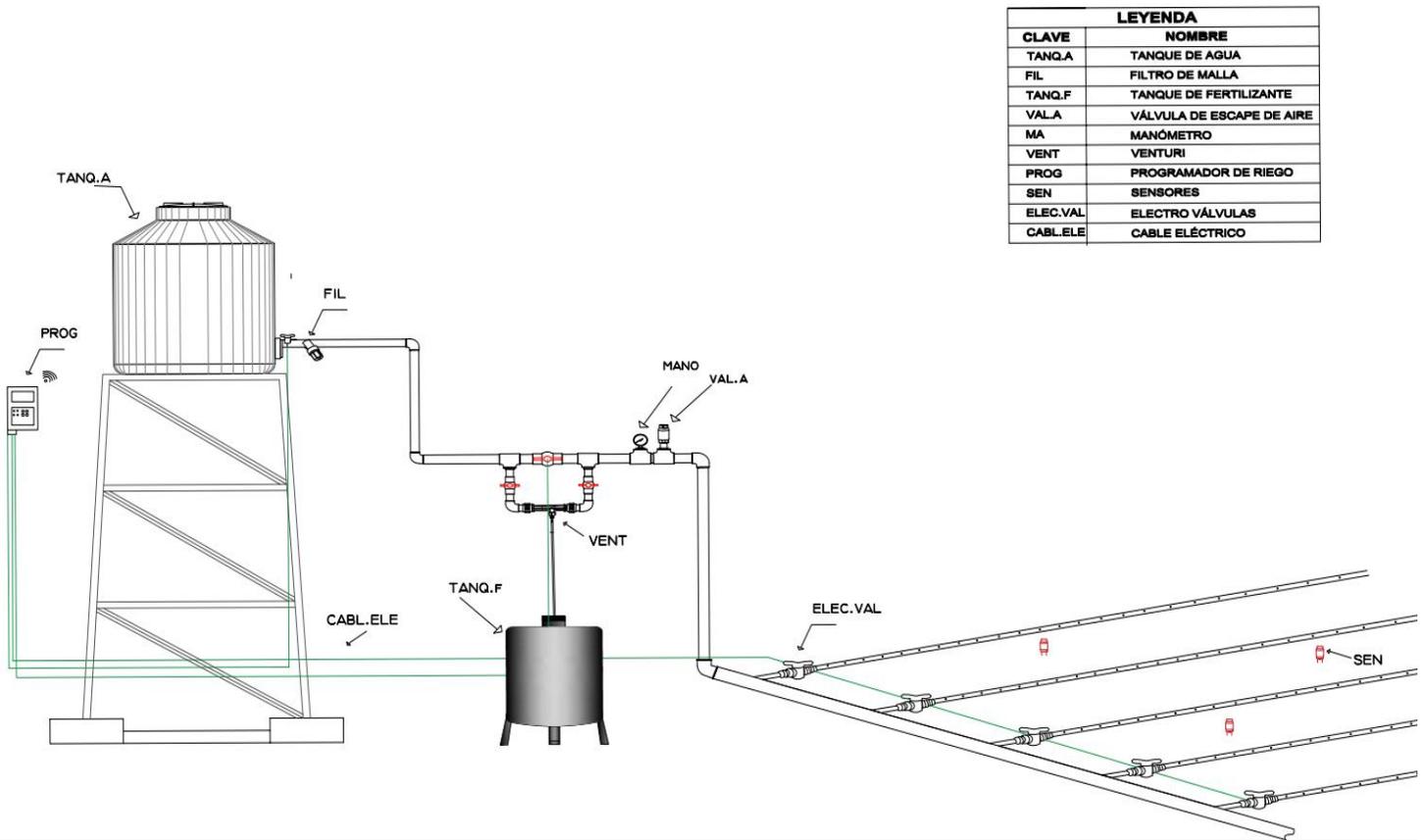
**Cuadro 16.** Consumo energético de los componentes de automatización para 1000 horas.

Componente	Consumo Diario (Wh)	Consumo Mensual (kWh)
ESP32-S3 Feather	19,2	0,576
Water level pressure sensor QDY30A	2,4	0,072
DFRobot Capacitivo de Humedad x5	19,8	0,594
Vegetronix VH400 x2	12	0,36
Electroválvulas PGV-101-G-B	144	4,32
Total	197,4	5,922

Fuente. Elaboración propia.

La Figura 8 muestra el esquema general de los componentes esenciales y cómo se vería el sistema automatizado de riego y fertirriego. En él se detalla la posible ubicación y nombre de cada componente para asegurar un adecuado funcionamiento.

**Figura 8.** Esquema general de automatización para el sistema de riego y fertirriego.



Fuente. Elaboración propia.

### 5.7. Análisis económico:

Se realizó en general para los cuatro diseños una lista de los componentes estándar y de automatización necesarios con costo asociado obtenido de las cotizaciones realizadas a diferentes distribuidores en el país. Esta lista se muestra en el Cuadro 17. También, se valoró el ingreso anual bruto aproximado que se obtiene de un ambiente protegido de hortalizas varias y hortalizas de hojas que se observa en el Cuadro 18 y Cuadro 19.

**Cuadro 17.** Lista de materiales esenciales para el sistema de riego.

<b>Material</b>	<b>Unidades requeridas</b>	<b>Costo por unidad</b>	<b>Costo total</b>
Tanque de para agua 2500 l	1	¢270 000,00	¢270 000,00
Recipiente para fertilizante	1	¢10 000,00	¢10 000,00
Tubería PE 1" 1/4", 31mm, rollo de 45m	3	¢76 730,00	¢230 190,00
Bomba	1	¢58 000,00	¢58 000,00
Manguera de goteo (500 m)	1	¢102 034,00	¢102 034,00
Venturi 3/4	1	¢43 162,00	¢43 162,00
Fintro de malla	1	¢4 158,00	¢4 158,00
Manómetro	1	¢6 500,00	¢6 500,00
Válvula de aire	1	¢33 100,00	¢33 100,00
Válvula reguladora de presión	1	¢40 000,00	¢40 000,00
Conector inicial	21	¢190,00	¢3 990,00
Tapón final	21	¢415,00	¢8 715,00
Tee PVC lisa	1	¢1 900,00	¢1 900,00
Codo PVC 45°	2	¢1 600,00	¢3 200,00
Costo total de materiales estardart		<b>¢814 949,00</b>	
<b>Automatización</b>			
Controlador central Esp-32	1	¢14 779,00	¢14 779,00
Sensor de control en el tanque	1	¢16 169,00	¢16 169,00
Sensor de humedad profundidad de 0,2-0,3m	5	¢10 307,00	¢51 535,00
Sensor de humedad profundidad de 0,2-0,9m	2	¢45 883,00	¢91 766,00
Electroválvula	1	¢11 350,00	¢11 350,00
Costo total de materiales de automatización		<b>¢185 599,00</b>	
Costo total de los materiales			<b>¢1 000 548,00</b>

Fuente. Elaboración propia.

**Cuadro 18.** Ingresos brutos anuales de un ambiente protegido con hortalizas varias

<b>Producto</b>	<b>Área (m2)</b>	<b>ciclos/año</b>	<b>Precio/kilo</b>	<b>Ingresos brutos anuales</b>
Lechuga	100	6	600	¢1 440 000,00
Chile	30	4	800	¢768 000,00
Tomate	40	3	1200	¢1 152 000,00
Pepino	30	3	800	¢576 000,00
Total			<b>¢3 936 000,00</b>	

Fuente. Elaboración propia.

**Cuadro 19.** Ingresos brutos anuales de un ambiente protegido de hortalizas de hojas

<b>Producto</b>	<b>Área (m2)</b>	<b>ciclos/año</b>	<b>Precio/kilo</b>	<b>Ingresos brutos anuales</b>
Hortalizas de hoja	200	6	600	€2 880 000,00
<b>Total</b>	<b>€2 880 000,00</b>			

Fuente. Elaboración propia.

Los costos de instalación se determinaron tomando en cuenta dos peones durante 3 días y una jornada diaria de ocho horas. Además, una capacitación previa a instalación para brindar la información necesaria de uso y monitoreo al productor y servicios técnicos como se muestra en el Cuadro 20.

**Cuadro 20.** Costos asociados a la instalación de cada sistema.

<b>Costos para la instalación</b>	
Capacitación	€25 000,00
Consultoría en servicios técnicos	€250 000,00
Técnico para automatización	€48 742,00
Gastos de instalación, 2 peones 3 días	€119 530,00
<b>Total</b>	<b>€443 272,00</b>
Mantenimiento anual	€30 512,64
Imprevistos anuales	€30 512,64

Fuente. Elaboración propia.

También, se valoró un 3% del costo de los materiales para calcular el mantenimiento anual requerido por el sistema e imprevistos anuales. Además, se tomó en cuenta otros gastos para el análisis como el valor de los fertilizantes a aplicar y el costo de los semilleros para cada ciclo de siembra.

En el Cuadro 21 se muestran los resultados del análisis económico para los ambientes que cultivan hortalizas varias (2b y 4) y en el Cuadro 22 los que cultivan hortalizas de hojas (1, 2 a, y 3).

**Cuadro 21.** Análisis económico de ambiente protegido de hortalizas varias.

<b>Año</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
Ingresos netos		€3 120 000,00	€3 276 000,00	€3 439 800,00	€3 611 790,00	€3 792 379,50
Costos netos	€1 443 820,00					
Otros gastos		€185 000,00	€185 000,00	€185 000,00	€185 000,00	€185 000,00
Inversión para el siguiente año	€245 032,88	€245 032,88	€245 032,88	€245 032,88	€245 032,88	
Utilidad operativa	-€1 443 820,00	€1 676 180,00	€1 832 180,00	€1 995 980,00	€2 167 970,00	€2 348 559,50
Utilidad neta	-€1 688 852,88	€1 246 147,12	€1 402 147,12	€1 565 947,12	€1 737 937,12	€2 163 559,50
Deuda acumulada		-€1 688 852,88	-€442 705,76			
Inversión inicial	-€1 688 852,88					
<b>Flujo de efectivo neto</b>		-€442 705,76	€959 441,36	€1 565 947,12	€1 737 937,12	€2 163 559,50
Tasa costo capital	10%					
Valor actual de FNE	€4 097 420,88					
VAN	€2 408 568,00					
TIR	38%					
IR	2,43					
PRD	2					

Fuente. Elaboración propia.

**Cuadro 22.** Análisis económico de ambiente protegido de hortalizas de hojas.

<b>Año</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
Ingresos netos		¢2 880 000,00	¢3 024 000,00	¢3 175 200,00	¢3 333 960,00	¢3 500 658,00
Costos netos	¢1 443 820,00					
Otros gastos		¢185 000,00	¢185 000,00	¢185 000,00	¢185 000,00	¢185 000,00
Inversión para el siguiente año	¢245 032,88	¢245 032,88	¢245 032,88	¢245 032,88	¢245 032,88	
Utilidad operativa	-¢1 443 820,00	¢1 436 180,00	¢1 580 180,00	¢1 731 380,00	¢1 890 140,00	¢2 056 838,00
Utilidad neta	-¢1 688 852,88	¢1 006 147,12	¢1 150 147,12	¢1 301 347,12	¢1 460 107,12	¢1 871 838,00
Deuda acumulada		-¢1 688 852,88	-¢682 705,76			
Inversión inicial	-¢1 688 852,88					
<b>Flujo de efectivo neto</b>		-¢682 705,76	¢467 441,36	¢1 301 347,12	¢1 460 107,12	¢1 871 838,00
Tasa costo capital	10%					
Valor actual de FNE	¢2 902 931,86					
VAN	¢1 214 078,98					
TIR	24%					
IR	1,72					
PRD	2					

Fuente. Elaboración propia.

Se obtuvo como resultado un proyecto rentable al obtener un VAN positivo y una tasa que indica que el retorno es superior a la tasa mínima de rentabilidad requerida por lo que es favorable. Además, el índice de rentabilidad indica que en cinco años se puede recuperar la inversión inicial hasta tres veces ya que el periodo de retorno mostró que la inversión inicial se recupera en el año 2.

Los resultados del VAN y el TIR mediante el análisis económico realizado se deben interpretar con cuidado, ya que se analizó como inversión inicial los materiales para llevar a cabo la ejecución de los sistemas de riego y como gastos solamente lo que involucra el proyecto, no los asociados a insumos o imprevistos que se puedan presentar en un plazo de cinco años. Es por eso, que, aunque el análisis no refleja completamente la realidad y se pueden generar variaciones, orienta a que el proyecto es viable económicamente hablando.

#### **5.8. Análisis ambiental:**

Se completó el formulario D1 de Viabilidad Ambiental del Setena en general para los cuatro diseños. Se evaluó el consumo y afectación del proyecto, así como el impacto que puede ocasionar en el aire, agua, suelo, humano y otros posibles riesgos. Los parámetros evaluados para cada impacto se pueden observar en los cuadros correspondientes a los Anexo 13, Anexo 14, Anexo 15, Anexo 16 y Anexo 17. El formulario demostró que el proyecto se encuentra en categoría B2 por medio de la calificación final del SIA de 162 como se observa en la imagen del Anexo 18 el cual indica que el impacto ambiental provocado por el proyecto no es significativo y el procedimiento que se debe seguir es completar una declaración jurada de compromisos ambientales, donde se exponen los aspectos importantes del proyecto y el impacto general en los factores agua, aire y suelo, que para este caso, el agua corresponde al principal, sin embargo, no se producirá escorrentía al conducir el agua por medio de tubería y aplicar solamente el riego necesario para abastecer el cultivo. El factor suelo y aire no se ve afectado.

## **6. CONCLUSIONES**

- 1) Para los cuatro diseños se obtuvo una lámina bruta en un rango de 14- 36 mm con un tiempo de aplicación que varía entre 0,8 h y 1,8 h con una frecuencia de aplicación de cada dos a cinco días.
- 2) En cuanto al diseño hidráulico, los sistemas requieren de un caudal que varía entre 0,7 y 1,4 m<sup>3</sup>/h por bloque para abastecer las necesidades del cultivo. Para cada sistema se seleccionó una tubería de polietileno con un diámetro de 1 ¼” (31,00mm) para el múltiple y principal y, línea de riego con gotero auto compensado de 1l/h para los laterales.
- 3) El sistema de fertirriego se implementará según el ciclo y necesidades de las hortalizas utilizando un recipiente de 20 litros para el almacenamiento y un inyector Venturi de 1” para los diseños 1 y 2 que permitirá la aplicación de 20 l de fertilizante en un tiempo aproximado de 16 minutos y, de ½” para los diseños 3 y 4 con un tiempo de aplicación de 13 minutos.
- 4) Se propuso una automatización del sistema que involucra el uso de un controlador central, sensores de humedad de suelo y electroválvulas que permite monitorear en tiempo real las condiciones del suelo activando o cerrando el flujo de agua según las lecturas de los sensores instalados.
- 5) De acuerdo con el análisis económico realizado se concluye que el proyecto es rentable, ya que la inversión inicial se recupera en un tiempo razonable. Los flujos generados por el sistema superan los costos, lo que garantiza sostenibilidad a largo plazo.
- 6) Desde el punto de vista ambiental el proyecto es viable al considerarse categoría B2 y no causar impacto significativo en los factores agua, suelo y aire.

## **7. RECOMENDACIONES**

- 1) Ajustar la operación del sistema de riego al tiempo y frecuencia calculada para cada ambiente protegido para evitar déficit o, al contrario, exceso de humedad en el cultivo.
- 2) Se sugiere separar los cultivos por edad o tipo en eras o bloques dentro del ambiente protegido. Esto permite ajustar el riego y la fertilización según las necesidades específicas y etapa de desarrollo.
- 3) Se recomienda para el ambiente protegido 4 buscar otra fuente de agua potencial para abastecer el sistema en los meses más secos del año, de diciembre a abril.
- 4) Se sugiere realizar un monitoreo constante en el ambiente protegido 4 para evaluar la frecuencia de riego de 5 días y determinar si es necesario disminuir el intervalo entre riegos.
- 5) Utilizar los inyectores recomendados según caudal del ambiente protegido para suministrar el fertilizante de manera controlada según lo requieren los cultivos hortícolas.
- 6) La instalación y configuración del sistema de automatización se recomienda que sea realizada por un técnico en el área de la electrónica para asegurar un correcto funcionamiento y evitar posibles fallos en el sistema.
- 7) Se recomienda que los usuarios que utilicen el sistema estén familiarizados con la operación y manejo adecuado del mismo para asegurar su sostenibilidad a largo plazo.
- 8) Establecer un programa de mantenimiento preventivo del sistema que incluya limpieza de filtros y válvulas para evitar bloqueos y, revisión del estado de las tuberías y conexiones.

## **REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Abarca, P., Chilian, R., Morales, C., & Villavicencio, A. (2021). *Consideraciones para un exitoso establecimiento del cultivo.*
- Alvarado, L. F. (2015). ¿Qué es la cosecha de agua? *Revista Papa Federación Colombiana de productores de papa FEDEPAPA*, 23-31.
- Andrade Pinelo, A. M. (2021). *Aplicación del índice de rentabilidad (IR) y el período de recuperación de la inversión (PRI).*
- Bautista, E. (2023, noviembre 16). *Manejo y Nutrición de hortalizas.*  
<https://factorproductivo.com.mx/2023/11/16/manejo-y-nutricion-de-hortalizas/>.
- Berrueta, C., & Grasso, R. (2023). *Fertirriego en cultivos hortícolas.*
- Camejo, L. E., Duarte, L. S., Companioni J. L., & Peneque, P. (2010). Tecnología de riego y fertirrigación en ambientes controlados. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 95-97.
- Carmona, C. (2019). *Evaluación de Impacto Ambiental y Planes de Manejo Ambiental.*
- Cava, E. (2019, mayo 9). *Aplicaciones principales de las válvulas hidráulicas.*  
<https://www.gestiriego.com/aplicaciones-principales-de-las-valvulas-hidraulicas/>.
- Cenicaña. (2015, marzo 17). *Evapotranspiración de cultivo.*  
<https://www.cenicana.org/evapotranspiracion-del-cultivo-etc/>.
- Cenicaña. (2018, julio 3). *ABC de los sensores de humedad en las labores de riego.*  
<https://www.cenicana.org/abc-de-los-sensores-de-humedad-en-las-labores-de-riego/#:~:text=Los%20sensores%20de%20humedad%20miden,determinar%20la%20eficiencia%20del%20riego.>
- CFIA. (2017). *Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias en Edificaciones, Pub. L. No. 1.*  
[http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm\\_texto\\_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=83561&nValor3=107558&strTipM=TC.](http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=83561&nValor3=107558&strTipM=TC)
- De luz, S. (2024, junio 5). *Qué es Home Assistant, para qué sirve y tipos de instalación.*  
<https://www.redeszone.net/tutoriales/domotica/home-assistant-que-es-tipos-instalacion/>.
- FAO. (2006). *Evapotranspiración de cultivo.*
- FAO. (2009). *Guía para la descripción de suelos.*
- FAO. (2013). *Captación y almacenamiento de agua de lluvia. Opciones técnicas para la agricultura.*
- FAO. (2021, marzo 16). *Situación alimentaria y nutricional del cantón de Pérez Zeledón.*  
<https://www.fao.org/costarica/noticias/detail-events/es/c/1381594/>.
- Gea, P. (2016). *Automatización de los sistemas de riego.*

- Giacconi M., V. (2001). *Cultivo de Hortalizas* (Primera).
- Guardia, Y., Rodríguez, S., Pacheco, R., Ramos, Y., & Palma, L. (2015). *Análisis estructural de un bioreactor anaerobio de fibrocemento por el método de los elementos finitos*.
- IICA. (2020). *Sistemas de riego por goteo, microaspersión y aspersión*.
- INA-CIRSA. (s. f.). *LLuvias de diseño*.
- Juan, M. (2006). *Captación y Purificación de Agua de Lluvia par a Consumo Humano*.
- Keller, J., & Karmelli, D. (1975). «*Trickle Irrigation Design*».
- Langlais, C., & Ryckewaert, P. (2001). *Guía de los cultivos protegidos de hortalizas en zona tropical húmeda*.
- Manzano, J., Palau, C. V, Azevedo, B. M. D., Bomfim, G. V. D., & Vasconcelos, D. V. (2015). Diseño y alternativas en la instalación de inyectores Venturi en riego localizado. *Revista Ciencia Agronómica*, 287-298.
- Martí Jiménez Bermúdez, J., & Rodríguez Volio, J. (2018). *Fertirrigación*.
- Martinez, R. (2007). *El proceso de producción y las oportunidades de innovación tecnológica en la horticultura sinaloense de exportación*.
- Mayzap. (2024). *Bomba de agua*. <https://www.mayzapcr.com/bomba-de-agua-de-2-5-hp-de-gasolina-total-tp3101/>.
- Monge Redondo, M. (2022). *Diseño Agronómico e Hidráulico de Riegos Agrícolas a Presión* (2.ª ed.).
- Mora García, J. (2018). *Montaje de los cuadros de control y dispositivos eléctricos y electrónicos de los sistemas domóticos e inmóticos*. (ELEM0111: (2 ed.)). <https://elibro.net/es/ereader/itcr/59255?page=22>.
- National Technical University of Athens. (2024). *Hydrognomon (versión 4.1)*.
- Norwik. (2024). *Bomba de agua*. <https://www.norwikpower.com/es/prodotto/qb60/>.
- Orjuela, H. M., Rubiano, Y., & Camacho, J. (2010). Modelos de infiltración. *Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient*, 31-39.
- Osorio, A. (2016). *Equipos de filtraje, fertilización, control y automatización en riego localizado*.
- Quiñonez, É. P. S., Monserrate, R. A. R., & López, S. C. S. (2018). La viabilidad de un proyecto, el valor actual neto (VAN) y la tasa interna de retorno (TIR). *Pro Sciences: Revista de Producción, Ciencias e Investigación*, 9-15.
- Retana, J. (1992). *La Huerta*.

- RIEGOPRO. (2021, agosto 17). *Electroválvulas de riego*.  
<https://riegopro.com/blog/arreglar-electrovalvulas-de-riego/>.
- Rizo, E. (2011, mayo 27). *Dosificadores proporcionales*.  
<https://www.hortalizas.com/horticultura-protegida/dosificadores-proporcionales/?amp>.
- Rodriguez, H. (s. f.). *Cálculo de una Instalación de Riego por Goteo*.
- Ruiz, A., & Molina, J. M. (2020). *Fundamentos de los sistemas de control del riego y la fertilización*.  
[https://www.infoagro.com/documentos/fundamentos\\_sistemas\\_control\\_del\\_riego\\_y\\_fertilizacion\\_parte\\_i.asp](https://www.infoagro.com/documentos/fundamentos_sistemas_control_del_riego_y_fertilizacion_parte_i.asp).
- Santos, B. M., Obregón-Olivas, H. A., & Salamé-Donoso, T. P. (2010). Producción de Hortalizas en Ambientes Protegidos: Estructuras para la Agricultura Protegida:HS1182/HS1182. *EDIS*, 3-10.
- Silva, P., Silva, H., Garrido, M., & Acevedo, E. (2015). *Manual de estudio y ejercicios relacionados con el contenido de agua en el suelo y su uso por los cultivos*.
- Valverde, C., & Villalobos, A. (2014). *Principios de riego y drenaje en suelos tropicales* (EUNED).
- Valverde Conejo, J. (2022). *Sistemas de riego por goteo*.
- Vega Ravello, R. (2016). *Manual práctico de fertirrigación*.
- Villalobos, M. (2008). *Fundamentos de riego*.
- Villegas, Y. V., & Casadiego, Y. S. (2019). Implementación de sensores en los sistemas de riego automatizado. *Documentos de Trabajo ECAPMA*, 1-3.

## **ANEXOS**

Anexo 1. Coeficientes de escurrimiento de los materiales en el área de captación.

Tipo de captación	CE
Cubiertas superficiales	
Concreto	0,6-0,8
Pavimento	0,5-0,6
Geomembrana de PVC	0,85-0,9
Azotea	
Azulejos, teja	0,8-0,9
Hojas de metal acanaladas	0,7-0,9
Orgánicos (hojas con barro)	<0,2
Captación en tierra	
Suelo con pendientes menores al 10%	0,0-0,3
Superficies naturales rocosas.	0,2-0,5

Fuente. (Juan, 2006)

Anexo 2. Tabla para estimar el PAR

PORCENTAJE DEL AREA HUMEDECIDO EN EL RIEGO POR GOTEO															
Espacia-miento entre laterales (m)	Descarga del Gotero (l/h)														
	Menos de 1,5			2			4			8			Mas de 10		
	Textura del Suelo														
	Gruesa	Media	Fina	Gruesa	Media	Fina	Gruesa	Media	Fina	Gruesa	Media	Fina	Gruesa	Media	Fina
	Espaciamiento de los goteros sobre el lateral (m)														
	0,2	0,5	0,9	0,3	0,7	1	0,6	1	1,3	1	1,3	1,7	1,3	1,6	2
Porcentaje del área bajo riego (estimado) (%)															
0,8	38	88	100	50	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
1	33	70	100	40	80	100	80	100	100	100	100	100	100	100	100
1,2	25	58	92	33	67	100	67	100	100	100	100	100	100	100	100
1,5	20	47	73	26	53	80	53	80	100	80	100	100	100	100	100
2	15	35	55	20	40	60	40	60	80	60	80	100	80	100	100
2,5	12	28	44	16	32	48	32	48	64	48	64	80	64	80	100
3	10	23	37	13	26	40	26	40	53	40	53	67	53	67	80
3,5	9	20	31	11	23	34	23	34	46	34	46	57	46	57	68
4	8	18	28	10	20	30	20	30	40	30	40	50	40	50	60
4,5	7	16	24	9	18	26	18	26	36	26	36	44	36	44	53
5	6	14	22	8	16	24	16	24	32	24	32	40	32	40	48
6	5	12	20	7	14	20	14	20	27	20	27	34	27	34	40

Anexo 3. Ambiente protegido para diseño 1.



Fuente. Elaboración propia

Anexo 4. Ambiente protegido de diseño 2.



Fuente. Elaboración propia.

Anexo 5. Ambiente protegido de diseño 3.



Fuente. Elaboración propia.

Anexo 6. Ambiente protegido de diseño 4.



Fuente. Elaboración propia.

## Anexo 7. Valores de precipitación de la estación San Isidro del General

País		Location 11		Estación				SAN-ISIDRO-GENER_			
Altitud		702 m.		Latitud		9.35 °N		Longitud		83.70 °W	
Mes	Temp Min	Temp Max	Humedad	Viento	Insolación	Rad	ETo				
	°C	°C	%	km/día	horas	MJ/m²/día	mm/día				
Enero	17.0	31.0	77	277	6.7	17.5	4.26				
Febrero	17.2	31.8	75	294	7.0	19.1	4.79				
Marzo	17.3	32.5	74	259	7.4	20.7	5.10				
Abril	17.8	32.3	78	104	7.0	20.4	4.41				
Mayo	17.9	31.5	83	69	6.3	18.8	3.94				
Junio	17.9	30.8	85	52	6.0	18.0	3.70				
Julio	17.7	30.5	86	52	5.9	18.0	3.65				
Agosto	17.5	30.7	85	52	6.0	18.4	3.74				
Septiembre	17.6	30.6	85	52	5.9	18.3	3.71				
Octubre	17.7	30.2	85	52	5.8	17.4	3.49				
Noviembre	17.8	29.8	85	86	5.6	16.1	3.26				
Diciembre	17.1	30.5	84	173	5.7	15.7	3.40				
<b>Promedio</b>	<b>17.5</b>	<b>31.0</b>	<b>82</b>	<b>127</b>	<b>6.3</b>	<b>18.2</b>	<b>3.96</b>				

Fuente. Climate-data.org (2021)

## Anexo 8. Información técnica de la línea de goteo DRIPNET PC

### ESPECIFICACIONES

- Rango de compensación de presión: 0.25 / 0.40 / 0.60 a 2.5 / 3.0 / 3.5 bar (según modelo de caudal y espesor de pared de la regante).
  - Filtración recomendada: según el caudal del gotero.
- El método de filtración debe seleccionarse con base a la clase y concentración de las partículas de suciedad existentes en el agua. Donde exista una arena de más de 2 ppm en el agua, se instalará un hidrociclón antes del filtro principal. Cuando los sólidos como arena, limo y arcilla excedan 100 ppm, el tratamiento previo se aplicará de acuerdo con las recomendaciones del equipo de expertos Netafim™.
- Laberinto TurboNet™ con amplios pasos de agua.
  - Un amplio surtido de modelos de espesor de pared de regantes (0.31, 0.34, 0.38, 0.50, 0.63 mm).
  - Gotero inyectado, CV muy bajo.
  - Diafragma de silicón inyectado.
  - Resistente a los rayos UV. Resistente a los nutrientes estándar utilizados en la agricultura.
  - Los goteros DripNet PC™ cumplen con las normas ISO 9261 y con certificación del Instituto de Estándares de Israel (SII).

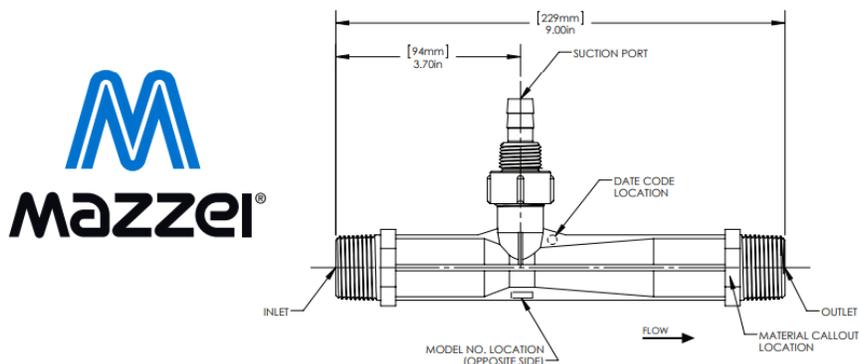
### INFORMACIÓN TÉCNICA DE LA REGANTE

CAUDAL * (L/H)	RANGO DE PRESIÓN DE TRABAJO (BAR)	DIMENSIÓN DE LOS PASOS DE AGUA ANCHO-PROFUNDIDAD-LONGITUD (MM)	ÁREA DE FILTRACIÓN (MM²)	CONSTANTE K	EXPONENTE X	FILTRACIÓN RECOMENDADA (MICRONES) / (MESH)
0.4	0.25 - 2.25	0.46 x 0.52 x 26	29	0.4	0	130/120
0.6	0.25 - 2.25	0.52 x 0.60 x 22	39	0.6	0	130/120
1.0	0.40 - 3.0	0.61 x 0.60 x 8	39	1.0	0	130/120
1.6	0.40 - 3.0	0.76 x 0.73 x 8	39	1.6	0	200/80
2.0	0.40 - 3.5	0.84 x 0.80 x 8	39	2.0	0	200/80
3.0	0.40 - 3.5	1.02 x 0.88 x 8	39	3.0	0	200/80
3.8	0.60 - 3.5	1.02 x 0.88 x 8	39	3.8	0	200/80

\*Dentro del rango de presiones de trabajo

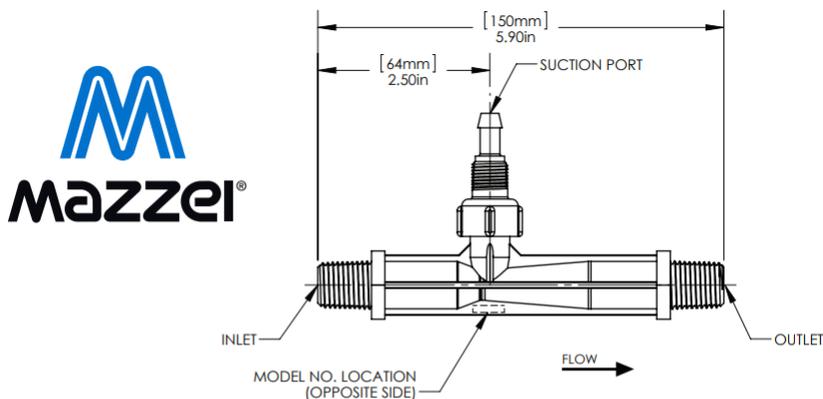
Fuente. (Netafim, 2024)

### Anexo 9. Inyector Venturi Mazzei 1"



CONSTRUCCIÓN		
Material Disponible	Polipropileno (PP) - NEGRO	Fluoruro de Polivinilideno (PVDF) - NEGRO & NATURAL
Peso de Unidad (con caja)	0.16 kg	0.23 kg
Conexiones de Entrada y Salida	1" NPT macho	
Conexión de la Tapa del Puerto de Succión - Predeterminado (Diámetro Interior)	0.5" púa de tubería	
Conexión de la Tapa del Puerto de Succión - Alternativa	0.5" NPT macho	
Temperatura Máxima de Operación	100° C	
Presión Máxima de Operación (a 20° C)	8.44 bar	

### Anexo 10. Inyector Venturi Mazzei 1/2"

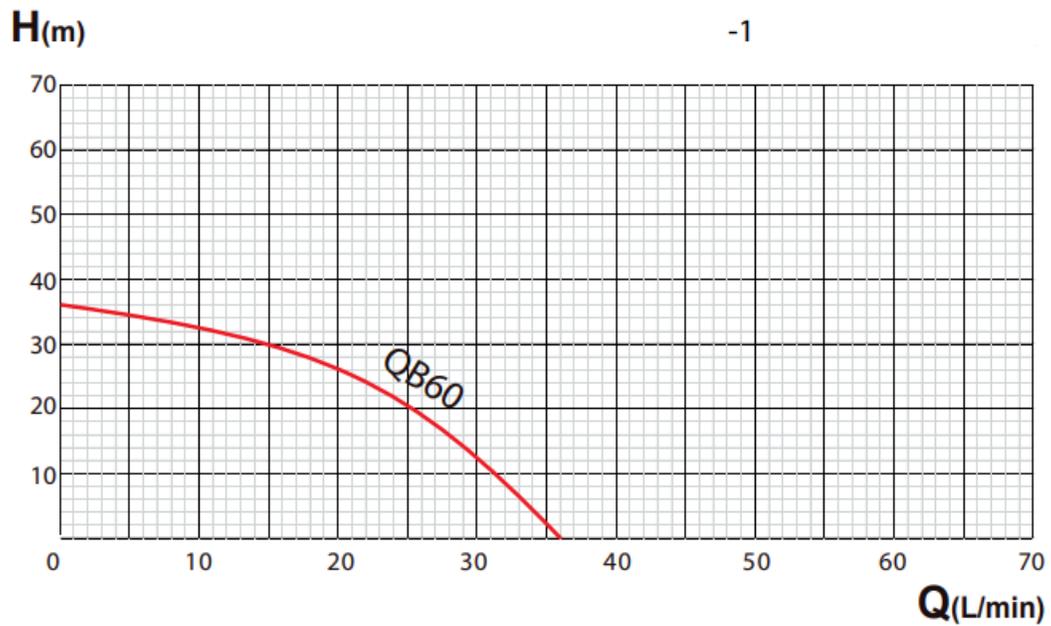


CONSTRUCCIÓN		
Material Disponible	Polipropileno (PP) - NEGRO	Fluoruro de Polivinilideno (PVDF) - NEGRO & NATURAL
Peso de Unidad (con caja)	0.06 kg	0.09 kg
Conexiones de Entrada y Salida	0.5" NPT macho	
Conexión de la Tapa del Puerto de Succión - Predeterminado (Diámetro Interior)	0.25" púa de tubería	
Conexión de la Tapa del Puerto de Succión - Alternativa	0.25" NPT macho	
Temperatura Máxima de Operación	100° C	
Presión Máxima de Operación (a 20° C)	8.44 bar	

Anexo 11. Bomba seleccionada para el diseño 2 y 4.

Modelo	Voltaje	Frecuencia	Potencia		Consumo	H. Max	Q. Max	Conexión hidráulica	S.Head	G.W
	V	Hz	kW	HP	amp	m	L/min	inch	m	kg
QB60	110	60	0.37	0.5	2.9	36	36	E 1" × S 1"	8	5

*GRÁFICO DE RENDIMIENTO A  $n=2850\text{min}$*



Fuente. (Norwik, 2024)

## Descripción

- Número de parte TP3101
- Depósito de combustible de metal con filtro, carcasa fundida a presión
- Motor de gasolina de 2.5 HP OHV TOTAL
- Material del impulsor: impulsor y voluta de hierro fundido
- Material: metal/plástico
- Encendido: encendido a cuerda
- Portátil: sí
- Tipo de combustible: Gasolina
- Capacidad tanque: 1.2L
- Desplazamiento: 105cc
- Diámetro del puerto de descarga: 25 mm (1")
- Cabezal de succión Máx.: 7m
- Elevación máx.: 16 m
- Flujo máx.: 100L/min
- Peso: 11.5 kg

Fuente.(Mayzap, 2024)

Anexo 13. Evaluación Consumo/Afectación



**EVALUACIÓN AMBIENTAL INICIAL 2. CONSUMO / AFECTACIÓN**

Nota importante: en caso de la casilla que se esté llenado no aplique para la actividad, obra o proyecto en análisis se colocará un "cero" en la casilla "y" correspondiente

Componente/ Subcomponente		CASO 1 (Valor = 1)	CASO 2 (Valor = 2)	CASO 3 (Valor = 3)	CASO 4 (Valor = 4)	CASO 5 (Valor =5)	y	Marco regulatorio (z)					X= z*y	Medidas ambientales Anexo No.	Valoración por efecto	
								a	b	c	d	e				
2. Consumo / Afectación	2.1. Agua	2.1.1 Acueducto público existente.	Consumo de agua no supera los 50 m <sup>3</sup> /mes.		Consumo de agua entre 50 y 200 m <sup>3</sup> /mes.		Consumo de agua mayor a los 200 m <sup>3</sup> /mes.	0			3			0,00	8,00	
		2.1.2 Superficial.		Consumo de agua no supera el 25% del caudal remanente.	Consumo de agua es mayor al 25% y menor al 50% del caudal remanente	Consumo de agua es mayor al 50% y menor al 100% del caudal remanente	Consumo mayor que el caudal remanente.	2				2		4,00		
		2.1.3 Subterránea.		Consumo de agua no supera los 50 m <sup>3</sup> /día.	Consumo de agua entre 50 y 200 m <sup>3</sup> /día.	Consumo de agua mayor a los 200 y menor a 500 m <sup>3</sup> /día	Consumo de agua mayor a los 500 m <sup>3</sup> /día.		2			2		4,00		
	2.2. Suelo	2.2.1 Modificación de uso	No se produce modificación de uso.				Se produce modificación de uso.	1			3			3,00	3,00	
	2.3. Energía	2.3.1 Autoabastecimiento.	2.3.1.1 Bio-combustibles.	Se generarán menos de 240 Mwh/año.	Se generarán más de 240 y menos de 2500 Mwh/año.	Se generarán más de 2500 y menos de 5000 Mwh/año.	Se generarán más de 5000 y menos de 10000 Mwh/año.	Se generarán más de 10000 Mwh/año.	0			3			0,00	0,00
			2.3.1.2 Combustibles fósiles.	Se generarán menos de 240 Mwh/año.	Se generarán más de 240 y menos de 500 Mwh/año.	Se generarán más de 500 y menos de 1200 Mwh/año.	Se generarán más de 1200 y menos de 2400 Mwh/año.	Se generarán más de 2400 Mwh/año.	0			3			0,00	
		2.3.2 Abastecimiento externo.	Se consumirán menos de 240 Mwh/año, o 360.000 litros de combustible por año, o 12 T.J/año.		Se consumirán más de 240 y menos de 1200 Mwh/año, o más de 360.000 L y menos de 1800.000 L de combustible por año, o más de 12 o menos de 60 T.J/año.		Se consumirán más de 1200 Mwh/año, o 1.800.000 L de combustible por año, o de 60 T.J/año.		1				2		2,00	2,00
	2.4. Biotopos	2.4.1 Fauna.	No hay afectación.		Hay afectación.		Hay afectación a especies en peligro, indicadoras o con poblaciones reducidas.	1					2		4,00	4,00
		2.4.2 Flora.	No hay afectación.	Si hay afectación de flora pero no eliminación de árboles.	Se eliminan árboles aislados en área sin cobertura boscosa.	Se eliminan parches arbóreos en sitios menores de 2 ha.	El desarrollo de la actividad, obra o proyecto implica la corta de árboles en áreas con cobertura boscosa.	1					2		4,00	4,00

21,00

Anexo 14. Evaluación del impacto en el Aire/ Agua



3. IMPACTO EN AIRE, AGUA SUELO Y HUMANO

Impacto	Factor	CASO 1 (Valor = 1)	CASO 2 (Valor = 2)	CASO 3 (Valor = 3)	CASO 4 (Valor = 4)	CASO 5 (Valor = 5)	y	Marco legal (z)					X= z-y	Medidas ambientales Anexo No.	Valoración por efecto
								a	b	c	d	e			
								3.1. Aire	3.1.1.1 Fuentes fijas.			Hay emisiones controladas.			
3.1.1.2 Fuentes móviles.				Se utilizan equipos móviles.		0				3			0,00		
3.1.1.3 Radiaciones ionizantes.					Hay emisiones controladas.	0					2		0,00		
3.1.2 Contribución de las emisiones generales a la contaminación atmosférica con olores, gases y otros efectos.			Las emisiones del proyecto contribuyen a la generación de contaminación atmosférica, pero están controladas.		Las emisiones del proyecto contribuyen a la generación de contaminación atmosférica, pero no están controladas.	0					2		0,00		
3.1.3.Ruidos y vibraciones.			Hay producción de ruido o vibraciones y la producción total es cercana al límite de la regulación vigente, se puede confinar.		Hay producción de ruido o vibraciones y la producción total es cercana al límite de la norma, no es confinable.	0				3			0,00		
3.2. Agua	3.2.1 Aguas de escorrentía superficial.	El aumento del caudal superficial neto es menor a un 10% referido al área de desfogue.	El aumento del caudal superficial neto es mayor al 10% y menor al 25% referido al área de desfogue.	El aumento del caudal superficial neto es mayor al 25% y menor al 50% referido al área de desfogue.	El aumento del caudal superficial neto es mayor al 50% y menor al 75% referido al área de desfogue.	El aumento del caudal superficial neto es mayor al 75% referido al área de desfogue.	1				2		2,00	6,00	
	3.2.2 Aguas residuales ordinarias.	Producción de aguas residuales ordinarias y se utilizará una planta de tratamiento o alcantarillado sanitario con planta de tratamiento.	Producción de aguas residuales ordinarias y se dispondrán en alcantarillado sanitario con un sistema de tratamiento de probada eficiencia.		Producción de aguas residuales ordinarias y se dispondrán en un tanque séptico o similar.	Producción de aguas residuales ordinarias y dispondrán en alcantarillado sanitario sin planta de tratamiento.	1				2		4,00		
	3.2.3 Aguas residuales de tipo especial.	Producción de aguas residuales de tipo especial en cantidad inferior a 50 m <sup>3</sup> /mes.		Producción de aguas residuales de tipo especial en cantidad superior a 50 y menor a 200 m <sup>3</sup> /mes.		Producción de aguas residuales de tipo especial en cantidad superior a 200 m <sup>3</sup> /mes.	0				2		0,00		

6,00

Anexo 15. Evaluación del impacto en el suelo



Factor	CASO 1 (Valor = 1)	CASO 2 (Valor = 2)	CASO 3 (Valor = 3)	CASO 4 (Valor = 4)	CASO 5 (Valor = 5)	y	Marco legal (z)					X= z-y	Medidas ambientales Anexo No.	Valoración por efecto	
							a	b	c	d	e				
3. Impacto 3.3 Suelo	3.3.1 Residuos sólidos	3.3.1.1 Ordinarios.	Se clasifica para recuperar, reutilizar, reciclar y su disposición final en un relleno sanitario propio o lugar debidamente autorizado por autoridad competente.	Se clasifica para recuperar, reutilizar, reciclar y disposición final en un relleno sanitario o lugar debidamente autorizado por autoridad competente.	Se dispone finalmente en un relleno sanitario o lugar debidamente autorizado con clasificación por autoridad competente.	Disposición final en relleno sanitario o lugar debidamente autorizado por autoridad competente.	2			3			6,00	Prot.	31,00
		3.3.1.2 Especiales.	Se clasifica para recuperar, reutilizar, reciclar y disposición final en un relleno sanitario propio o lugar debidamente autorizado por autoridad competente.	Se clasifica para recuperar, reutilizar, reciclar y disposición final en un relleno sanitario especializado o lugar debidamente autorizado por autoridad competente.	Se dispone finalmente en un relleno sanitario o lugar debidamente autorizado con clasificación.	Disposición final en relleno sanitario o lugar debidamente autorizado por autoridad competente.	0			3			0,00	Prot.	
		3.3.1.3 Escombros.	Se dispone finalmente en una escombrera dentro del AP o a un tercero sin fines comerciales, de conformidad con el reglamento de construcciones y el reglamento para el control nacional de fraccionamiento y urbanizaciones.		Se dispone finalmente en un relleno sanitario con clasificación o una escombrera debidamente autorizada fuera del AP.		2			3			6,00	Prot.	
	3.3.2 Residuos peligrosos	3.3.2.1 Químicos.	Se clasifica in situ para recuperar, reutilizar, se trata y la disposición final se da en un relleno propio especializado o lugar debidamente autorizado por autoridad competente.	Se clasifica in situ para recuperar, reutilizar, se trata y la disposición final se da en un relleno especializado o lugar debidamente autorizado (sin tratamiento previo).	Se clasifica in situ para recuperar, reutilizar y la disposición final se da en un relleno especializado, o lugar debidamente autorizado para su tratamiento y disposición final.	Se clasifica in situ disposición final en un relleno sanitario o lugar debidamente autorizado para su tratamiento y disposición final.	2				2		8,00		
		3.3.2.2 Radiactivos.	Se clasifica para recuperar, reutilizar, se trata y disposición final en un relleno propio especializado o lugar debidamente autorizado por autoridad competente.	Se clasifica para recuperar, reutilizar, se trata y disposición final en un relleno especializado o lugar debidamente autorizado por autoridad competente.	Se clasifica para recuperar, reutilizar y disposición en un relleno sanitario o lugar debidamente autorizado para su tratamiento y disposición final.	Se clasifica disposición final en un relleno sanitario o lugar debidamente autorizado, para su tratamiento y disposición final.	0				2		0,00		
		3.3.2.3 Biológicos	Se clasifica, se trata y disposición final en un relleno sanitario especializado o lugar debidamente autorizado por autoridad competente.	Se clasifica, se trata y disposición final en un relleno especializado o lugar debidamente autorizado por autoridad competente.	Disposición en un relleno especializado o lugar debidamente autorizado, para su tratamiento y disposición final.	Se clasifica disposición final en un relleno sanitario o lugar debidamente autorizado, para su tratamiento y disposición final.	2				2		8,00		
	3.3.3 Movimientos de tierra.	Se contempla movimientos de tierra y relleno sin movilización fuera del área del proyecto.	Se contempla movimientos de tierra con acarreo fuera del AP de volúmenes hasta 1.000 m <sup>3</sup>	Se contempla movimientos de tierra con acarreo fuera del AP de volúmenes hasta 10.000 m <sup>3</sup>	Se contempla movimientos de tierra con acarreo fuera del AP de volúmenes hasta 10.000 m <sup>3</sup>	Se contempla movimientos de tierra con acarreo fuera del AP de volúmenes superiores a 10.000 m <sup>3</sup>	0				2		0,00		
	3.3.4 Pendiente.	El área afectada tiene pendiente entre 0-15%.	El área afectada tiene pendiente entre 15-30%.	El área afectada tiene pendiente entre 30% y 60%.	El área afectada tiene pendiente mayor 60%.		1			3			3,00		
	3.3.5 Densidad de población.	Se espera una densidad máxima menor que 50 ocupantes por hectárea.		Se espera una densidad máxima mayor que 50 y menor que 200 ocupantes por hectárea.		Se espera una densidad máxima mayor que 200 ocupantes por hectárea.	0			3			0,00		
	3.3.6 Densidad de construcción.	La cobertura de construcción es menor al 25% de la propiedad del Área Total del Proyecto.	La cobertura de construcción es menor al 25% de la propiedad del Área Total del Proyecto.	La cobertura de construcción es mayor al 25% pero menor al 50% de la propiedad Área Total del Proyecto.	La cobertura de construcción es mayor que 50% y menor que el 70% de la propiedad Área Total del Proyecto.	La cobertura de construcción es mayor que el 70% de la propiedad Área Total del Proyecto.	0				2		0,00		

31,00

Anexo 16. Evaluación de impacto humano



	Factor	CASO 1 (Valor = 1)	CASO 2 (Valor = 2)	CASO 3 (Valor = 3)	CASO 4 (Valor = 4)	CASO 5 (Valor =5)	y	Marco legal (z)					X=z*y	Medidas ambientales Anexo No.	Valoración por efecto
								a	b	c	d	e			
Impacto 3.4 Humano	3.4.1 Social	3.4.1.1 Generación de empleo.	Genera más de 100 plazas nuevas.	Genera entre 50 a 100 plazas nuevas.	Genera entre 25 a 50 plazas nuevas.	Genera menos de 25 plazas nuevas.	No genera nuevas plazas.	0				2		0,00	10,00
		3.4.1.2 Movilización, reubicación traslado de personas del AP.	No se produce movilización, reubicación, traslado, etc. de personas que habitan en el AP, por efecto del proyecto.				Se produce movilización, reubicación, traslado, etc. de personas que habitan en el AP, por efecto del proyecto.	1			3			3,00	
		3.4.2.1 Paisaje.	Se desarrolla infraestructura en una zona urbana o rural y utiliza una infraestructura preexistente.	Se desarrolla infraestructura en una zona urbana y no provoca un desequilibrio en la textura del paisaje existente.	Se desarrolla infraestructura en una zona rural y no provoca un desequilibrio en la textura del paisaje existente.	Se desarrolla infraestructura en una zona urbana y provoca un desequilibrio en la textura del paisaje existente.	Se desarrolla infraestructura en una zona rural y provoca un desequilibrio en la textura del paisaje existente.	1			3			3,00	
		3.4.2.2 Patrimonio.	El proyecto no afecta el patrimonio científico, arquitectónico o arqueológico.	El proyecto contempla la conservación y el mejoramiento del patrimonio científico, arquitectónico o arqueológico existente en el AP.	El proyecto contempla la conservación del patrimonio científico, arquitectónico o arqueológico existente en el AP.	El proyecto afecta de forma parcial y con autorización el patrimonio científico, arquitectónico o arqueológico existente en el AP.	El proyecto afecta de forma total y con autorización el patrimonio científico, arquitectónico o arqueológico existente en el AP.	1			2			4,00	
		3.4.3 Vialidad		Genera tráfico nuevo en una proporción inferior al 25% de la capacidad vial instalada.		Genera tráfico nuevo en una proporción mayor al 25% y menor al 50% de la capacidad vial instalada.		0			3			0,00	

10,00

Anexo 17. Evaluación de otros posibles riesgos.



	Factor	CASO 1 (Valor = 0)	CASO 2 (Valor = 1)	CASO 3 (Valor = 2)	CASO 4 (Valor = 3)	CASO 5 (Valor =4)	y	Marco legal (z)					X= z*y	Medidas ambientales	Valoración por efecto
								a	b	c	d	e		Anexo No.	
4. Otros riesgos	4.1 Manejo de combustible fósil.	No consume, maneja o almacena.	Consume, maneja o almacena una cantidad menor a 5.000 litros al mes.	Consume, maneja o almacena una cantidad mayor a 5.000 y menor a 50.000 litros al mes.	Consume, maneja o almacena una cantidad mayor a 50.000 y menor a 500.000 litros al mes.	Consume, maneja o almacena una cantidad mayor a 500.000 litros al mes.	0				2		0,00		0,00
	4.2 Manejo de agroquímicos.	No consume, maneja o almacena.				Se usan, almacenan y consumen agroquímicos (fertilizantes, herbicidas, plaguicidas, insecticidas, etc.).	5				2		20,00		20,00
	4.3 Manejo de Sustancias peligrosas	No hay consumo, manejo o almacenamiento de sustancias peligrosas.				Si hay consumo, manejo o almacenamiento de sustancias peligrosas.	0				2		0,00		0,00
	4.4 Manejo de material radiactivo.	No hay consumo, manejo o almacenamiento de material radiactivo.				Si hay consumo, manejo o almacenamiento de material radiactivo.	0				2		0,00		0,00
	4.5 Manejo de Bio riesgos.	No hay consumo, manejo o almacenamiento de material biológico.				Si hay consumo, manejo o almacenamiento de material biológico.	5				2		20,00		20,00

40,00

## Anexo 18. Calificación final del SIA para el proyecto.

### 5. CRITERIOS DE PONDERACIÓN



La nota obtenida (Valor preliminar de SIA) en el formulario adjunto debe ser ponderada con los factores siguientes para obtener la calificación final que servirá de criterio para la clasificación según la Significancia del impacto ambiental (SIA) que se indica en este documento.

1. Valor preliminar de SIA, es decir la sumatoria de todos los valores individuales ( $\Sigma$ )	108,00
--	--------

Según las regulaciones aplicables a la operación de la actividad, obra o proyecto

2.a Con Reglamento específico en materia ambiental que regule la actividad, obra o proyecto (p). Se multiplica la sumatoria de SIA ( $\Sigma$ ) por un factor de 1 =	1	Decreto Ejecutivo No. _____	3. Sin Reglamento específico en materia ambiental (p) que regule la operación, se multiplica la sumatoria ( $\Sigma$ ) de SIA por un factor de 2=	2
2.b Con compromiso del desarrollador a adherirse voluntariamente a una norma o guía ambiental de construcción y operación, según corresponda que exista para la actividad, obra o proyecto que se plantea en el D1(p). Dicha norma o guía ambiental será de acatamiento obligatorio para el desarrollador, en lo que corresponda, desde el momento en que la SETENA le otorga la viabilidad ambiental. En este caso se multiplica la sumatoria de SIA ( $\Sigma$ ) por un factor de 0,75 =	0,75			
		(p)		1
4. Valor de SIA ajustado por regulaciones (SIA <sub>R</sub> ) =	108			

Clasificación del área según la zona de ubicación del proyecto ( $\beta$ )

5. Localización autorizada por Plan Regulador u otra planificación ambiental de uso del suelo, aprobados por la SETENA, incluyendo la variable ambiental según la metodología establecida por la SETENA. Se multiplica el valor de SIA <sub>R</sub> por un valor de 0,5 =	0,5	6. Localización autorizada por Plan Regulador NO aprobado por SETENA. Se multiplica el valor de SIA <sub>R</sub> por un valor de 1,0 =	1
7. Localización en área sin Plan Regulador. Se multiplica el valor de SIA <sub>R</sub> por un valor de 1,5 =	1,5	8. Localización en área ambientalmente frágil, excepto que este contemplado en el numeral 5. Se multiplica el valor de SIA <sub>R</sub> por un valor de 2 =	2

Nota: Deberá brindarse la cita correcta del Plan Regulador o del Plan Ambiental de Uso del Suelo a que se refiere.

( $\beta$ )	1,5
-------------	-----

9. Calificación final de la SIA:	162
----------------------------------	-----

10. Clasificación en función de la calificación final y que establece el procedimiento en SETENA, según la ruta de decisión.

Tipo	Nota	Procedimiento
A	Mayor que 1000.	Estudio de Impacto Ambiental.
B <sub>1</sub>	Mayor que 300 y menor o igual que 1000.	Pronóstico-Plan de Gestión Ambiental.
B <sub>2</sub>	Menor o igual que 300.	Declaración Jurada de Compromisos Ambientales.

Anexo 19. Cálculo de la textura según muestras disturbadas de cada ambiente protegido.

Ambiente protegido	L corregida blanco 40 s	L corregida blanco 2 h	Limo + Arcilla	Arcilla%	Limos %	Arenas%	Textura
1	1,224	1,440	67,891	29,584	38,307	32,109	Franco arcilloso
2a	1,224	1,440	47,720	25,440	22,280	52,280	Franco arcilloso arenoso
2b	1,220	1,440	47,656	24,404	23,252	52,344	Franco arcilloso arenoso
3	1,224	1,440	48,603	33,512	15,091	51,397	Franco arcilloso arenoso
4	1,224	1,440	66,963	43,656	23,307	33,037	Arcilloso

Anexo 20. Valores de densidad aparente de muestras indisturbadas de cada ambiente protegido

Ambiente protegido	Radio cilindro(cm)	Altura cilindro(cm)	Volumen (cm3)	Peso cilindro(g)	Pss(g)	Da(g/cm3)
1	2,980	5,720	159,499	165,940	195,290	1,224
2a	2,940	6,111	165,858	175,330	222,780	1,343
2b	2,960	6,170	169,745	175,410	224,860	1,325
3	3,030	6,180	178,157	177,700	222,900	1,251
4	2,980	6,370	177,624	182,570	210,710	1,186

Anexo 21. Capacidad de campo de muestras de cada ambiente protegido

Ambiente protegido	# de bandeja	Peso bandeja (g)	Psh+bandeja (g)	Pss+bandeja (g)	psh (g)	pss(g)	% CC
1	772	11,250	368,900	283,410	357,650	272,160	31,412
2a	792	11,350	385,030	309,770	373,680	298,420	25,219
2b	783	11,340	382,700	309,956	371,360	298,616	24,326
3	794	11,370	383,280	301,290	371,910	289,920	28,280
4	809	11,170	369,440	274,290	358,270	263,120	36,162

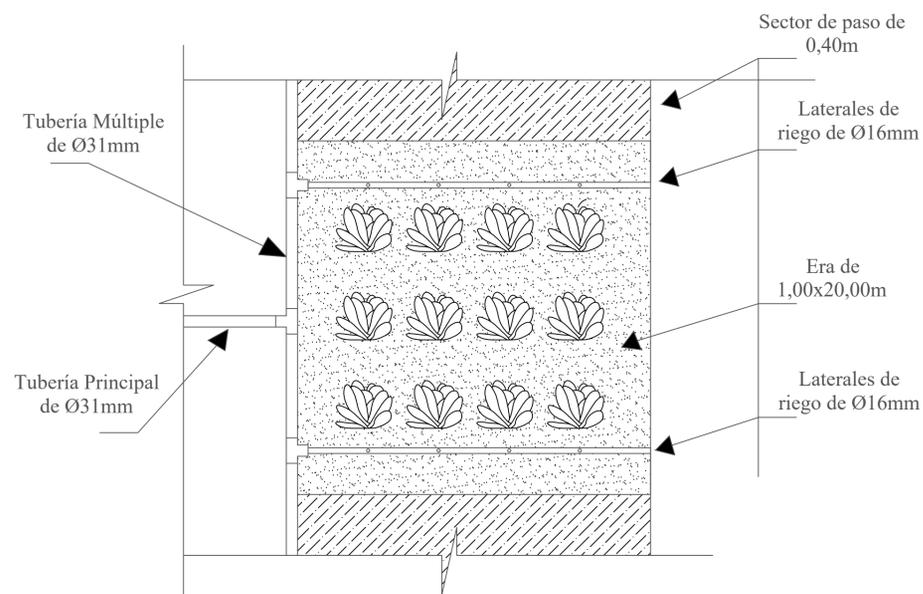
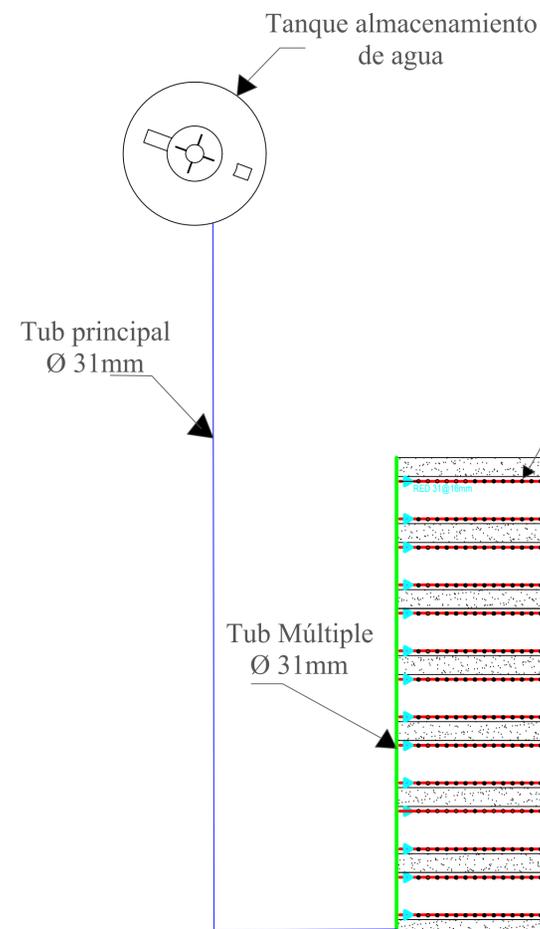
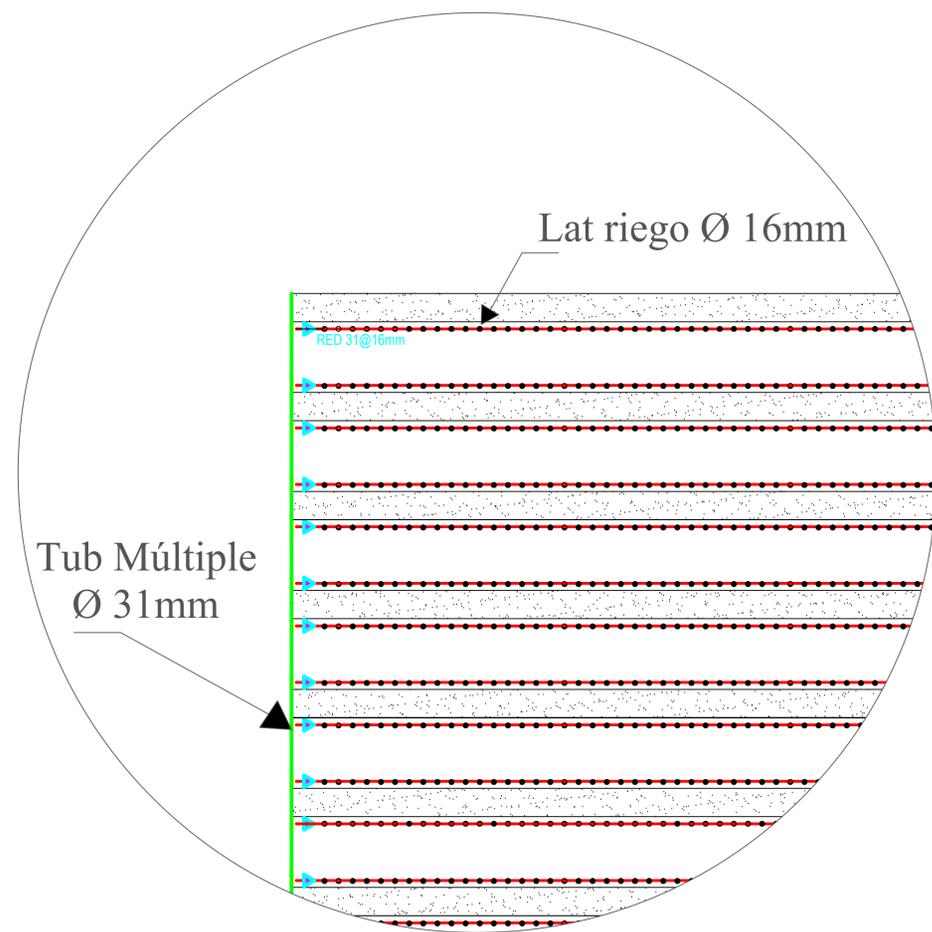
Anexo 22. Punto de marchitez permanente de muestras de cada ambiente protegido

Ambiente protegido	# de bandeja	Peso bandeja (g)	Psh+bandeja (g)	Pss+bandeja (g)	psh (g)	pss(g)	% PMP
1	793 Z	11,290	16,470	15,820	5,180	4,530	14,349
2a	791 Z	11,430	17,280	16,440	5,850	5,010	16,766
2b	784 Z	11,410	17,144	16,411	5,734	5,001	14,648
3	775 Z	11,380	16,780	15,930	5,400	4,550	18,681
4	730 Z	11,380	15,970	15,310	4,590	3,930	16,794

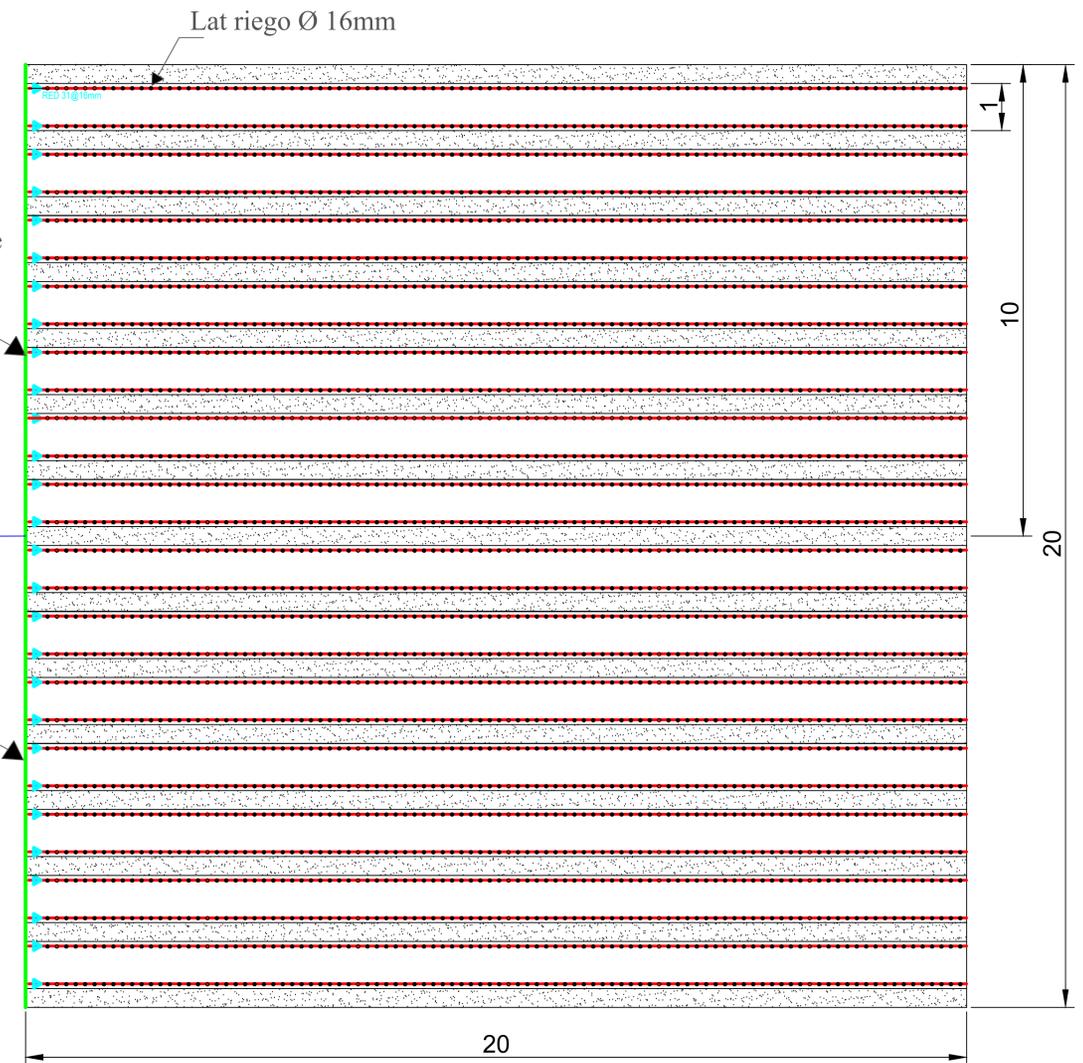
Anexo 23. Requerimiento hídrico de cada ambiente protegido.

<b>Ambiente protegido</b>	<b>1</b>	<b>2a</b>	<b>2b</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
Área total(m2)	400,00	200,00	200,00	200,00	200,00
CC (%)	31,41	25,22	24,33	28,28	36,16
PMP (%)	14,35	16,77	14,65	18,68	18,79
Da(g/cm3)	1,22	1,34	1,32	1,25	1,19
Prof raíces(mm)	500,00	500,00	700,00	500,00	700,00
Agotamiento (%)	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
Coefficiente de cultivo	1,00	1,00	1,15	1,00	1,15
Evapotranspiración potencial (mm/día)	5,10	5,10	5,10	5,10	5,10
Eficiencia de riego (%)	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95
Área del marco de plantación(m2)	0,06	0,06	0,10	0,06	0,10
Caudal del gotero(m3/h)	0,0010	0,0010	0,0010	0,0010	0,0010
Horas efectivas para regar	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
<b>RESULTADOS</b>					
Evapotranspiración del cultivo (mm/día)	5,10	5,10	5,87	5,10	5,87
PAR (%)	79,00	79,00	79,00	79,00	79,00
Lámina neta(mm)	24,74	13,45	21,26	14,23	34,18
Frecuencia de riego (días)	4,00	2,00	3,00	2,00	5,00
Lámina bruta(mm)	26,05	14,16	22,38	14,98	35,97
Tiempo de riego (h)	1,56	0,85	1,12	0,90	1,799
Número máximo de divisiones por área	5,12	4,71	5,36	4,45	5,56
Número máximo de divisiones por área	5,00	4,00	5,00	4,00	5,00

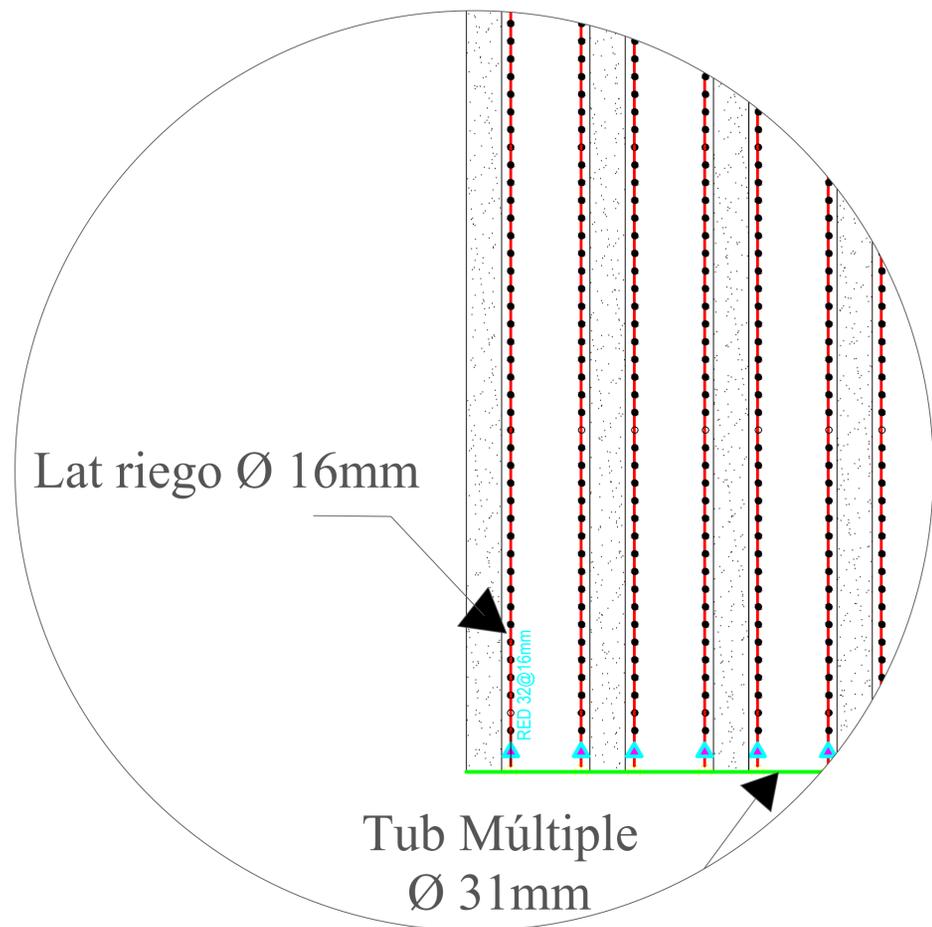
Ambiente Protegido #1	
Tubería	Diámetro Ø (mm)
Tub Principal	31 mm
Tub Múltiple	31 mm
Laterales de riego	16 mm



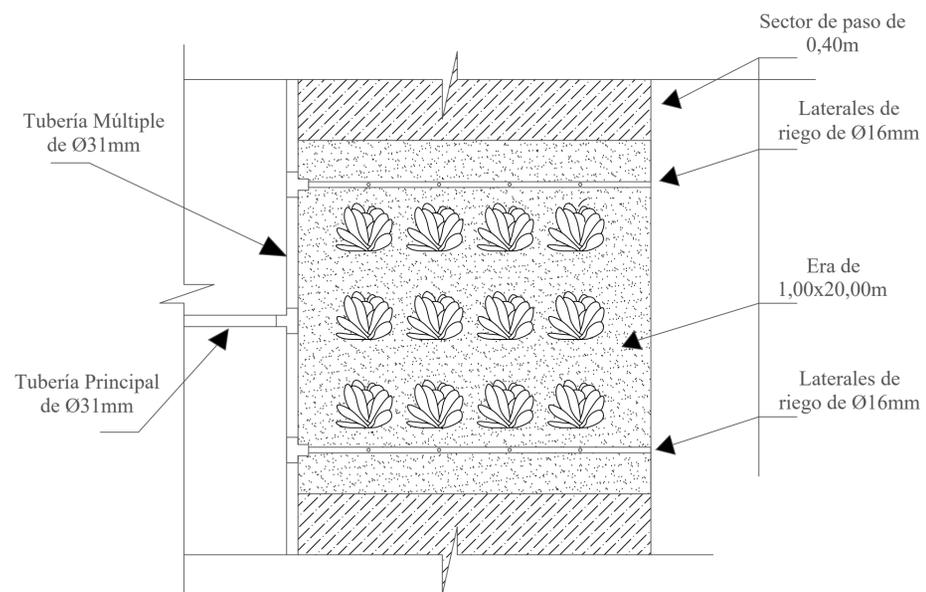
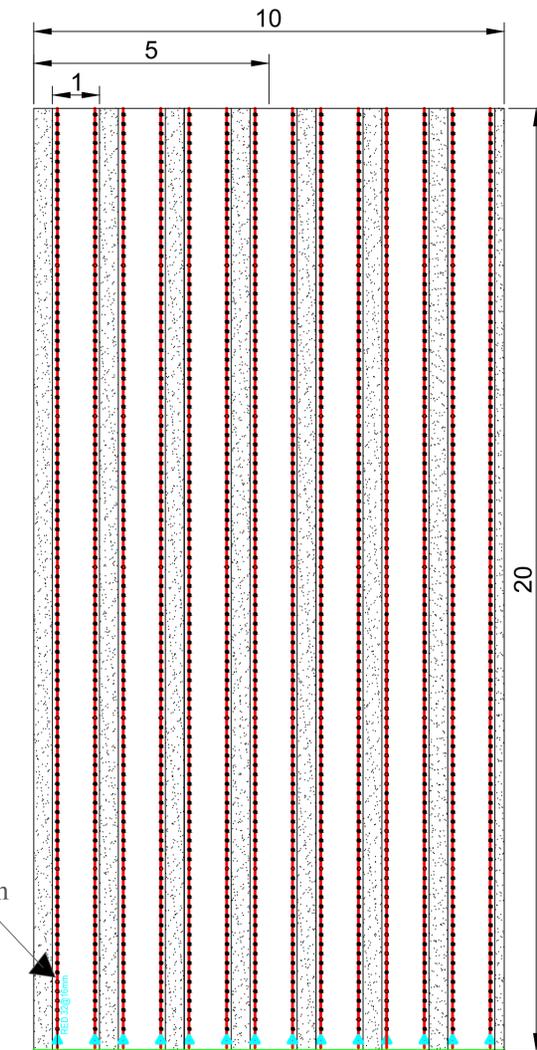
Instalación típica de tubería de riego por goteo en eras.  
Escala 1:10



Unidades	Estudiante:	Keyla Chacón C
m	Profesor:	Milton Solórsano
Escala	Fecha:	1/11/2024
1:75		

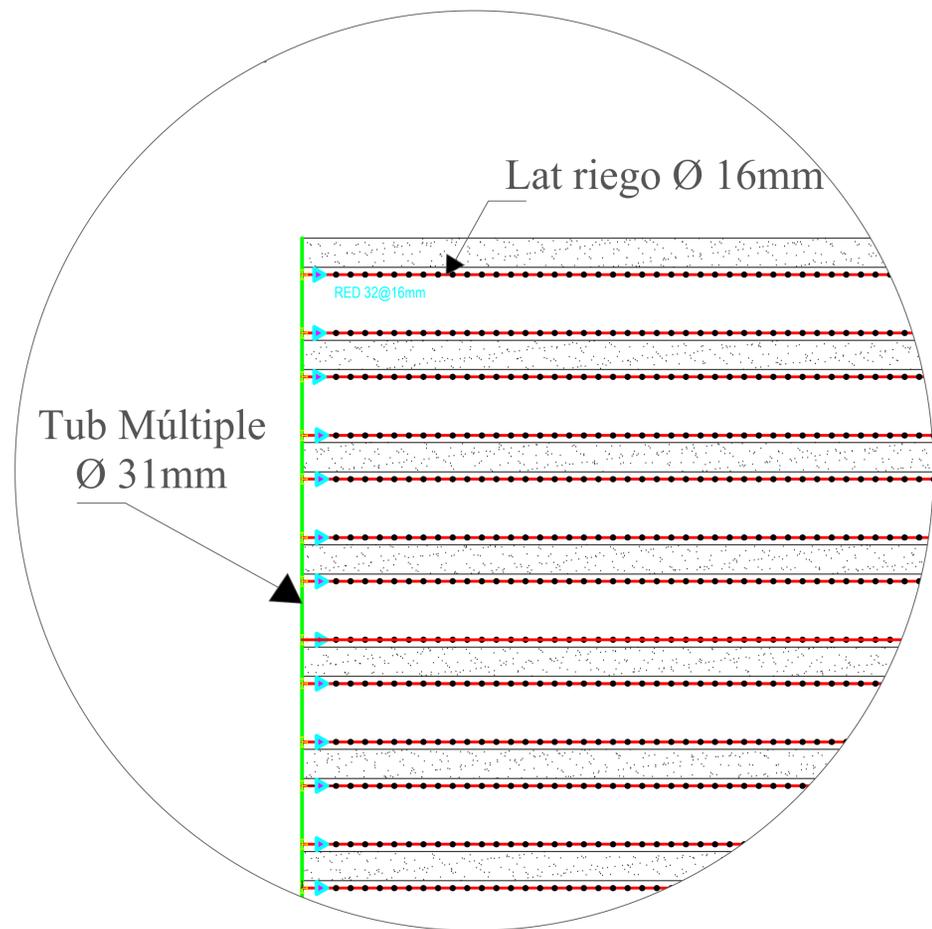


Ambiente Protegido #2a y 3	
Tubería	Diámetro Ø (mm)
Tub Principal	31 mm
Tub Múltiple	31 mm
Laterales de riego	16 mm

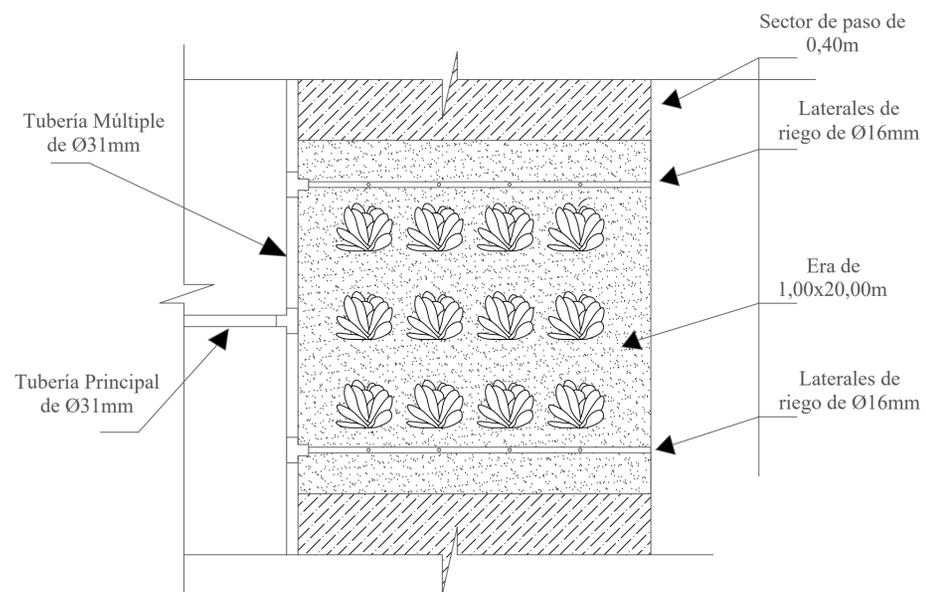


Instalación típica de tubería de riego por goteo en eras.  
Escala 1:10

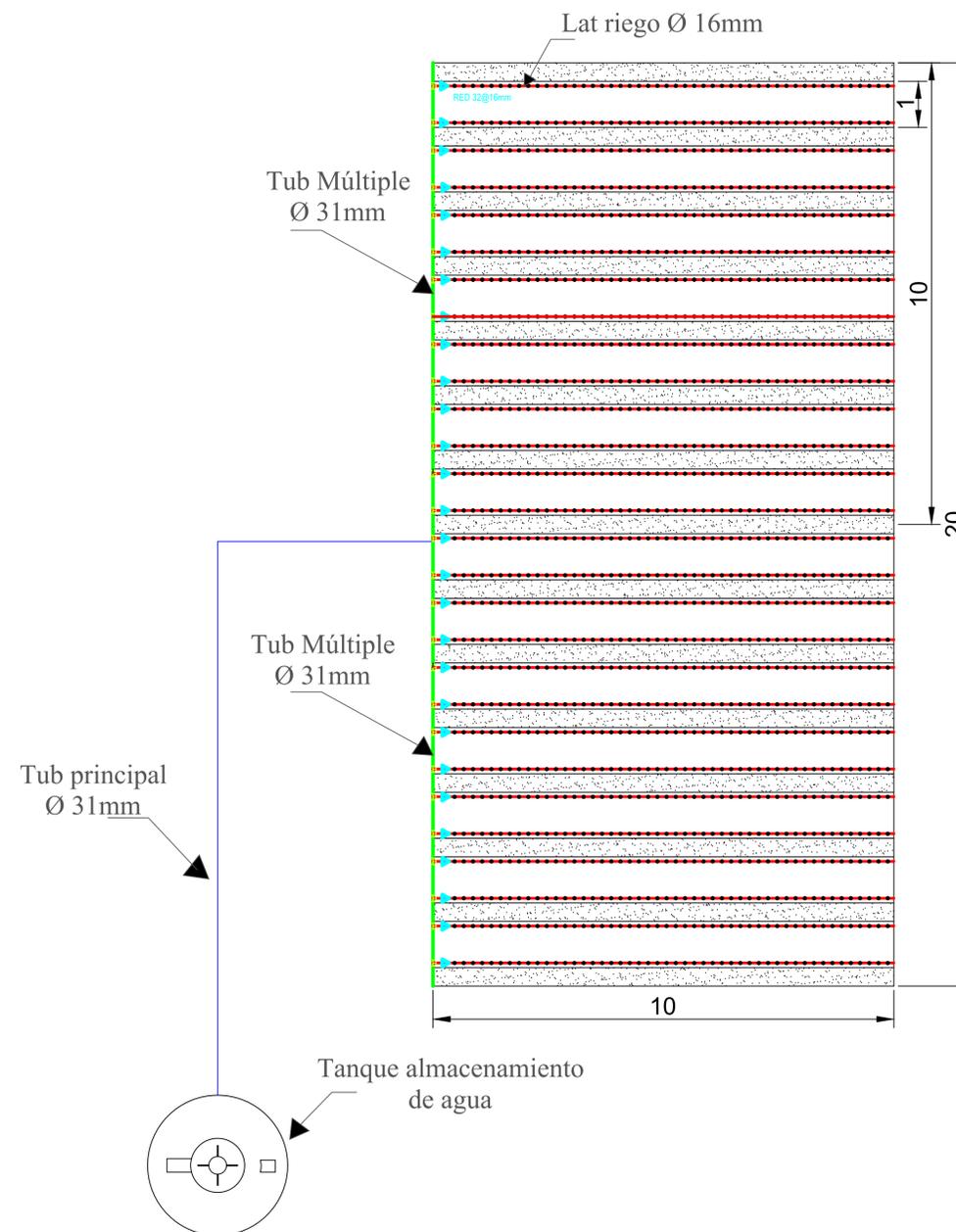
Unidades	Estudiante:	Keyla Chacón C
m	Profesor:	Milton Solórsano
Escala	Fecha:	1/11/2024
1:75		



Ambiente Protegido #2b y 4	
Tubería	Diámetro Ø (mm)
Tub Principal	31 mm
Tub Múltiple	31 mm
Laterales de riego	16 mm



Instalación típica de tubería de riego por goteo en eras.  
Escala 1:10



Unidades	Estudiante:	Keyla Chacón C
m	Profesor:	Milton Solórsano
Escala	Fecha:	1/11/2024
1:75		