

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



Informe de Trabajo Final de Graduación

DISEÑO DE SISTEMAS DE RIEGO POR GOTEO A NIVEL PARCELARIO EN EL  
PROYECTO QUEBRADA LA MINA, FRAIJANES, SABANILLA, ALAJUELA.

MARÍA VANESSA PÉREZ MATAMOROS

CARTAGO, JUNIO 2022

DISEÑO DE SISTEMAS DE RIEGO POR GOTEO A NIVEL PARCELARIO EN EL  
PROYECTO QUEBRADA LA MINA, FRAIJANES, SABANILLA, ALAJUELA.

MARÍA VANESSA PÉREZ MATAMOROS

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

---

Adrián Enrique Chavarría Vidal

Asesor

---

Isabel Guzmán Arias

Director  
Escuela Ingeniería Agrícola

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

CARTAGO, COSTA RICA

JUNIO 2022



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

## **DEDICATORIA**

A mis padres Norman Pérez Rodríguez y Yamileth Matamoros Badilla que me brindaron su apoyo incondicional durante mis estudios, motivándome a esforzarme para alcanzar mis metas y siempre creyendo en mí.

A mi hermano Milton Pérez Matamoros que fue una guía fundamental durante toda mi carrera.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecida infinitamente con Dios por permitirme llegar hasta aquí y darme las fuerzas, perseverancia y la iluminación para alcanzar esta meta tan importante en mi vida. También agradezco a mi familia por su apoyo y afecto.

A Valeria Campos, Mariela Chinchilla y Lissette González que fueron más que compañeras unas excelentes amigas.

A Isenny Salas, Richard Guillén y Aaron Solera amigos incondicionales que me apoyaron en todo este proceso.

A mis compañeros de carrera y de Residencias Estudiantiles por convivir conmigo todos estos años y hacer que fuera una experiencia muy enriquecedora.

A el profesor Adrián Chavarría que me asesoró y me aconsejó durante este proyecto.

A Lourdes Salazar, Carlos Porras y Nathaly Solís funcionarios del Senara que contribuyeron con el desarrollo del proyecto y me enseñaron mucho.

A todo el personal docente y administrativo de la Escuela de Ingeniería Agrícola que me ayudaron durante mi periodo universitario.

## Índice de contenido

1. Resumen.....	12
1.1. Abstract.....	13
1.2. Palabras claves.....	13
1.3. Key words.....	14
2. Introducción .....	15
2.1. Objetivo general .....	17
2.2. Objetivos específicos.....	17
3. Revisión bibliográfica.....	18
3.1. Características edafológicas .....	19
3.1.1. Textura.....	19
3.1.2. Capacidad de campo (CC) y Punto de marchitez permanente (PMP).....	19
3.1.3. Peso específico.....	19
3.1.4. Infiltración .....	20
3.1.5. Evapotranspiración potencial (ET <sub>o</sub> ) y del cultivo (ET <sub>c</sub> ).....	21
3.2. Cultivos.....	22
3.2.1. Fresa (Fragaria).....	22
3.2.2. Chile dulce (Capsicum annum).....	25
3.3. Clima de la zona .....	26
3.4. Sistemas de riego.....	26
3.4.1. Riego por goteo.....	26
3.5. Diseño agronómico.....	27
3.5.1. Lámina neta (L <sub>n</sub> ) .....	27
3.5.2. Eficiencia de riego .....	27
3.5.3. Lámina bruta (L <sub>b</sub> ).....	27

3.5.4.	Frecuencia de riego (Fr).....	27
3.5.5.	Tiempo de riego (Tr).....	28
3.6.	Diseño hidráulico.....	28
3.6.1.	Cabezal de riego.....	28
3.6.2.	Factores para su instalación .....	29
3.6.3.	Pérdidas de carga .....	29
3.6.4.	Clasificación de válvulas .....	29
3.6.5.	Software utilizado en el diseño .....	30
4.	Metodología .....	31
4.1.	Diseño agronómico.....	34
4.1.1.	Datos topográficos .....	34
4.1.2.	Textura del suelo.....	34
4.1.3.	Capacidad de Campo (CC) y Punto de Marchitez Permanente (PMP) .....	35
4.1.4.	Peso específico.....	36
4.1.5.	Infiltración .....	37
4.1.6.	Evapotranspiración potencial (Eto) y del cultivo (Etc) .....	37
4.1.7.	Selección del sistema .....	38
4.1.8.	Riego por goteo.....	38
4.2.	Diseño hidráulico.....	41
4.2.1.	Diseño de laterales .....	41
4.2.2.	Diseño de múltiples .....	44
4.2.3.	Diseño de la principal .....	46
4.2.4.	Pérdidas de filtrado .....	49
4.3.	Modelación del diseño.....	49
4.4.	Lista de materiales .....	50

4.5.	Manual de operación del sistema.....	50
4.6.	Análisis económico, social y ambiental .....	50
4.6.1.	Análisis económico.....	50
4.6.2.	Análisis social y ambiental .....	50
4.7.	Análisis del sistema de riego actual.....	50
5.	Resultados.....	51
5.1.	Diseño agronómico.....	52
5.1.1.	Datos topográficos .....	52
5.1.2.	Textura.....	53
5.1.3.	Capacidad de Campo (CC) y Punto de Marchitez Permanente (PMP) .....	53
5.1.4.	Peso específico.....	53
5.1.5.	Infiltración .....	53
5.1.6.	Evapotranspiración potencial (Eto) y del cultivo (Etc) .....	54
5.2.	Selección del sistema.....	54
5.2.1.	Porcentaje de suelo humedecido (PAR) .....	54
5.2.2.	Lámina neta.....	54
5.2.3.	Eficiencia de riego .....	55
5.2.4.	Frecuencia de riego .....	55
5.2.5.	Lámina bruta .....	55
5.2.6.	Tiempo de riego.....	56
5.2.7.	Número máximo de operaciones en que se divide el área.....	56
5.2.8.	Área unitaria .....	56
5.2.9.	Caudal del sistema .....	57
5.3.	Diseño hidráulico.....	57
5.3.1.	Diseño de laterales .....	57

5.3.2.	Diseño de múltiples .....	60
5.3.3.	Diseño de principal .....	62
5.4.	Modelación del diseño .....	65
5.5.	Lista de materiales .....	72
5.6.	Manual de operación del sistema.....	74
5.7.	Análisis económico, social y ambiental .....	76
5.7.1.	Análisis económico.....	76
5.7.2.	Análisis social y ambiental .....	76
5.8.	Análisis del sistema de riego actual.....	77
6.	Conclusiones .....	78
7.	Recomendaciones .....	80
8.	Bibliografía .....	82
9.	Anexos .....	88
9.1.	Anexos de figuras .....	89
9.2.	Anexos de cuadros.....	95



## Índice de Cuadros

Cuadro 1. Valores comunes de peso específico .....	20
Cuadro 2. Infiltración según la textura del suelo .....	21
Cuadro 3. Resultados de prueba de textura .....	53
Cuadro 4. Evapotranspiración potencial y del cultivo para chile y fresa .....	54
Cuadro 5. Valores para seleccionar el PAR .....	54
Cuadro 6. Láminas netas .....	55
Cuadro 7. Eficiencias de riego .....	55
Cuadro 8. Frecuencias de riego .....	55
Cuadro 9. Láminas brutas .....	56
Cuadro 10. Tiempos de riego .....	56
Cuadro 11. Número máximo de operaciones .....	56
Cuadro 12. Áreas unitarias .....	57
Cuadro 13. Caudal de los sistemas .....	57
Cuadro 14. Longitud de las tuberías laterales .....	58
Cuadro 15. Número de goteros por lateral .....	58
Cuadro 16. Caudal de las tuberías laterales .....	58
Cuadro 17. Pérdidas admitidas totales .....	59
Cuadro 18. Diámetro de tuberías laterales .....	59
Cuadro 19. Pérdidas por fricción en el lateral .....	59
Cuadro 20. Presión en la entrada de los laterales .....	60
Cuadro 21. Pérdidas admisibles en las tuberías múltiples .....	60
Cuadro 22. Número de laterales .....	61
Cuadro 23. Caudal en las tuberías múltiples .....	61
Cuadro 24. Diámetros de la múltiple .....	61
Cuadro 25. Pérdidas por fricción en la tubería múltiple .....	62
Cuadro 26. Aspectos de diseño en la tubería principal .....	63
Cuadro 27. Lista y especificaciones de la tubería .....	73
Cuadro 28. Lista y especificaciones de los accesorios .....	73
Cuadro 29. Calendario de riego para el cultivo de chile .....	75
Cuadro 30. Calendario de riego para el cultivo de fresa .....	75

Cuadro 31. Resumen de análisis económico .....	76
--	----

## Índice de Figuras

Figura 1. Evapotranspiración potencial y del cultivo. ....	22
Figura 2. Morfología de la planta de fresa (Fragaria annanassa) .....	23
Figura 3. Esquema de metodología .....	33
Figura 4. Mapa de curvas de nivel y punto de captación en SUA Quebrada La Mina. ..	52
Figura 5. Modelación del sistema de riego en el bloque 1 .....	66
Figura 6. Modelación del sistema de riego en el bloque 2 .....	67
Figura 7. Modelación del sistema de riego en el bloque 3 .....	68
Figura 8. Modelación del sistema de riego en el bloque 4 .....	69
Figura 9. Modelación del sistema de riego en el bloque 5 .....	70
Figura 10. Modelación del sistema de riego en el bloque 6 .....	71
Figura 11. Modelación del sistema de riego en los bloques de fresa .....	72
Figura 12. Distribución de bloques de riego .....	75

## **1. RESUMEN**

El presente proyecto se llevó a cabo en la Sociedad de Usuarios de Agua de Quebrada La Mina en Fraijanes de Alajuela, por medio del Senara, donde se realizó el diseño de un sistema de riego por goteo para los cultivos de chile y fresa cultivados en invernaderos y micro túneles respectivamente. La zona ya cuenta con un sistema de riego, sin embargo, se han dado problemas de conducción debido a que el diseño se realizó de manera empírica, por lo cual se debió rediseñar ajustándolo a las necesidades presentes.

Para esto, se realizó el diseño agronómico e hidráulico del sistema y se modeló para verificar el correcto funcionamiento de una manera más realista, con lo cual se determinó que el sistema tiene una buena operación manejando presiones y velocidades admitidas.

Además, se analizó económica, social y ambientalmente el proyecto, con lo que se demostró la viabilidad de este, de manera que es factible su construcción y desarrollo, aumentando la productividad de los cultivos.

### **1.1. Abstract**

The following project was conducted in Sociedad de Usuarios, Agua de Quebrada La Mina in Fraijanes in Alajuela, through the Senara, where it was made a drip irrigation system design, for pepper and strawberry crops cultivated in greenhouses and micro tunnels respectively. There is already an irrigation system in the zone, however, it has given delivery problems due to the design that was done in an empirical way, for that reason it had to be redesigned to the current necessities.

For this, it was carried out an agronomic and hydraulic design of the system and it was modeling to verify the correct functioning in a realistic way, it could be determined that the system has a correct operation handling pressures and speeds allowed.

Likewise, this project was analyzed in an economic, social, and environmental way showing its viability, in such way that is feasible its construction and development, also, it increases the productivity of harvests.

### **1.2. Palabras claves**

Sistema de riego, goteo, modelación, punto de captación.

### **1.3. Key words**

Irrigation system, drip, modeling, catchment point.

## **2. INTRODUCCIÓN**

El presente trabajo está enfocado en un proyecto de riego a cargo del Servicio Nacional de Aguas, Subterráneas, Riego y Avenamiento (Senara). El proyecto en el que se desea trabajar se denomina Quebrada La Mina y está ubicado en Fraijanes, distrito Sabanilla, cantón Alajuela, en donde 11 familias tienen la Sociedad de Usuarios de Agua Quebrada La Mina (SUA), los cuales se detallan en el Anexo 16, y requieren un mejoramiento en el sistema de conducción de agua para riego existente. Este posee cultivos de chile dulce, fresas, flores y otras hortalizas.

El sistema que poseen actualmente tiene deficiencias en la captación de agua, conducción, filtrado y entrega a nivel parcelario, por lo cual se requiere revisar estos puntos para que el sistema sea más eficiente y se dé una repartición equitativa del caudal concesionado a la SUA de 8,25 l/s por parte de la Dirección de Aguas del MINAE. Para este proyecto actualmente se cuenta con datos agronómicos de la zona, se realizaron cálculos técnicos preliminares para determinar la factibilidad del diseño a realizar y se está realizando un estudio ambiental y económico para determinar la factibilidad del proyecto (Servicio Nacional de Aguas Subterráneas Riego y Avenamiento, s.f.).

Es importante mencionar que los agricultores instalaron un sistema de riego por goteo de manera empírica por lo cual es necesario realizar un diseño que permita mejorar las condiciones de trabajo actuales. Además, las plantaciones se encuentran principalmente en invernaderos y la fresa está cultivada en micro túneles, condiciones que se deben de tomar en cuenta en el diseño para ajustarse a las características en las cuales se desarrollan los cultivos.



## **2.1. Objetivo general**

Proponer un modelo que satisfaga las necesidades hídricas para los cultivos de chile dulce (*Capsicum annuum*) y fresa (*Fragaria*) por medio de un sistema de riego por goteo en el proyecto Quebrada La Mina en Fraijanes, Alajuela.

## **2.2. Objetivos específicos**

- Evaluar el funcionamiento del sistema actual de las fincas para identificar las deficiencias que poseen realizando un análisis de eficiencia del equipo que se utiliza.
- Diseñar un sistema de riego por goteo que se adapte a las condiciones críticas de los cultivos y de la zona para garantizar una adecuada distribución de la fuente hídrica mediante el diseño agronómico e hidráulico de las propuestas.
- Evaluar los aspectos económicos, ambientales y sociales para lograr una sostenibilidad a lo largo del tiempo en los proyectos por medio de un estudio de factibilidad económica, ambiental y social.

### **3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

### **3.1. Características edafológicas**

#### **3.1.1. Textura**

La textura es aquella propiedad del suelo que permite clasificar las partículas inorgánicas que este posee y los porcentajes en que se encuentran presentes. Estas partículas se dividen en arenas (gruesas, medias y finas), limos y arcillas (López, 2006); para ayudar a la clasificación existen triángulos texturales que denominan las diferentes texturas que existen como se observa en el Anexo 1.

#### **3.1.2. Capacidad de campo (CC) y Punto de marchitez permanente (PMP)**

La capacidad de campo se refiere a el contenido de humedad presente en el suelo en contra de las fuerzas de la gravedad después de una precipitación o aplicar riego, en conjunto a un drenaje de agua gravitacional. Por otro lado, el punto de marchitez permanente es aquel estado hídrico del suelo en donde las plantas no pueden obtener el agua que necesitan por lo cual no se recuperan de esa condición; ambas condiciones dependen de la textura, materia orgánica y compactación del suelo (Vásquez, 2020).

Cabe destacar que para determinar estos parámetros existen muchos métodos, sin embargo, el más utilizado en laboratorio mediante el equipo de Richards o como se le llama comúnmente “ollas de presión”. Para esto es importante saber que en el caso de capacidad de campo el agua está retenida en suelos arenosos a 0,10 bares y en suelos arcillosos a 0.33 bares, en cambio en PMP el agua se encuentra retenida a 15 bares (Paucar, 2018).

#### **3.1.3. Peso específico**

El peso específico es un cálculo que permite determinar los espacios que existen en el suelo. Según Giménez este parámetro depende de la textura, estructura, compactación, materia orgánica y actividad biológica composición mineralógica del suelo; como se observa en el Cuadro 1 se proponen valores teóricos según el tipo de textura y su contenido en rangos, desde valores mínimos hasta máximos.

**Cuadro 1.** *Valores comunes de peso específico*

<b>Suelo</b>	<b>Peso específico (g/cm<sup>3</sup>)</b>
<b>Arena</b>	1,4 - 1,6
<b>Franco</b>	1,3 – 1,4
<b>Arcilla</b>	1,1 – 1,3
<b>Orgánico</b>	0,7 – 1,1

Fuente: (Guardia et al., 2015)

#### **3.1.4. Infiltración**

La infiltración es un proceso que se da en el suelo donde este absorbe agua por medio de sus poros, esta absorción dependerá de la textura del suelo y demás de sus propiedades. Cuando el agua infiltra posee una característica importante llamada velocidad de infiltración la cual determina la rapidez con la que el agua se desplaza por los poros(Sánchez, 2019).

Como se observa en la Cuadro 2. Infiltración según la textura del suelo según sea la textura así va a haber cierta velocidad de infiltración y al existir un suelo más cohesivo, como lo es la arcilla, va a infiltrar menos debido a la unión de las partículas y los espacios porosos tan pequeños. Esta velocidad se puede ver afectada por las condiciones del suelo como la compactación, materia orgánica o la humedad presente en el suelo.

**Cuadro 2.** *Infiltración según la textura del suelo*

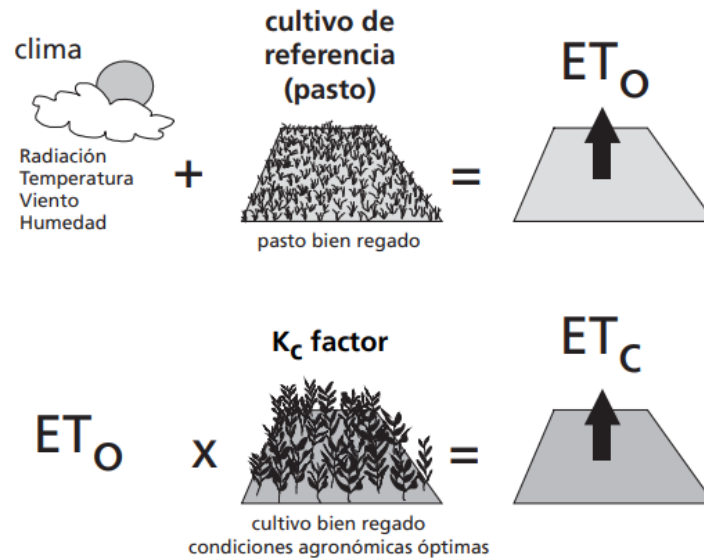
<b>Tipo de suelo</b>	<b>Infiltración básica (mm/h)</b>
Arenoso	Más de 30
Franco arenoso	20-30
Franco	10-20
Franco arcilloso	5-10
Arcilloso	1-5

Fuente: (Valverde & Villalobos, 2016)

### **3.1.5. Evapotranspiración potencial (ET<sub>o</sub>) y del cultivo (ET<sub>c</sub>)**

La evapotranspiración se define como el conjunto de dos procesos de pérdida de agua, por medio de la evaporación del agua en el suelo y la transpiración en las plantas (Allen et al., 2006). Este parámetro es importante para determinar el estrés hídrico de los cultivos y predecir su rendimiento (Marini et al., 2017). La evapotranspiración se ve afectada por distintas condiciones como el clima, las condiciones del cultivo, el manejo y el medio de desarrollo.

Por esta razón se han desarrollado varias maneras de calcular la evapotranspiración según lo que se requiera saber. Así se tiene la evapotranspiración potencial o de referencia (ET<sub>o</sub>) la cual representa la fuerza evaporativa de la atmósfera. También se tiene la evapotranspiración del cultivo que determina la demanda evaporativa de la atmósfera sobre cultivos que crecen en condiciones ideales, esto se muestra en la Figura 1 (Allen et al., 2006).



**Figura 1.** Evapotranspiración potencial y del cultivo.

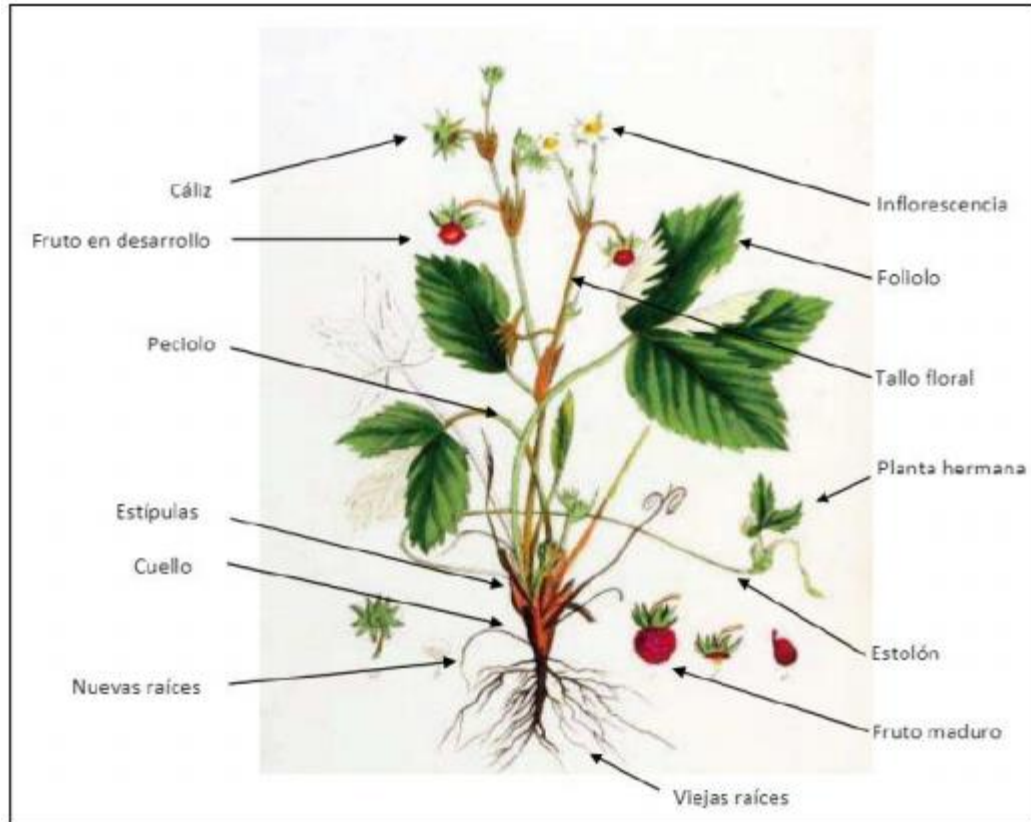
Fuente: (Allen et al., 2006)

## 3.2. Cultivos

### 3.2.1. Fresa (*Fragaria*)

#### 3.2.1.1. Taxonomía

La fresa es una planta que pertenece al género *Fragaria* de la familia Rosaceae, es una especie perenne de tamaño reducido que se reproduce tanto sexual como asexualmente. Este cultivo produce flores blancas que normalmente son hermafroditas y estas tienen receptáculos amarillos que es de donde se forma el fruto. (Rodríguez, 2017) En Figura 2 se muestra la morfología de la planta y el nombre de cada una de sus partes.



**Figura 2.** *Morfología de la planta de fresa (Fragaria annanassa)*

Fuente: (Rodríguez, 2017)

### 3.2.1.2. Clima y altura

Por otro lado, con respecto a los requerimientos climáticos, el cultivo de fresa se desarrolla óptimamente en temperaturas que van de los 15 a los 25° C, pero esto puede variar si se encuentra en un clima estacional o tropical. Otro factor importante para estas plantas es el fotoperiodo, que se refiere a las horas de luz diarias que recibe, lo cual es muy importante para su crecimiento y principalmente para la floración. Según este fotoperiodo las variedades de fresa se clasifican en de día corto (SD) las cuales requieren un máximo 14 horas de luz al día, día neutro (DN) que no les afecta la cantidad de horas en su floración y de día largo (LD) que necesitan más de 14 horas diarias de luz. Sin embargo, esta clasificación se utiliza en países donde existen estaciones, para los lugares tropicales se utilizan variedades DN debido a que se divide en épocas.(Fallas & Castro, 2017)

Además, la fresa es un cultivo que se desarrolla de mejor manera en altitudes de 1900 a 2600 msnm, donde predominen los suelos franco-arcillosos o franco arenosos con pH de 5,5 a 6,5 y con un drenaje bueno.(Paucar, 2018)

#### **3.2.1.3. Época de siembra**

Paucar (2018) menciona que este tipo de cultivo se siembra generalmente a inicios de la época lluviosa para que las plantas aprovechen la lluvia en su desarrollo y cosechen en época seca. Esto beneficia debido a que así la cosecha será de mejor calidad al recolectar en época seca y se evitan problemas fitosanitarios, así como obtener mejores precios en el mercado.

#### **3.2.1.4. Coeficiente del cultivo (Kc)**

Un parámetro que es importante de mencionar es el Kc el cual es un coeficiente que depende de características morfológicas, anatómicas y fisiológicas de la planta, así como del periodo de crecimiento, desarrollo y clima en el que crezca (Vásquez, 2020). En el caso de la fresa va de 0,4 a 0,85, este contribuye a determinar que tanto evapotranspira este cultivo (Allen et al., 2006).

Por otro lado, las necesidades hídricas de la fresa son exigentes, donde para su óptimo desarrollo una planta de fresa en plena producción requiere de 250 mm diarios de agua y así tener una productividad estable y de buena calidad.(Paucar, 2018)

#### **3.2.1.5. Siembra y rendimiento**

La fresa se siembra en eras de 70 a 80 cm de ancho y 20 cm de altura, se colocan dos hileras por era distanciadas a 40 cm y las plantas cada 30 cm. También es fundamental mencionar que las variedades que se cultivan en Costa Rica tienen la capacidad de producir de 50 a 100 toneladas por hectárea al año, sin embargo, los agricultores del país cosechan entre 30 y 50 toneladas por hectárea (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2007).



### **3.2.2. Chile dulce (*Capsicum anuum*)**

#### **3.2.2.1. Taxonomía**

El nombre científico del chile dulce es *Capsicum anuum* L, de la familia de los anuum. Es una planta herbácea de 0,6 a 1,50 metros de altura, presenta un periodo vegetativo de 100 a 180 días, con una cosecha de 75 a 125 días, cabe destacar que es un cultivo anual (Vásquez, 2020).

#### **3.2.2.2. Clima y altura**

La temperatura ideal de crecimiento del chile se encuentra en un rango de 13 a 24° C y cabe destacar que a mayores temperaturas hay aumento de crecimiento, por el contrario, a menores temperaturas se reduce el desarrollo de la planta. Si la temperatura es la adecuada el chile se puede desarrollar con una humedad relativa entre 50% y 70%, aunque a mayor humedad el desarrollo es mejor se tienden a presentar más hongos.

El chile dulce necesita precipitaciones de 600 a 1200 mm durante su todo su ciclo de desarrollo, sin embargo, las lluvias muy fuertes podrían ocasionar la caída de las flores y frutos. Con respecto a la altitud este es un cultivo que crece desde los 0 a los 3000 msnm.

El chile requiere una luminosidad buena ya que a mayor exposición a la luz el ciclo vegetativo se acorta. Los suelos para este cultivo deben ser profundos, livianos y con un drenaje eficiente, preferiblemente francos o franco-arenosos con un pH de 5,5 a 6,8 (Vásquez, 2020).

#### **3.2.2.3. Coeficiente del cultivo (Kc)**

Como se explicó anteriormente este coeficiente es propio de cada cultivo y para el chile dulce se tienen valores de 0,7 a 1,05 según la etapa en la que se encuentre el desarrollo de la planta (Allen et al., 2006).

#### **3.2.2.4. Siembra y rendimiento**

La siembra de la planta de chile dulce se puede realizar durante todo el año si se cuenta con el recurso hídrico necesario. La distancia de siembra suele variar según la variedad pero puede rondar entre 70 a 120 cm entre hileras y de 40 a 60 cm entre plantas, si se trata de invernaderos se trabaja a 25 cm entre plantas y 120 cm las hileras (Vásquez, 2020).

Además, este cultivo tiene un rendimiento de 13000 plantas por hectárea a 30000 plantas por hectárea dependiendo del distanciamiento de siembra (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2007).

### **3.3. Clima de la zona**

Fraijanes es una zona que posee un periodo seco y lluvioso bien marcado, tiene una precipitación anual promedio de 3338,2 mm. Febrero y marzo son los meses más secos con un promedio de 70 mm de precipitación, generando un déficit hídrico. Le época lluviosa se extiende de mayo a diciembre y en octubre se presenta la precipitación mayor con un valor de 527,1 mm, estos datos se observan en el Anexo 17. Además, la temperatura media anual va de los 16,1 a 17,9° Celsius. (Instituto Meteorológico Nacional, 2016)

### **3.4. Sistemas de riego**

Existen diferentes tipos de sistemas de riego que se utilizan en la agricultura, algunos son por gravedad otros a presión con uso de bombas de agua. Por esta razón cuando se realiza un diseño de riego se deben de tomar en cuenta las características que estos poseen para realizar una selección adecuada del sistema a utilizar, en este caso se detalla el riego por goteo debido a que es el que se emplea en el presente proyecto (Demin, 2014).

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

El goteo consiste en aplicar riego por medio de mangueras delgadas o cintas, que tienen agujeros cada cierta distancia con goteros, los cuales permiten que el agua salga en manera de gotas localizadas y así las raíces captan el agua de mejor. Al ser un tipo de riego con un área de humedecimiento menor, aplica agua sólo donde está la planta y el ahorro del recurso hídrico es mucho más alto que en los otros sistemas como aspersion o por gravedad.(Murillo, 2018)

##### **3.4.1.1. Ventajas**

Según Infoagro (2019) el uso de goteo tiene las siguientes ventajas.

- a) Adaptabilidad a las distintas topografías y texturas que se presenten en el suelo.
- b) La utilización de fertirriego aplicando los nutrientes de manera más precisa según las necesidades de la planta.
- c) Disminuye la presencia de maleza debido a que el riego es localizado y hay menos área humedecida en alrededores.

- d) Menos pérdidas debido a la aplicación directa en la raíz de la planta.

#### **3.4.1.2. Desventajas**

Infoagro (2019) también menciona algunas desventajas que se presentan en este sistema.

- a) Debe de limpiarse con frecuencia debido a que es propenso a obstruirse por partículas de suelo, basuras, algas u otros depósitos.
- b) En casos su costo es bastante alto, por lo cual se debe de estudiar la rentabilidad.

### **3.5. Diseño agronómico**

Este es un diseño de gran importancia debido a que toma en cuenta los requerimientos del cultivo, características del sitio, las condiciones climáticas entre otros parámetros que brindan los datos necesarios para saber la cantidad de agua a aplicar, por cuanto tiempo y en que periodos. Por esta razón, se deben describir las principales variables de este diseño y entender los conceptos que se van a estudiar.

#### **3.5.1. Lámina neta (Ln)**

Se define como la cantidad de agua que es necesario aplicar en la zona radicular de la planta para llevarla de un estado de agotamiento a capacidad de campo. (CONGOPE, 2016)

#### **3.5.2. Eficiencia de riego**

Según el Ministerio de Agricultura y Riego (2015) la eficiencia de riego es aquella relación que existe entre la cantidad de agua puesta a disposición de las plantas en su zona radicular y el volumen total suministrado en el sistema. Según el sistema de riego a aplicar así cambia este valor que se representa en porcentaje, para riego por surcos la eficiencia varía de un 40% a un 85%, para riego por aspersión de 50% a 90% y para riego por goteo va de 90% a 95% de eficiencia.

#### **3.5.3. Lámina bruta (Lb)**

Esta es la cantidad de agua que se debe aplicar para asegurar la retención de la lámina neta en la zona radicular. (CONGOPE, 2016)

#### **3.5.4. Frecuencia de riego (Fr)**

Se refiere al tiempo que tarda la planta en evapotranspirar el agua que se le aplicó, es decir, cada cuanto debe iniciar un ciclo de riego y está dado por días. (CONADI, 2017)

### **3.5.5. Tiempo de riego (Tr)**

Según CONADI (2017) se define como el tiempo en el cual se debe de reponer el agua que ha sido consumida por los cultivos.

## **3.6. Diseño hidráulico**

El diseño hidráulico tiene una gran importancia debido a que es donde se diseña la parte estructural del sistema y mediante esto se asegura el correcto funcionamiento en cuanto a presiones, velocidades y caudales.

Además, existen muchos componentes en el diseño hidráulico que varían la distribución, válvulas y bombas a utilizar, los cuales deben de ser adecuados a las condiciones para que se cumpla su función, por esta razón se describen las principales partes del diseño hidráulico. (Murillo, 2018)

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

Este es la parte donde se instalan los sistemas que llegan el agua a los emisores para así regar controlando las condiciones. El cabezal se compone por las siguientes partes. (Liotta, 2015)

#### **3.6.1.1. Equipo de bombeo**

Conjunto de bombas que brindan el caudal y presión necesaria en el sistema de riego.

#### **3.6.1.2. Equipo de filtrado**

Este puede ser de varios tipos filtrado de arena, malla, anilla, hidrociclones, entre otros. Su función es hacer que el agua se encuentre en las condiciones adecuadas y no se obstruyan las tuberías y demás componentes del sistema.

#### **3.6.1.3. Equipo de inyección de fertilizante**

Este se utiliza en caso de que se requiera realizar fertirriego ya que aporta los fertilizantes integrados en el riego.

#### **3.6.1.4. Equipo de control**

Este utiliza componentes programados para controlar la apertura y cierre de las electroválvulas, la conexión de la bomba, la inyección de fertilizante, el pH y la conductividad eléctrica en el agua entre otras funciones.

### **3.6.2. Factores para su instalación**

Primero se debe de tomar en cuenta la topografía y extensión del terreno, también la calidad del agua debido a que esto determina que sistema de filtrado se debe de utilizar, el tipo de riego y si se realizará fertirriego y por último las necesidades del agricultor lo cual es fundamental para que el sistema sea funcional. (Liotta, 2015)

### **3.6.3. Pérdidas de carga**

Según el autor Arco (2019) las pérdidas de carga suceden cuando el agua avanza dentro de las tuberías y entra en contacto con los distintos elementos del sistema y este va perdiendo la presión que posee inicialmente. Algunos de los factores que intervienen en este proceso son los siguientes.

- Diámetro interno de la tubería: A menor diámetro mayor será la pérdida de carga para un mismo caudal.
- Longitud de la tubería: A mayor longitud de la tubería mayor será la pérdida de carga para un mismo diámetro interno de la tubería y un mismo caudal.
- Caudal: A mayor caudal mayor es la pérdida de carga para el mismo diámetro.
- Material de la tubería y rugosidad.

### **3.6.4. Clasificación de válvulas**

Las válvulas se pueden definir como un aparato mecánico que tienen el objetivo de iniciar, detener o regular el flujo de líquidos o gases en una conducción. Existen muchos tipos de válvulas, pero se mencionarán las más comunes.

- Válvulas de retención: Estas impiden el retroceso del fluido a través de ellas por medio de un sistema que el mismo fluido acciona, abriéndose en el sentido normal del flujo y cerrándose en el sentido contrario.
- Válvulas de globo: Esta válvula posee salidas múltiples por lo que realiza una resistencia al flujo y regula su paso.
- Válvula reguladora de presión: Estrangula el paso del flujo para así obtener una presión constante.
- Válvulas de seguridad: Evitan el aumento excesivo de presión o temperatura en el fluido. (Emerson Automation Solutions, 2019)

### **3.6.5. Software utilizado en el diseño**

En el proceso de diseño se utilizan algunas herramientas tecnológicas para desarrollar de una manera más eficiente los cálculos, realizar planos, obtener información y modelar los resultados, algunos de esos programas que se utilizan son los siguientes.

#### **3.6.5.1. CLIMWAT y CROPWAT**

Estos programas son creados por la FAO para la obtención de información meteorológica y el cálculo de las necesidades hídricas de las plantas, según la zona donde se encuentre.

#### **3.6.5.2. AutoCAD**

Es un programa de dibujo en 2D y 3D, en este caso es de gran utilidad para realizar los planos de todo el sistema a escala y así ubicar el diseño en el terreno. También permite obtener las medidas en tamaño real para los cálculos que se deben de realizar, por lo cual es fundamental en el diseño hidráulico en la creación de bloques de riego, así como el dimensionamiento y ubicación de laterales, múltiples y tubería principal.

Este programa cuenta con herramientas de dibujo que agilizan el diseño gráfico, ubicando espacialmente el diseño de una manera más realista.

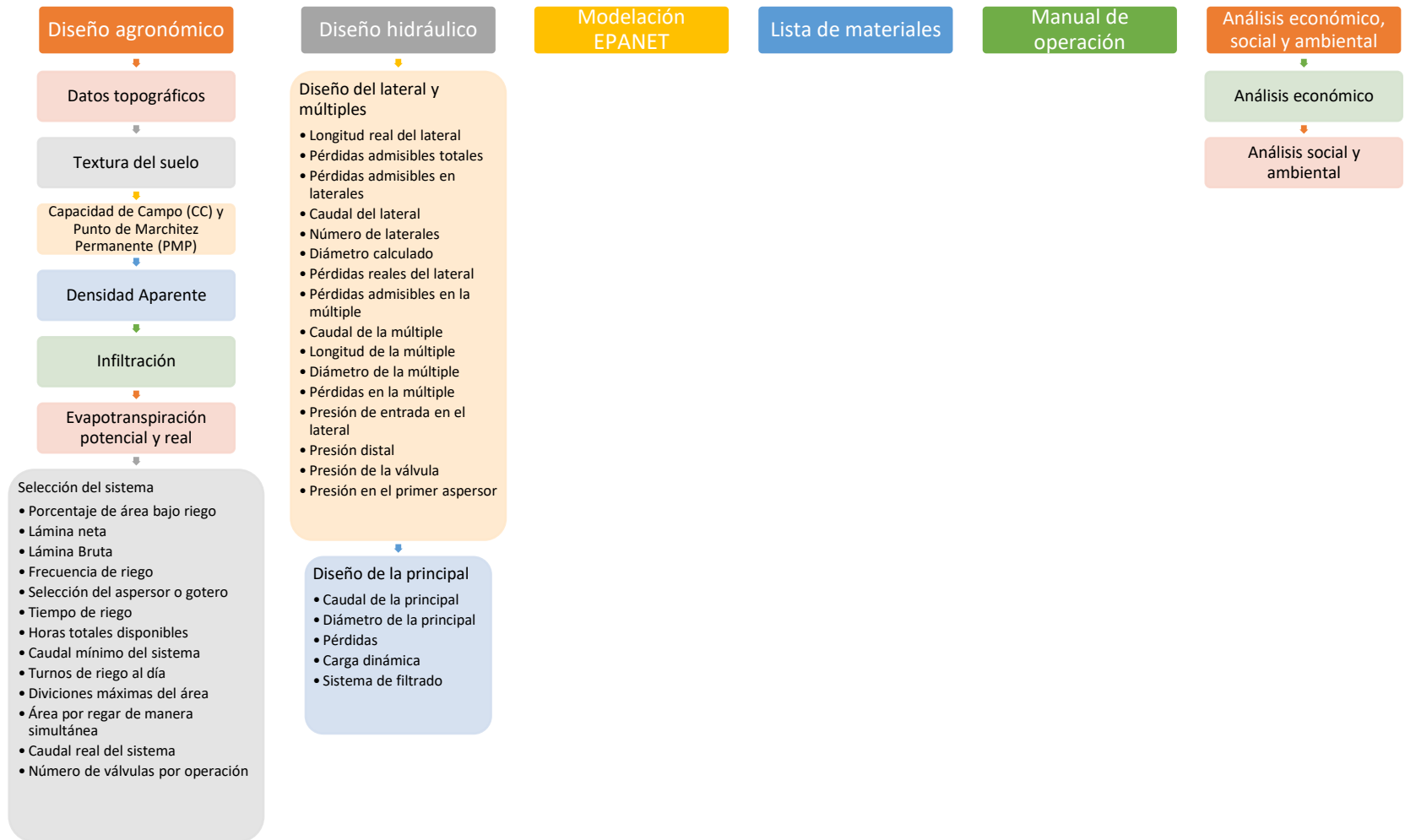
#### **3.6.5.3. QGis**

QGis es un programa de acceso libre que tiene muchos usos, principalmente en Sistemas de Información Geográfica (SIG), sin embargo, este posee complementos como QGisRed que tiene como fin simular el flujo del agua en un sistema y su interacción con los distintos componentes (bomba, válvulas, nodos, tuberías, entre otros) para así determinar si el correcto comportamiento del sistema y si existe alguna anomalía, antes de la construcción en campo.

## **4. METODOLOGÍA**

Para el desarrollo del proyecto se lleva a cabo una serie de pasos metodológicos que se describen en la Figura 3 a grosso modo. En este esquema se muestran las distintas etapas del proceso de diseño compuesto por el diseño agronómico, diseño hidráulico, modelación en EPANET, lista de materiales, manual de operación y por último el análisis económico, social y ambiental. Cada una de estas fases se compone por una serie de actividades que se describirán en este apartado.





**Figura 3.** Esquema de metodología

## **4.1. Diseño agronómico**

### **4.1.1. Datos topográficos**

Estos datos fueron brindados por el Senara debido a que el proyecto Quebrada la Mina ha sido estudiado para la construcción de la tubería de captación y otras estructuras hidráulicas que hay en los sitios. La información dada consistió en datos de coordenadas con elevaciones de los puntos de interés. Estos datos se utilizaron para ubicar los lotes a regar y la obtención de pendientes de la zona mediante el programa de QGis 3.14.0.

### **4.1.2. Textura del suelo**

Para la obtención de las texturas existentes en el lugar se utilizó el método de Bouyoucos descrito según Andrades (2015), el cual consistió en medir la sedimentación de las partículas de suelo durante un periodo de tiempo.

Es fundamental explicar cómo se llevó a cabo el muestreo, se realizaron 2 calicatas donde en cada una se extrajo una muestra por cada horizonte hasta los 120 cm. Sin embargo, para fines de textura se estudiaron los primeros 2 horizontes debido a que no era de interés una profundidad tan extensa.

Ya con las muestras de interés se comenzó secando el suelo a 105° C y pesando 40 g de este, luego se maceró y tamizó para asegurarse que sólo se use suelo sin basuras ni piedras. Seguidamente se eliminó la materia orgánica de las muestras utilizando 15 ml de hexametáfosfato de sodio y 400 ml de agua durante 10 minutos, para después agregar la mezcla a el dispersador eléctrico y se agitó lentamente durante 5 minutos.

Luego se colocó la mezcla en el cilindro de Bouyoucos, asegurándose que no quedaran residuos dentro de la copa del dispersador. Después se procedió a llenar el cilindro hasta los 1000 ml con agua destilada. Posteriormente se colocó un tapón para agitar la mezcla fuertemente.

Seguidamente se colocó el cilindro de Bouyoucos en una mesa plana y estable y se comenzó a contar 40 segundos cronometrados desde ese momento para tomar la primera lectura introduciendo cuidadosamente el hidrómetro, así se observó en qué lugar de este quedó el menisco y se anotó esta medida, también se tomó la temperatura introduciendo un termómetro durante unos minutos.

Después se procedió a realizar otra medida a las 2 horas donde de igual manera se midió con el hidrómetro y el termómetro como se describió anteriormente. Luego se corrigió los valores de temperatura donde por cada grado sobre 19,4° C se sumó 0,36 a las lecturas del hidrómetro a los 40 segundos y a las 2 horas y en caso contrario si la temperatura era inferior a 19,4° C se restó 0,36 a las lecturas, según fuera el caso.

Seguidamente, se procedió a calcular el porcentaje de las partículas presentes en las muestras mediante el uso de las siguientes ecuaciones.

$$\%Material\ en\ suspensión = \frac{LecturaCorregia\ 40s}{PM} * 100 \quad (1)$$

$$\% Arena = 100 - \%Material\ en\ suspensión \quad (2)$$

$$\% Arcilla = \frac{LecturaCorregia\ 2h}{PM} * 100 \quad (3)$$

$$\% Limo = 100 - (\%Arena + \%Arcilla) \quad (4)$$

Donde:

*PM*: Peso de la muestra (g)

Con los porcentajes de arena, arcilla y limo se procedió a ingresar al triángulo textural de la USDA que se observa en el Anexo 1 y ahí se determinó la textura de cada zona.

#### **4.1.3. Capacidad de Campo (CC) y Punto de Marchitez Permanente (PMP)**

En la estimación de CC y PMP se llevó a cabo por medio del equipo de Richards donde primeramente se obtuvieron muestras de suelo en cilindros de 5x5 cm y estos cilindros se llevaron al punto de saturación para después introducir los a las ollas donde para CC se sometieron a una

presión de 0,33 atmósferas y para PMP a 15 atmosferas durante aproximadamente 15 días para que se diera la correcta extracción de la humedad. (López, 2011)

#### 4.1.4. Peso específico

Para la obtención del peso específico del suelo se realizó el procedimiento descrito por Camargo & Durán (2018), donde secaron las muestras indisturbadas en el horno a 105° C durante 24 horas, después se pesaron en la balanza y se tomaron las medidas de los cilindros para el cálculo de volumen que se observa en la Ecuación (5).

$$V = \frac{\pi * D^2 * h}{4} \quad (5)$$

Donde:

$V$ : Volumen (cm<sup>3</sup>)

$D$ : Diámetro (cm)

$h$ : Altura (cm)

Seguidamente se procedió a realizar el cálculo del peso específico para cada una de las muestras con la ecuación que se muestra a continuación.

$$Pe = \frac{Pss}{V} \quad (6)$$

Donde:

$Pe$ : Peso específico (g/cm<sup>3</sup>)

$Pss$ : Peso de suelo seco (g)

$V$ : Volumen (cm<sup>3</sup>)

#### 4.1.5. Infiltración

Primeramente, se procedió a realizar la prueba de infiltración en campo mediante el método de doble anillo que describe Briones (2021), donde se introdujeron los anillos a una profundidad de 10 cm en el suelo nivelado, se realizaron medidas cada minuto en las primeras 5 lecturas y después cada 5 minutos, reponiendo el agua cuando fuera necesario y anotando las lecturas de corrección. Luego ya con los datos obtenidos, mediante Excel se procesó la información para formar un gráfico de infiltración y así tener una ecuación potencial donde se obtienen los valores de “*a*” y “*b*” y así calcular la infiltración básica por medio de la Ecuación (7).

$$Ib = a * (-600 * b)^b \quad (7)$$

Donde:

*Ib*: Infiltración básica (mm/h)

*a*: Coeficiente de infiltración

*b*: Coeficiente de infiltración

#### 4.1.6. Evapotranspiración potencial (*Eto*) y del cultivo (*Etc*)

Estos parámetros se determinaron mediante los programas de CLIMWAT y CROPWAT mediante datos meteorológicos de la zona. Con estos programas se obtuvo la evapotranspiración potencial promedio y con la constante del cultivo se calculó la *Etc* por medio de la siguiente ecuación.

$$Etc = Kc * Eto \quad (8)$$

Donde:

*Kc*: Coeficiente del cultivo

*Eto*: Evapotranspiración potencial (mm/día)

*Etr*: Evapotranspiración del cultivo (mm/día)

#### 4.1.7. Selección del sistema

Para saber cuál de los sistemas que existen de riego utilizar se tomaron en cuenta los cultivos existentes en la zona, donde predominan fresas, hortalizas como chile, tomate, zanahoria, lechuga, repollo y cebolla, también cultivo de papa y pasto. Con esta información se procedió a realizar una agrupación de aquellos cultivos que poseen un sistema de siembra similar y diseñar para las condiciones más críticas.

Según las características de estos cultivos se pretendió implementar riego por goteo debido a que posee una eficiencia mayor y se adapta a las diversas condiciones presentes al ser tan versátil.

#### 4.1.8. Riego por goteo

Ya seleccionado el sistema a implementar se procedió a realizar los cálculos para el diseño de este los cuales se observan en el Anexo 14 y Anexo 15 y se detallan a continuación.

##### 4.1.8.1. Porcentaje de suelo humedecido (PAR)

Este parámetro se determinó por medio del cuadro mostrado en el Anexo 8 ,que requiere algunos valores como el caudal de descarga del gotero que se obtuvo de las indicaciones del gotero seleccionado, la textura del suelo previamente obtenida, el espaciamiento de los goteros y el de laterales. (Rodríguez, 2018)

##### 4.1.8.2. Lámina neta

La lámina neta se calculó por medio de la Ecuación (9) , tomando la textura más predominante, el agotamiento permisible para los cultivos, así como la profundidad efectiva de raíces de estos. (Pérez, 2013)

$$Ln = \frac{CC - PMP}{100} \times Pe \times Prof \times Ag \times PAR \quad (9)$$

Donde:

*Ln*: Lámina neta (mm)

*CC*: Capacidad de Campo (%)

*PMP*: Punto de Marchitez Permanente (%)

*Pe*: Peso específico (g/cm<sup>3</sup>)

*Prof*: Profundidad radicular (mm)

*Ag*: Agotamiento (decimal)

#### **4.1.8.3. Frecuencia de riego**

Luego se determinó la frecuencia con la que tendrán que regar los cultivos con la siguiente ecuación. (CONADI, 2017)

$$Fr = Ln/Etr \quad (10)$$

Donde:

*Fr*: Frecuencia de riego (días)

*Ln*: Lámina neta (mm)

*Etr*: Evapotranspiración real (mm/día)

#### **4.1.8.4. Lámina bruta**

Este valor se obtuvo con la Ecuación (11) donde ya teniendo una eficiencia de aplicación y la lámina neta se calculó la lámina bruta necesaria. (Pérez, 2013)

$$Lb = Ln/Ef \quad (11)$$

Donde:

*Lb*: Lámina bruta (mm)

*Ln*: Lámina neta (mm)

*Ef*: Eficiencia de aplicación (%)

#### 4.1.8.5. Tiempo de riego

El periodo que dura un ciclo de riego se determinó mediante la siguiente ecuación. (CONADI, 2017)

$$Tr = \frac{Lb}{Ac} \quad (12)$$

Donde:

*Tr*: Tiempo de riego (h)

*Lb*: Lámina bruta (mm)

*Ac*: Área del cultivo (m<sup>2</sup>)

#### 4.1.8.6. Número máximo de operaciones en que se divide el área

Este valor se refiere a cuantos ciclos de riego se realizarán como máximo en el área cultivada y se estimó mediante la Ecuación (13) mostrada a continuación. (Chavarría, 2020)

$$N \leq \frac{(Fr \times \text{horas que se riegan al día})}{Tr} \quad (13)$$

Donde:

*N*: Número de operaciones en que se divide el área (ad)

*Fr*: Frecuencia de riego (días)

*Tr*: Tiempo de riego (h)

#### 4.1.8.7. Área unitaria

Esta área se refiere el tamaño de los bloques de riego y se estimó mediante la Ecuación (14) mostrada a continuación. (Chavarría, 2020)

$$Au = \text{Area total} / N \quad (14)$$



Donde:

$Au$ : Área unitaria ( $m^2$ )

$N$ : Número de operaciones en que se divide el área (ad)

#### 4.1.8.8. Caudal del sistema

Se determinó este caudal mediante la Ecuación **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** para saber si el caudal que se tenía era suficiente para el sistema. (Agrológica, 2012)

$$Q_s: \frac{Au * Lb}{Tr} \quad (15)$$

## 4.2. Diseño hidráulico

### 4.2.1. Diseño de laterales

#### 4.2.1.1. Número de goteros

Esta cantidad se estimó para saber cuántos goteros habrá en un lateral con la ecuación siguiente. (Sánchez, 2007)

$$N = \frac{L \text{ lat}}{Sp} \quad (16)$$

Donde:

$N$ : Número de goteros

$L \text{ lat}$ : Longitud del lateral (m)

$Sp$ : Espaciamiento entre plantas (m)

#### 4.2.1.2. Caudal del lateral

El caudal del lateral se determinó mediante la Ecuación (17). Cabe destacar que el caudal de gotero se obtuvo de las especificaciones técnicas del gotero seleccionado. (Campos & Cruz, 2018)

$$Q_{lat} = q_{gotero} * N \quad (17)$$

Donde:

$Q_{lat}$ : Caudal del lateral (m<sup>3</sup>/s)

$q_{gotero}$ : Caudal del gotero (m<sup>3</sup>/s)

$N$ : Número de goteros

#### 4.2.1.3. Pérdidas admitidas totales

Este parámetro fue muy importante determinarlo debido a que es el establece hasta donde pueden llegar las presiones en el sistema y se calculó mediante la siguiente ecuación. (Chavarría, 2020)

$$P_{ad\ totales} = P_o * 0,2 \quad (18)$$

Donde:

$P_{ad\ totales}$ : Pérdidas admisibles totales (mca)

$P_o$ : Presión de operación (mca)

#### 4.2.1.4. Diámetro del lateral

Este diámetro se determinó mediante la tabla de diámetros mostrada en el Anexo 11, guiándose por la presión admitida en el lateral.

#### 4.2.1.5. Pérdidas por fricción en el lateral

Estas pérdidas se estimaron mediante la Ecuación (19), el diámetro del lateral está dado por el grosor de la cinta de goteo por lo que se tomó de las especificaciones técnicas. Con respecto a la constante del material se tomó para polietileno de 150 y la constante de fricción se selecciona según el material y el número de salidas que este caso serían el número de goteros y se puede observar el cuadro de valores de  $f$  en el Anexo 9. (Salinas, 2015)

$$Hf_{lateral} = 1.131 \times 10^9 * \left( \frac{Q_{lat}}{C} \right)^{1.852} \times D_{lat}^{-4.872} \times L_{lat} \times f \quad (19)$$

Donde:

$Hf_{lateral}$ : Pérdidas por fricción en el lateral (mca)

$Q_{lat}$ : Caudal del lateral (m<sup>3</sup>/s)

$C$ : Constante del material (ad)

$D_{lat}$ : Diámetro del lateral (mm)

$L_{lat}$ : Longitud del lateral (m)

$F$ : Coeficiente de fricción (ad)

#### 4.2.1.6. Presión en la entrada del lateral

Este valor se calculó mediante la Ecuación (20) que se muestra a continuación. (Jiménez et al., 2013)

$$Pe_{lat} = Po + 0,77 hf \pm 0,23 * \Delta Z \quad (20)$$

Donde:

$Pe_{lat}$ : Presión de entrada en el lateral (mca)

$Po$ : Presión de operación (mca)

*Hf lateral*: Pérdidas por fricción en el lateral (mca)

$\Delta Z$ : Pendiente del terreno (m/m)

#### 4.2.2. Diseño de múltiples

##### 4.2.2.1. Pérdidas admisibles en la múltiple

Esta pérdida se determinó por medio de la Ecuación(21) la cual depende de las pérdidas que haya en los laterales. (Chavarría, 2020)

$$Pad\ m = Pad\ totales - Hf\ lateral \quad (21)$$

Donde:

*Pad m*: Pérdidas admisibles en la múltiple (mca)

*Pad totales*: Pérdidas admisibles totales (mca)

*Hf lateral*: Pérdidas por fricción en el lateral (mca)

##### 4.2.2.2. Número de laterales

Este valor es importante para la determinación del caudal de las múltiples, cabe destacar que la longitud de la múltiple se estimó según los planos realizados en la elaboración de los bloques de riego. En la Ecuación (22) se muestra el cálculo del número de laterales. (Fernández, 2010)

$$N\ lat = \frac{L\ múltiple}{Sh} \quad (22)$$

Donde:

*N lat*: Número de laterales

*L múltiple*: Longitud de la múltiple (m)

*Sh*: Espaciamiento de hileras (m)

#### 4.2.2.3. Caudal de la múltiple

Seguidamente se calculó el caudal que pasaría por las múltiples mediante la siguiente ecuación. (S. Jiménez, 2019)

$$Q \text{ múltiple} = Q \text{ lat} * N \text{ lat} \quad (23)$$

Donde:

*Q múltiple*: Caudal de la múltiple (m<sup>3</sup>/s)

*Q lat*: Caudal de lateral (m<sup>3</sup>/s)

*N lat*: Número de laterales

#### 4.2.2.4. Diámetro de la múltiple

Para realizar este cálculo primero se obtuvieron los valores de C y f como anteriormente se describió y seguidamente se procedió a determinar el diámetro calculado con la Ecuación (24). Teniendo ese valor se procedió a buscar en el cuadro de especificaciones de tubería de PVC que se muestra en el Anexo 10 donde se obtiene el diámetro real de la múltiple. (Alegret & Martínez, 2019)

$$D \text{ múltiple} = \left( \frac{1,131 * 10^9 * Q \text{ lat}^{1,852} * L \text{ lat}}{Pad \text{ m} * C^{1,542}} \right)^{\frac{1}{14,872}} \quad (24)$$

Donde:

*D múltiple*: Diámetro de la múltiple (mm)

*Q lat*: Caudal de lateral (m<sup>3</sup>/s)

*L lat*: Longitud del lateral (m)

*Pad m*: Pérdidas admisibles en la múltiple (mca)

*C*: Constante del material (ad)

#### 4.2.2.5. Pérdidas por fricción de la múltiple

Este parámetro se calculó de igual manera que las pérdidas del lateral mediante la Ecuación (19).

#### 4.2.3. Diseño de la principal

##### 4.2.3.1. Caudal de la principal

Cabe destacar que el caudal de la tubería principal es el mismo de las múltiples por lo cual sólo se tomó ese valor.

##### 4.2.3.2. Diámetro de la principal

Luego se calculó el diámetro que tendrá la principal mediante la Ecuación (25), para lo cual 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). Seguidamente ya con el dato del diámetro calculado se buscó el diámetro real. (CIPAF & IPAF, 2013)

$$D_{principal} = \sqrt{\frac{4 * Q_{principal}}{v * \pi}} * 1000 \quad (25)$$

Donde:

*D principal*: Diámetro de la principal (mm)

*Q principal*: Caudal de la principal (m<sup>3</sup>/s)

*v*: Velocidad (m/s)

##### 4.2.3.3. Pérdidas por fricción en la principal

Estas pérdidas se calcularon de igual manera como se determinaron las pérdidas en laterales y múltiples como se muestra en la Ecuación (19).

##### 4.2.3.4. Presión en la entrada de la principal

Seguidamente se determinó la presión que habrá en la entrada de la principal con la ecuación siguiente. (Díaz & Mercado, 2012)

$$P_e = P_o + \frac{3}{4} * H_f \text{ lat} + H \text{ elev} \quad (26)$$

Donde:

*P<sub>e</sub>*: Presión en la entrada de la principal (mca)

*P<sub>o</sub>*: Presión de operación (mca)

*H<sub>f lateral</sub>*: Pérdidas por fricción en el lateral (mca)

*H elev*: Altura del elevador (m)

#### 4.2.3.5. Presión de la válvula

Luego se procedió a realizar el cálculo de la presión en la válvula por medio de la siguiente ecuación. (Guzmán, 2019)

$$P_v = P_e + \frac{3}{4} * H_f \text{ lat} + 0,38 * \Delta Z \quad (27)$$

Donde:

*P<sub>v</sub>*: Presión de la válvula (mca)

*P<sub>e</sub>*: Presión en la entrada de la principal (mca)

*H<sub>f lat</sub>*: Pérdidas por fricción en el lateral (mca)

*ΔZ*: Pendiente del terreno (m/m)

#### 4.2.3.6. Presión distal

También se calculó la presión distal mediante la Ecuación (28) que se describe a continuación. (Gamboa, 2013)

$$P_d = P_v - H_f \text{ múltiple} - H \text{ elev} - H_f \text{ lat} \quad (28)$$

Donde:

$P_d$ : Presión distal (mca)

$P_v$ : Presión de la válvula (mca)

$H_f \text{ múltiple}$ : Pérdidas por fricción en la múltiple (mca)

$H_f \text{ lat}$ : Pérdidas por fricción en el lateral (mca)

$H \text{ elev}$ : Altura del elevador (mca)

#### 4.2.3.7. Carga dinámica

Este valor permitió la correcta selección de la bomba, por eso la importancia de su cálculo que se realizó con la siguiente ecuación. (Gamboa, 2013)

$$C_d = P_v + 0.05 \times (P_v + H_f p) + H_f p + \Delta Z + H_f \text{ filtro} \quad (29)$$

Donde:

$C_d$ : Carga dinámica (mca)

$P_v$ : Presión de la válvula (mca)

$H_f p$ : Pérdidas por fricción en la principal

$\Delta Z$ : Pendiente del terreno (m/m)

$H_f \text{ filtro}$ : Pérdidas de filtrado (mca)

#### 4.2.3.8. Presión en el primer gotero

Este parámetro se determinó mediante la Ecuación (30) que se observa a continuación. (Monge, 2019)

$$P \text{ 1}^\circ \text{ gotero} = P_e - H \text{ elev} \quad (30)$$



Donde:

$P_{1^{\circ} \text{gotero}}$ : Presión en el primer gotero (mca)

$P_e$ : Presión en la entrada de la principal (mca)

$H_{elev}$ : Altura del elevador (mca)

#### **4.2.3.9. Verificación de presiones**

Luego se verificó que las presiones se encontraran calculadas correctamente mediante la siguiente ecuación. (Gamboa, 2013)

$$\Delta P = P_{1^{\circ} \text{gotero}} - P_d \quad (31)$$

Donde:

$\Delta P$ : Diferencia de presiones (mca)

$P_{1^{\circ} \text{gotero}}$ : Presión en el primer gotero (mca)

$P_d$ : Presión distal (mca)

#### **4.2.4. Pérdidas de filtrado**

Estas pérdidas se obtuvieron del manual del filtro seleccionado y se seleccionó según el caudal de la principal.

### **4.3. Modelación del diseño**

Para realizar la modelación previamente se realizó el dibujo de los diseños en Civil 3D para así generar los planos. Estos fueron exportados al programa QGis y utilizando un complemento llamado QGisRed se realizó el modelo donde se colocaron los nodos, válvulas y la descripción del bombeo, además se corrigieron errores o avisos del sistema para así iniciar la simulación donde se observaron presiones, velocidades, caudales entre otros factores de interés para asegurarse del correcto funcionamiento del diseño.

#### **4.4. Lista de materiales**

En la elaboración de la lista de materiales a utilizar se realizó una cuantificación de la tubería y sus respectivos diámetros comerciales, también de los accesorios como codos, curvas, reducciones, válvulas, entre otros que se necesitarían para la construcción del sistema de riego. Para esto se revisaron varios catálogos de distintas casas comerciales comparando especificaciones y precios para así seleccionar los mejores materiales.

#### **4.5. Manual de operación del sistema**

Se realizó un manual de operación elaborando un calendario de riego donde se detalla la duración de cada operación y la hora específica en la que se debe de regar cada bloque para cumplir con los tiempos de riego.

#### **4.6. Análisis económico, social y ambiental**

##### **4.6.1. Análisis económico**

Para realizar el estudio financiero del proyecto y saber si es viable se realizó un análisis de rendimiento de los cultivos por hectárea y también el rendimiento aplicando los sistemas diseñados y así comprobar si es factible.

También se llevó a cabo una cotización de materiales para ver los mejores precios del mercado y saber el costo de toda la construcción del proyecto. Este análisis se realizó mediante el cálculo de la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el Valor Actual Neto (VAN), a cinco años, así estas variables financieras determinan la viabilidad del proyecto a futuro.

##### **4.6.2. Análisis social y ambiental**

En la realización del análisis ambiental y social se utilizó primeramente el formulario D1 de Setena el cual indicó si es necesario realizar el estudio de impacto ambiental pertinente.

#### **4.7. Análisis del sistema de riego actual**

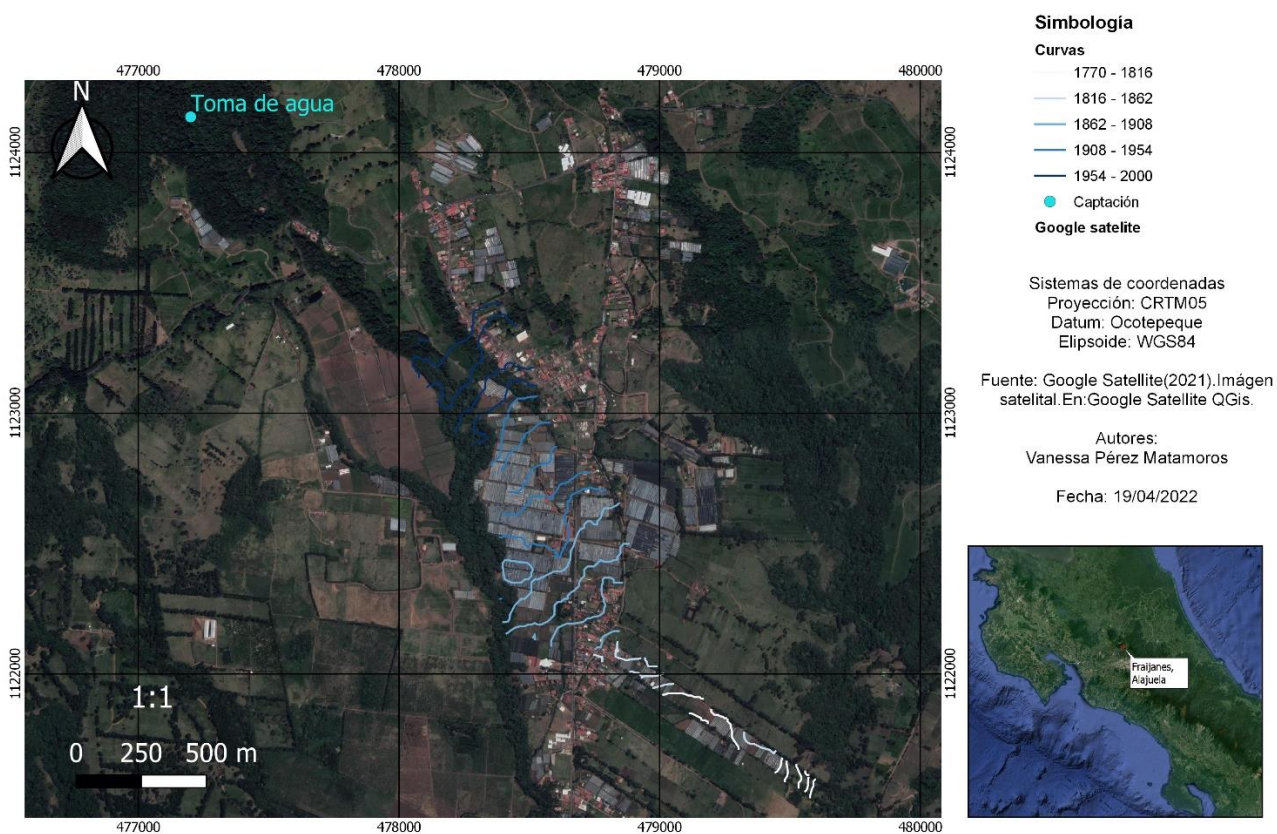
Según los datos que brindados del estado actual del sistema de riego que tienen en uso, se realizó un análisis de las principales características de este para evaluar su funcionamiento.

## **5. RESULTADOS**

## 5.1. Diseño agronómico

### 5.1.1. Datos topográficos

Con los datos brindados del proyecto se obtuvo un área para el cultivo de chile de 21,57 hectáreas y en el caso del cultivo de fresa el área es de 1,07 hectáreas. También se calculó una pendiente promedio de la zona con las curvas de nivel que se muestran en la Figura 4, con lo cual se obtuvo un valor de 11% aproximadamente.



**Figura 4.** Mapa de curvas de nivel y punto de captación en SUA Quebrada La Mina.

### 5.1.2. Textura

Realizando el muestreo correspondiente de suelo se obtuvo una textura franco-arenosa en el sitio de estudio como se observa en Cuadro 3

**Cuadro 3.**Resultados de prueba de textura

Muestreo	Arena (%)	Arcillas (%)	Limos (%)	Textura
1	70,760	11,840	17,400	Franco-arenoso
2	59,960	14,340	25,700	Franco-arenoso

### 5.1.3. Capacidad de Campo (CC) y Punto de Marchitez Permanente (PMP)

Se calcularon estos parámetros mediante 2 formas descritas en la metodología, sin embargo, el procedimiento con el equipo de Richards dio resultados muy elevados con respecto a lo que se espera teóricamente para el tipo de suelo presente, por lo cual se utilizan los valores dados por fórmulas que dependen de la textura del suelo. De esta manera se presentó una CC de 16,58 % y un PMP de 9,29 % para los respectivos porcentajes de arena, limo y arcilla.

### 5.1.4. Peso específico

El valor calculado de peso específico promedio fue de 0,626 g/cm<sup>3</sup>. Sin embargo, según el Cuadro 1 para texturas finas el valor de peso específico se debe de encontrar entre un rango de 1,3 a 1,4 g/cm<sup>3</sup>, a pesar de esto, el valor obtenido no se encuentra en este rango, según la teoría el peso específico corresponde a un suelo orgánico.

### 5.1.5. Infiltración

Se calculó un valor de infiltración básica en dos sitios distintos, en la finca de Jesús Soto donde se obtuvo una Ib de 6,638 mm/h y en la finca de Mario Montenegro con un valor de 20,813 mm/h, estos valores dieron como resultado una infiltración básica promedio de 13,725 mm/h. Según la literatura, en el Cuadro 2 se muestra como el valor obtenido se encuentra dentro del rango de infiltración del suelo franco, que es el suelo que se presenta en la zona.

### 5.1.6. Evapotranspiración potencial (Eto) y del cultivo (Etc)

Se obtuvo una evapotranspiración potencial promedio de 4,1 mm/día para ambos cultivos y una evapotranspiración del cultivo que para el caso del chile el valor es de 4,305 y 3,485 mm/día para la fresa como se muestra en el Cuadro 4.

**Cuadro 4.** *Evapotranspiración potencial y del cultivo para chile y fresa*

Cultivo	Kc	Eto (mm/día)	Etc (mm/día)
Chile	1,050	4,100	4,305
Fresa	0,850	4,100	3,485

## 5.2. Selección del sistema

Tomando en cuenta los distintos criterios y características de la zona se decide que el sistema a implementar sea por goteo, principalmente por el caudal disponible y el tipo de siembra.

### 5.2.1. Porcentaje de suelo humedecido (PAR)

Según la tabla que se muestra en el Anexo 8 el PAR en ambos diseños es de 70% tomando en cuenta los valores de selección que se muestran en el Cuadro 5.

**Cuadro 5.** *Valores para seleccionar el PAR*

Cultivo	PAR	Caudal de goteros (l/h)	Textura suelo	Espaciamiento entre goteros (m)	Espaciamiento entre laterales (m)
Chile	70%	1	Media	0,500	1
Fresa	70%	1	Media	0,500	1

### 5.2.2. Lámina neta

La lámina neta que se obtuvo se observa en el Cuadro 6 y como se muestra en ambos casos el valor es el mismo debido a que los sistemas mantienen similitudes en sus diseños.

**Cuadro 6. Láminas netas**

<b>Cultivo</b>	<b>Lámina neta (mm)</b>
Chile	6,893
Fresa	6,893

### **5.2.3. Eficiencia de riego**

Las eficiencias utilizadas se muestran en el Cuadro 7, se seleccionaron estos porcentajes debido a que como lo indica la literatura el riego por goteo tiene una eficiencia de 90 a 95%.

**Cuadro 7. Eficiencias de riego**

<b>Cultivo</b>	<b>Eficiencia</b>
Chile	90%
Fresa	90%

### **5.2.4. Frecuencia de riego**

En el Cuadro 8 se observan la frecuencias de riego calculadas para ambos diseños, este valor es de un día debido a la infiltración que tiene el suelo y la lámina que se debe aplicar.

**Cuadro 8. Frecuencias de riego**

<b>Cultivo</b>	<b>Frecuencia de riego(días)</b>
Chile	1
Fresa	1

### **5.2.5. Lámina bruta**

Según el cálculo de la lámina neta, se tienen los valores de lámina bruta observados en el Cuadro 9 para los dos diseños.

**Cuadro 9.***Láminas brutas*

<b>Cultivo</b>	<b>Lámina bruta (mm)</b>
Chile	7,659
Fresa	7,659

### **5.2.6. Tiempo de riego**

En cuanto al tiempo de riego por bloque como se observa en el Cuadro 10 en el cultivo de fresa el tiempo es mayor debido a que el espaciamiento entre hileras es mayor que en el caso del chile.

**Cuadro 10.***Tiempos de riego*

<b>Cultivo</b>	<b>Tiempo de riego (h)</b>
Chile	3,830
Fresa	5,745

### **5.2.7. Número máximo de operaciones en que se divide el área**

El número máximo de operaciones también vario para cada cultivo como se muestra en el Cuadro 11. Según la literatura para un correcto funcionamiento el número de operaciones debe ser superior a 2, lo cual se cumple en ambos casos.

**Cuadro 11.***Número máximo de operaciones*

<b>Cultivo</b>	<b>Número máximo de operaciones</b>
Chile	6
Fresa	4

### **5.2.8. Área unitaria**

El tamaño de los bloques se observa en el Cuadro 12, aquí se detalla como el área del cultivo de fresa es mucho menor que la del chile.



**Cuadro 12.**Áreas unitarias

Cultivo	Área unitaria (m <sup>2</sup> )
Chile	35950,000
Fresa	2675,000

### 5.2.9. Caudal del sistema

En el Cuadro 13 se muestran los caudales calculados para aplicar la lámina bruta a cada cultivo en el tiempo de riego previamente establecido, así como el caudal total necesario para cubrir la demanda de todo el sistema y el faltante que existe de agua tomando en cuenta que el caudal concesionado es de 8,090 l/s.

**Cuadro 13.**Caudal de los sistemas

Cultivo	Caudal del sistema (l/s)	Caudal total (l/s)	Faltante (l/s)
Chile	19,972	20,962	12,872
Fresa	0,990		

## 5.3. Diseño hidráulico

### 5.3.1. Diseño de laterales

En el Anexo 7 se muestra gráficamente una sección del diseño parcelario, de manera que se aprecian los laterales sobre los bloques de riego, la ubicación de las válvulas y las tuberías múltiples, esto con el fin de visualizar de una manera más clara esta estructura del diseño.

#### 5.3.1.1. Longitud de lateral

Se tomó la máxima longitud del diseño de chile y fresa, obteniendo los valores mostrados en el Cuadro 14.

**Cuadro 14.***Longitud de las tuberías laterales*

<b>Cultivo</b>	<b>Longitud del lateral (m)</b>
Chile	53,300
Fresa	47,930

### **5.3.1.2. Número de goteros**

En el Cuadro 15 se muestra el número de goteros por lateral en cada diseño.

**Cuadro 15.***Número de goteros por lateral*

<b>Cultivo</b>	<b>Número de goteros</b>
Chile	107
Fresa	96

### **5.3.1.3. Caudal del lateral**

El caudal necesario en los laterales se observa en el Cuadro 16, esto tomando en cuenta que los goteros son de un litro por hora y las especificaciones técnicas se observan en el Anexo 13 y el Anexo 6, donde se observa que son goteros Netafim autocompensantes.

**Cuadro 16.***Caudal de las tuberías laterales*

<b>Cultivo</b>	<b>Caudal del lateral (m<sup>3</sup>/h)</b>
Chile	0,107
Fresa	0,096

### **5.3.1.4. Pérdidas admitidas totales**

Se observan las pérdidas admitidas totales en el Cuadro 17, donde se destaca que para ambos cultivos se tiene el mismo valor.

**Cuadro 17.***Pérdidas admitidas totales*

<b>Cultivo</b>	<b>Pérdidas admitidas totales (mca)</b>
Chile	2,040
Fresa	2,040

**5.3.1.5. Diámetro del lateral**

Se seleccionó el diámetro de la tubería lateral como se observa en el Cuadro 18.

**Cuadro 18.***Diámetro de tuberías laterales*

<b>Cultivo</b>	<b>Diámetro del lateral (mm)</b>
Chile	16,000
Fresa	16,000

**5.3.1.6. Pérdidas por fricción en el lateral**

Se estimaron las pérdidas por fricción mostradas en el Cuadro 19, donde se utilizaron valores de C de 140 y f de 3,363.

**Cuadro 19.***Pérdidas por fricción en el lateral*

<b>Cultivo</b>	<b>Pérdidas por fricción en el lateral (mca)</b>
Chile	0,050
Fresa	0,037

### 5.3.1.7. Presión en la entrada del lateral

En el Cuadro 20 se muestran las presiones calculadas en la entrada de la tubería lateral, además se destaca que en ambos diseños los valores son similares, sin embargo, la presión de entrada en los laterales del Chile es mayor.

**Cuadro 20.***Presión en la entrada de los laterales*

Cultivo	Presión en la entrada del lateral (mca)
Chile	10,238
Fresa	10,229

### 5.3.2. Diseño de múltiples

#### 5.3.2.1. Pérdidas admisibles en la múltiple

Estas pérdidas se muestran en el Cuadro 21 teniendo un valor mayor para las múltiples de Chile.

**Cuadro 21.***Pérdidas admisibles en las tuberías múltiples*

Cultivo	Pérdidas admisibles en la múltiple (mca)
Chile	1,990
Fresa	2,003

#### 5.3.2.2. Número de laterales

Se calcularon los laterales en promedio que hay por múltiple, los cuales se muestran en el Cuadro 22.

**Cuadro 22.** *Número de laterales*

<b>Cultivo</b>	<b>Número de laterales</b>
Chile	30
Fresa	11

### **5.3.2.3. Caudal de la múltiple**

Se obtuvo un caudal mayor en las múltiples de chile que en las de fresa, esto se observa en el Cuadro 23.

**Cuadro 23.** *Caudal en las tuberías múltiples*

<b>Cultivo</b>	<b>Caudal de la múltiple (m<sup>3</sup>/h)</b>
Chile	3,198
Fresa	1,046

### **5.3.2.4. Diámetro de la múltiple**

Se calcularon los diámetros a utilizar en las múltiples los cuales se observan en el Cuadro 24, donde se detalla como el cultivo de chile posee un diámetro mucho mayor que la fresa. También se especifica el diámetro comercial seleccionado en cada caso.

**Cuadro 24.** *Diámetros de la múltiple*

<b>Cultivo</b>	<b>Diámetro calculado de la múltiple (mm)</b>	<b>Diámetro comercial de la múltiple (mm)</b>
Chile	29,011	29,500
Fresa	16,756	23,500

### 5.3.2.5. Pérdidas por fricción en la múltiple

Se tiene una pérdida mayor en las múltiples del diseño de chile que en las de fresa, además se destaca se utilizaron las constantes de C y f de 150 y 0,363 respectivamente.

**Cuadro 25.** *Pérdidas por fricción en la tubería múltiple*

Cultivo	Pérdidas por fricción en la múltiple (mca)
Chile	0,666
Fresa	0,140

### 5.3.3. Diseño de principal

Como se observa en el Anexo 4 y Anexo 5 los planos de planta y de perfil de la conducción principal muestran la distribución de esta tubería y su recorrido por las distintas parcelas, de esta manera visualizar la ubicación de esta en el terreno.

De esta manera, en el Cuadro 26 se muestran los principales aspectos de diseño de la tubería principal y a continuación se desglosan para su mejor análisis.

**Cuadro 26.** Aspectos de diseño en la tubería principal

<b>Aspecto de diseño</b>	<b>Valor</b>
Caudal (m <sup>3</sup> /h)	3,198
Diámetro (m)	27,460
Diámetro comercial(m)	100,800
Pérdidas por fricción (mca)	0,493
Presión en la entrada (mca)	10,737
Presión en la válvula (mca)	10,796
Presión distal (mca)	9,581
Pérdidas de filtrado (mca)	0,102
Carga dinámica (mca)	12,013
Presión en el primer gotero (mca)	10,237
Diferencia de presiones (mca)	0,657

#### **5.3.3.1. Caudal de la principal**

En el Cuadro 26 se muestra el caudal de la tubería principal, el cual toma en cuenta los diseños de chile y fresa.

#### **5.3.3.2. Diámetro de la principal**

Se estimó un diámetro de tubería principal y mediante este se seleccionó un diámetro comercial, debido a que este es el que cumple con las presiones que se presentan, además se debe tomar en cuenta que la velocidad máxima utilizada para este cálculo fue de 1,5 m/s. Lo anterior se observa en el Cuadro 26.

#### **5.3.3.3. Pérdidas por fricción en la principal**

La tubería principal cuenta con pérdidas por fricción que se muestran en el Cuadro 26 para el diámetro y tipo de tubería que se seleccionó.

#### **5.3.3.4. Presión en la entrada de la principal**

Se calculó la presión en la entrada de la tubería principal que se observa en el Cuadro 26, este dato es fundamental para saber si es necesario la colocación de algún accesorio de regulación.

#### **5.3.3.5. Presión de la válvula**

En cuanto a la presión en cada válvula que se presenta en el Cuadro 26, la cual es muy similar a la presión de entrada indicando un comportamiento bastante constante.

#### **5.3.3.6. Presión distal**

La presión en el punto más alejado de la red se muestra en el Cuadro 26 y también se acerca mucho a las presiones previamente calculadas.

#### **5.3.3.7. Carga dinámica**

La carga dinámica obtenida se muestra en el Cuadro 26, este valor se utiliza para la selección de una bomba adecuada a las necesidades.

#### **5.3.3.8. Presión en el primer gotero**

En el Cuadro 26 se muestra la presión en el primer gotero, lo cual es importante para asegurarse que los goteros seleccionados resistirán a trabajar bajo esa presión.

#### **5.3.3.9. Verificación de presiones**

Al realizar la diferencia entre la presión en el primer gotero y la presión distal se verificó que las presiones estuvieran correctamente calculadas como se muestra en el Cuadro 26 y se observa como este es menor que las pérdidas admitidas totales.



#### **5.3.3.10. Pérdidas de filtrado**

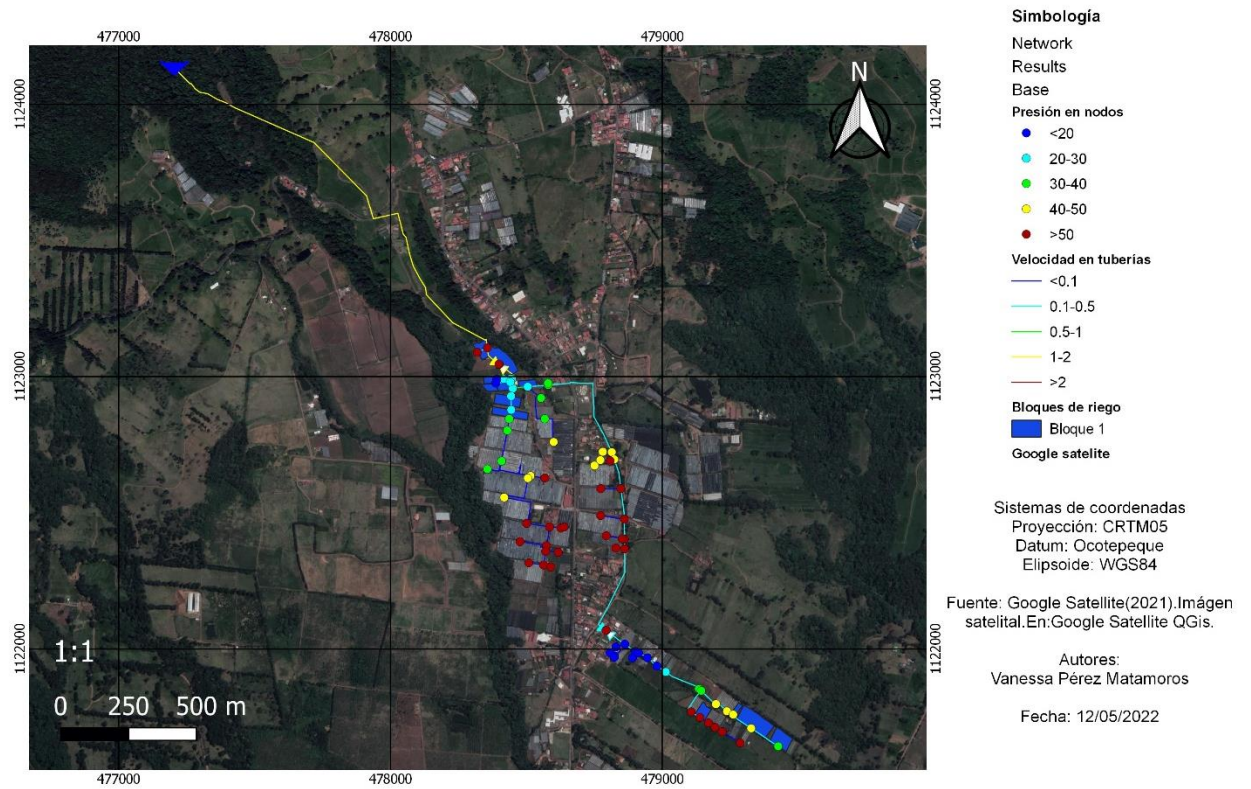
Se observa en el Cuadro 26 como las pérdidas por filtrado son de aproximadamente 0,010 bar.

#### **5.4. Modelación del diseño**

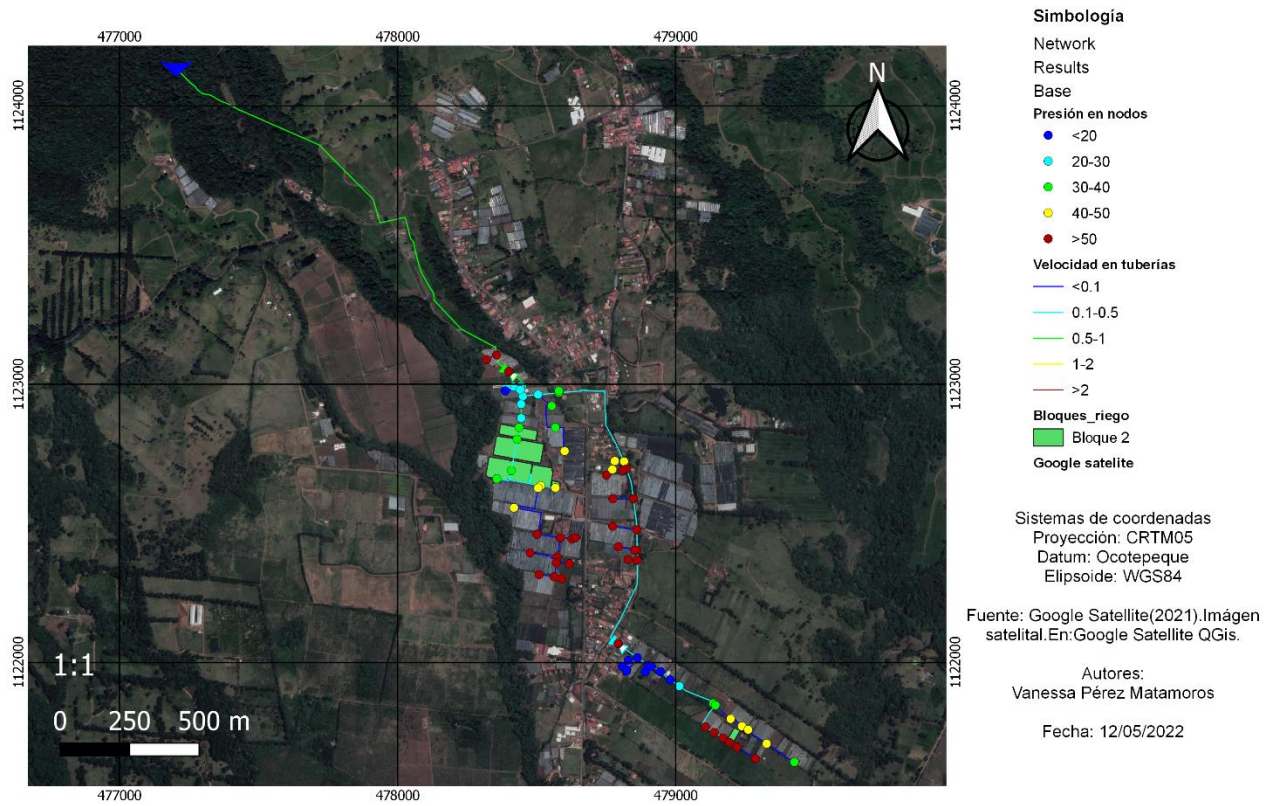
Al realizar la modelación del sistema se seccionó por bloques de riego para analizar el comportamiento en cada operación. En las Figura 5, Figura 6, Figura 7, Figura 8, Figura 9, Figura 10 y Figura 11 se pueden detallar las velocidades y presiones que se presentan en el diseño, identificándose por colores, así como los bloques que se riegan en cada caso.

Al observar las tuberías se puede destacar como las velocidades en todos los casos se mantienen inferiores a 2 m/s a lo largo de todo el trayecto y en bloques como el 2, 4 y los bloques de fresa se observa como las velocidades máximas se encuentran entre 0,5 y 1 m/s, manteniéndose muy cerca de la velocidad permitida de 1,5 m/s.

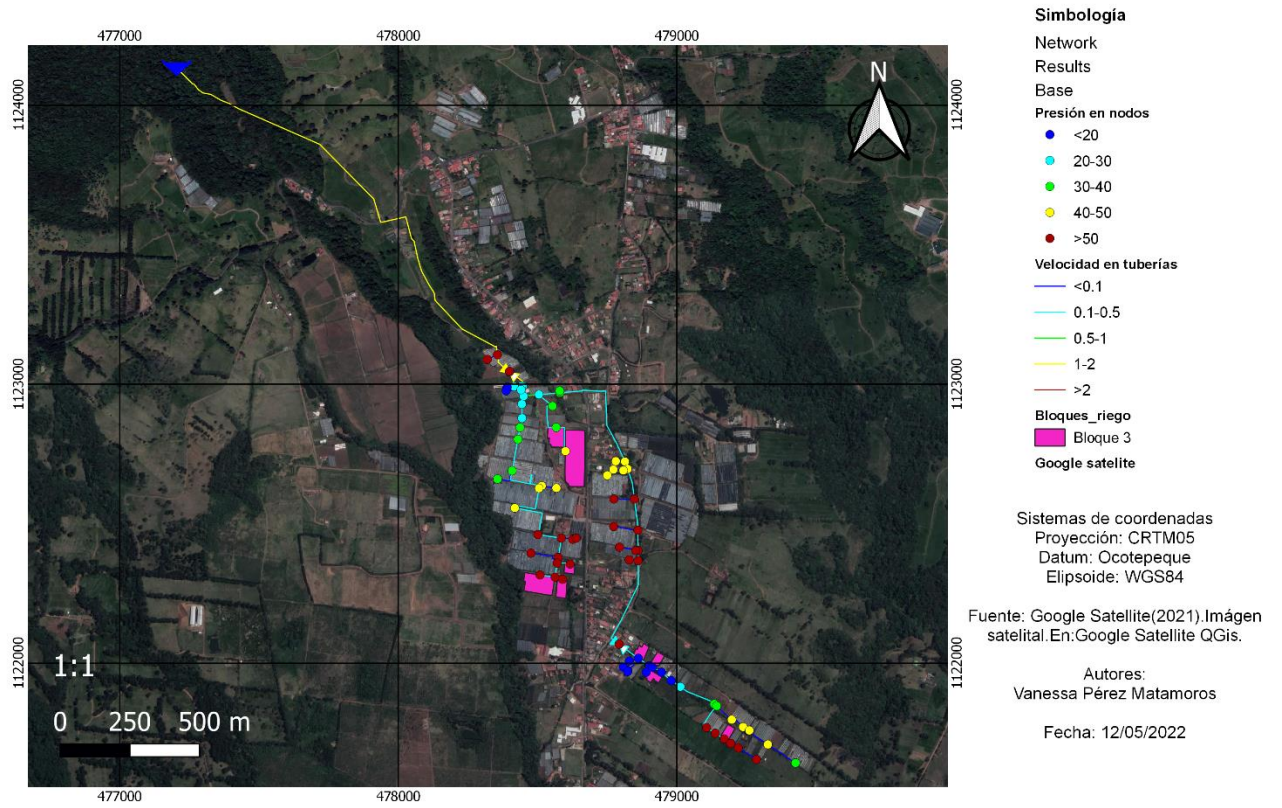
Por otro lado, en cuanto a las presiones en los nodos, hay algunas zonas de alta presión debido a la diferencia de cotas entre los puntos, sin embargo, para disminuir estas presiones se colocaron válvulas reguladoras de presión respetando el diagrama de cavitación de la válvula observada en el Anexo 3. A pesar de esto algunos nodos mantuvieron presiones mayores a 50 mca por lo cual se utiliza una cédula de 17 que soporte las presiones que se presentan.



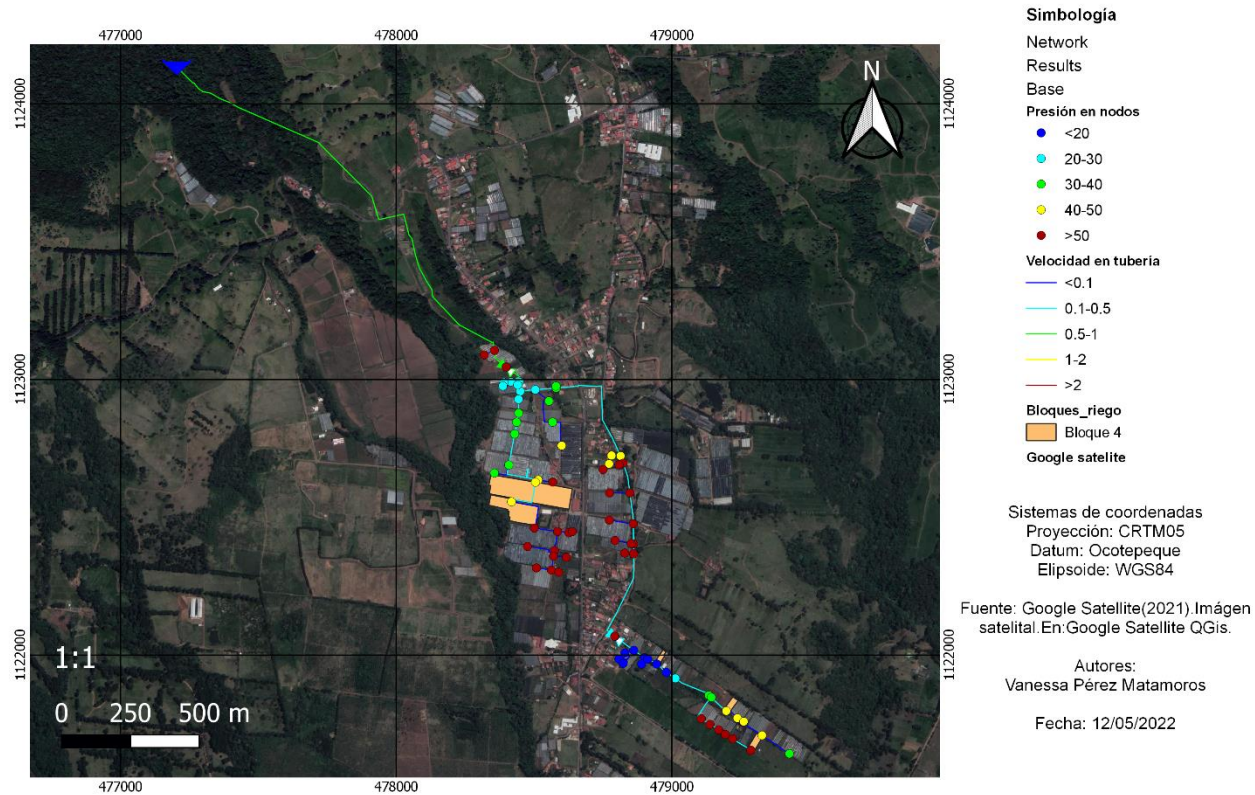
**Figura 5.** Modelación del sistema de riego en el bloque 1



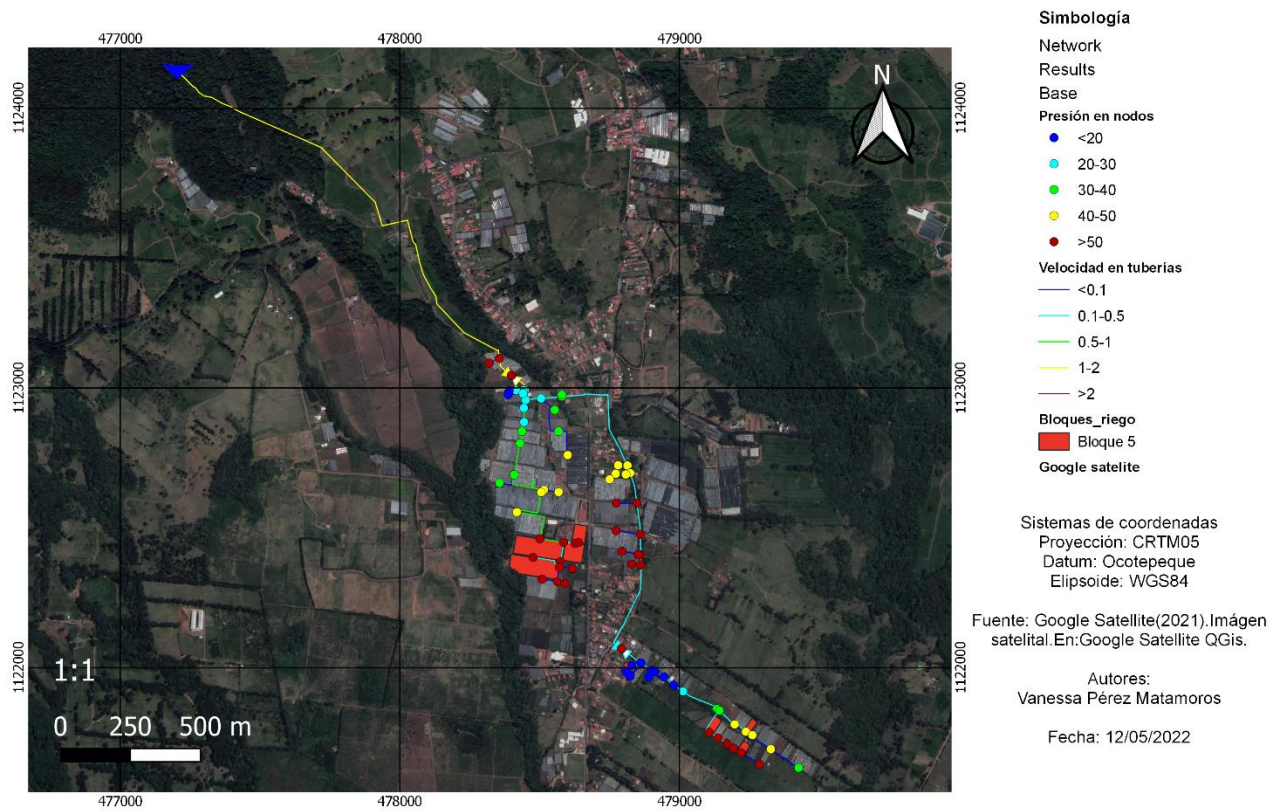
**Figura 6.** Modelación del sistema de riego en el bloque 2



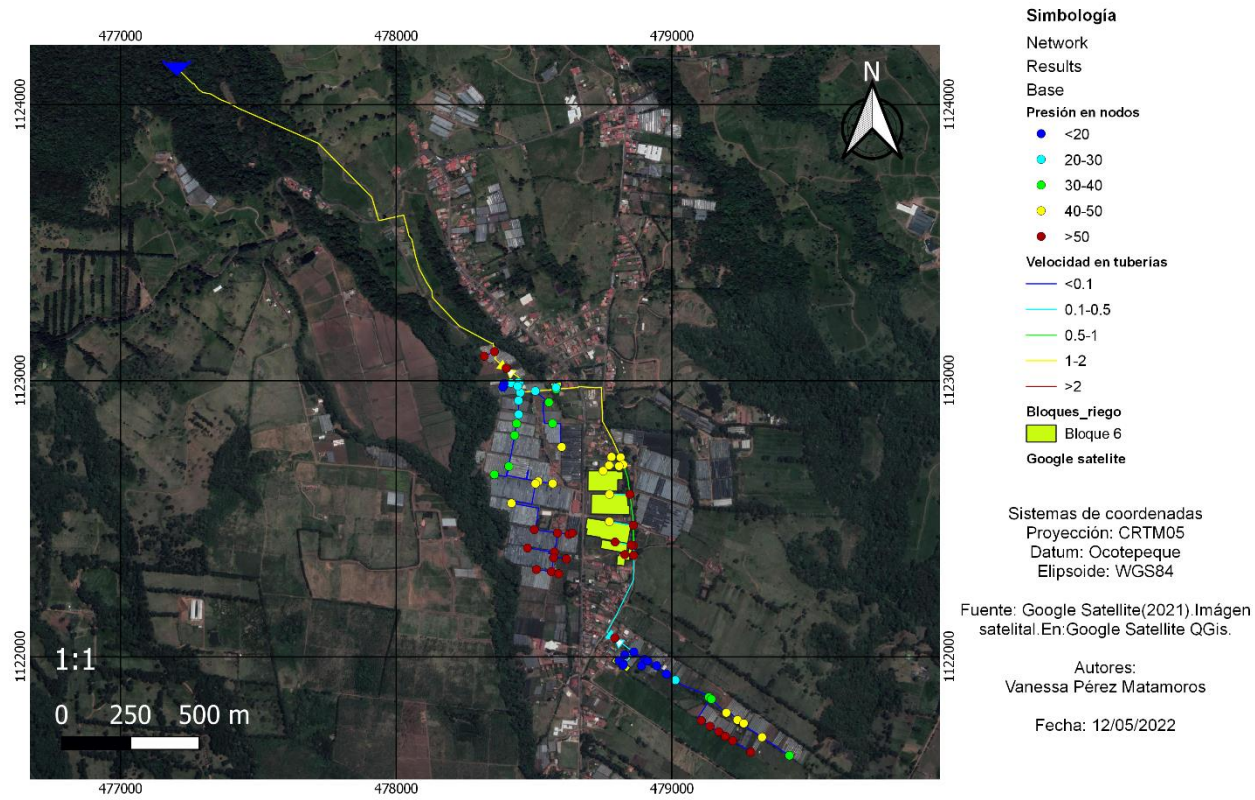
**Figura 7.** Modelación del sistema de riego en el bloque 3



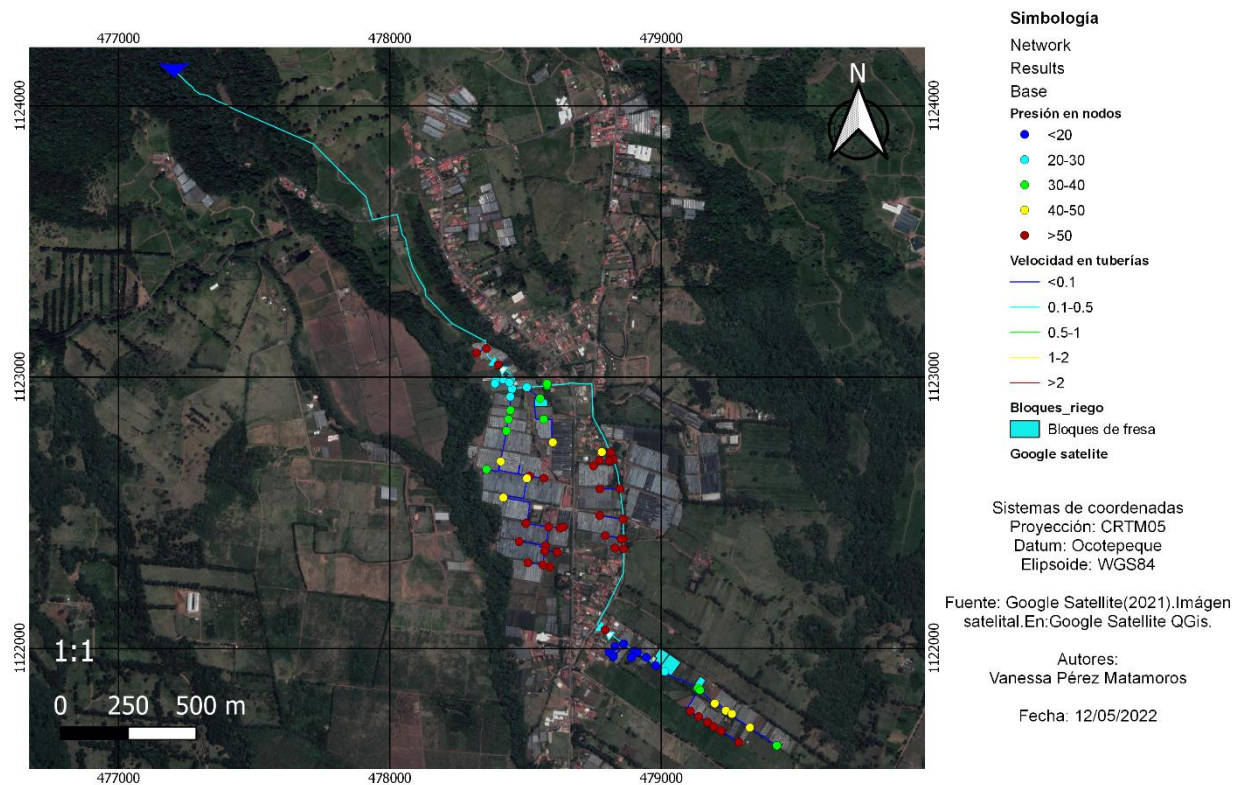
**Figura 8.** Modelación del sistema de riego en el bloque 4



**Figura 9.** Modelación del sistema de riego en el bloque 5



**Figura 10.** Modelación del sistema de riego en el bloque 6



**Figura 11.** Modelación del sistema de riego en los bloques de fresa

### 5.5. Lista de materiales

Se realizó una lista de los materiales necesarios para la construcción del sistema de riego, se llevó a cabo una lista de toda la tubería necesaria como se observa en el Cuadro 27 y en el Cuadro 28 se detallan los accesorios que se deben emplear para la colocación del sistema y su correcto funcionamiento.



**Cuadro 27.**Lista y especificaciones de la tubería

Sección del sistema	Longitud(m)	Diámetro (mm)	SDR	Diámetro nominal (pulg)	Cantidad de tubos
Principal	3130	100,800	17	4	522
Múltiple chile	5900,930	29,500	17	1	984
Múltiple fresa	157,990	23,500	17	3/4	27
Lateral chile	200888,020	16	-	0,630	402
Lateral fresa	5272,280	16	-	0,630	11

**Cuadro 28.**Lista y especificaciones de los accesorios

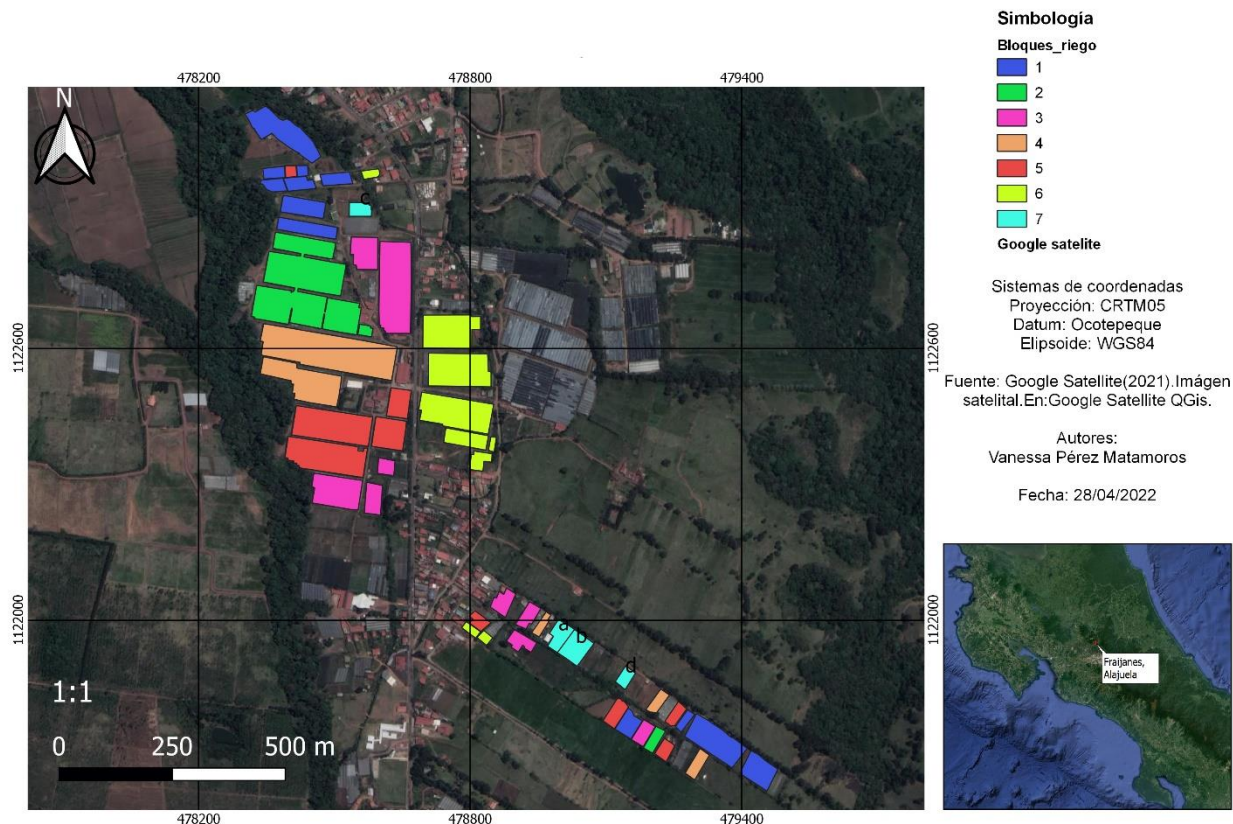
Sección del sistema	Accesorio	Diámetro (pulgadas)	Cantidad
Principal	Tee	4	9
	Y	4	3
	Filtro de sedimentos	-	1
	Válvula reductora de presión	4	3
Múltiple chile	Tee	1	125
	Ye	1	3
	Cruz	1	8
	Válvula	1	54
	Codo 90	1	138
	Codo 45	1	13
	Reducción	de 1 a 0,670	3747
Múltiple fresa	Ye	3/4	1
	Válvula	3/4	4
	Codo 90	3/4	9
	Tee	3/4	8
	Codo 45	3/4	2
	Reducción	de 3/4 a 0,670	110
Lateral chile	Goteros	-	107
	Tapón	0,630	3747
Lateral fresa	Goteros	-	96
	Tapón	0,630	110

## 5.6. Manual de operación del sistema

Se llevó a cabo una división del área en bloques de riego de 35950 m<sup>2</sup> para chile y en fresa de 2675 m<sup>2</sup>, obteniendo 6 bloques de chile y para la fresa se tiene un único bloque que se subdividió en 4 como se puede apreciar en la Figura 12.

Así mismo se puede observar cómo se identificó cada bloque mediante colores, los mismos que se utilizan en el Cuadro 29. *Calendario de riego para el cultivo de chile* y el Cuadro 30. *Calendario de riego para el cultivo de fresa* donde se muestran los calendarios de riego para chile y fresa, trabajando con operaciones de 22,98 y 22,96 horas respectivamente, así como los horarios en que se riega cada bloque durante el día.

Además, en el Anexo 18 se muestra un plan de mantenimiento para la tubería y accesorios del sistema, con recomendaciones de uso que permiten un mejor funcionamiento y alargan la vida útil de los elementos, por lo cual es fundamental tomar en cuenta dichas acciones que deben realizarse.



**Figura 12.** Distribución de bloques de riego

**Cuadro 29.** Calendario de riego para el cultivo de chile

Calendario de riego para chile							Inicio	Fin
Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7		
1	1	1	1	1	1	1	0:00:00	3:49:48
2	2	2	2	2	2	2	3:49:48	7:39:36
3	3	3	3	3	3	3	7:39:36	11:29:24
4	4	4	4	4	4	4	11:29:24	15:19:12
5	5	5	5	5	5	5	15:19:12	19:09:00
6	6	6	6	6	6	6	19:09:00	22:58:48

**Cuadro 30.** Calendario de riego para el cultivo de fresa

Calendario de riego para fresa							Inicio	Fin
Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7		
7a	7a	7a	7a	7a	7a	7a	0:00:00	5:44:42
7b	7b	7b	7b	7b	7b	7b	5:44:42	11:29:24
7c	7c	7c	7c	7c	7c	7c	11:29:24	17:14:06
7d	7d	7d	7d	7d	7d	7d	17:14:06	22:58:48

## 5.7. Análisis económico, social y ambiental

### 5.7.1. Análisis económico

En la realización de este análisis se desarrolló una lista de costos en las diferentes fases del proyecto, así como los ingresos de estos para saber si es viable la construcción y desarrollo. En la etapa de construcción se tomaron en cuenta los costos de todos los materiales necesarios para la elaboración de la propuesta de diseño, además, se analizó la etapa de operación incluyendo los costos de producción y el consumo de agua, estos aspectos se muestran en el Cuadro 31.

Así mismo, se estimaron los ingresos por cultivos, obteniendo el ingreso bruto por el chile la fresa producida en el área sembrada, como se observa en el Cuadro 31. Con estos datos se realizó el estudio económico pertinente donde se obtuvo un Valor Actual Neto (VAN) positivo y una Tasa Interna de Retorno (TIR) de porcentaje alto, esto se presenta en el Cuadro 31.

**Cuadro 31.** *Resumen de análisis económico*

Aspecto económico	Valor
Costo de construcción	₪ 232 086 606,36
Costo de operación	₪ 246 991 626,70
Ingreso bruto por cultivo de chile	₪ 524 582 400,00
Ingreso bruto por cultivo de fresa	₪ 102 131 500,00
VAN	₪ 1 433 244 857,33
TIR	46%

### 5.7.2. Análisis social y ambiental

Se completó el formulario D1 de SETENA el cual tiene la función de indicar que proceso se debe de seguir en cuestión de permisos y estudios ambientales, para el caso de este proyecto en el Anexo 2 se observa como la Significancia de Impacto Ambiental (SIA) tiene un valor de 55,9

que al ser menor que 300 según la clasificación dada se debe de realizar una Declaración de Jurada de Compromisos Ambientales, por lo cual no es necesario desarrollar un Estudio de Impacto Ambiental.

### **5.8. Análisis del sistema de riego actual**

El sistema que se utiliza actualmente trabaja con el caudal concesionado de 8,25 l/s y un caudal unitario de 0,75 l/s/ha y 11 tomas. El sistema cuenta con tuberías de diámetros y cédulas variables que no soportan la presión de trabajo, además, se debe destacar que las tuberías se encuentran colocadas sobre el relieve del terreno lo cual ocasiona daños en tuberías y accesorios.

Con respecto a la captación, no se cuenta con una estructura como tal que realice esta función, solamente hay un canal de desviación del río Poasito y un desarenador que no cumple su función correctamente. Así mismo, se cuenta con una tubería principal, pero esta no está diseñada para soportar las cargas y además se encuentran casos donde existe cambios de diámetro sin respetar la posición telescópica que evite la variación brusca de velocidades.

El riego que se aplica en la zona es por goteo, el cual no es auto compensado y además en algunos invernaderos se cuenta son micro aspersores utilizados para la desinfección del suelo previo a la siembra y post cosecha.

El principal problema que presentan los agricultores en la zona es que el caudal concesionado no es suficiente por lo que al no existir un control en la toma se aprovecha más agua de la fuente hídrica para suplir las necesidades lo cual se puede comprender mejor mediante el Anexo 12 donde se observa el estudio realizado por funcionarios del SENARA a algunos propietarios de las fincas.

## **6. CONCLUSIONES**

- Se determina que el sistema de riego utilizado actualmente no cuenta con un diseño acorde a las necesidades que se tienen, lo cual causa problemas en la conducción y un mal manejo de la fuente hídrica.
- Se obtuvo una lámina bruta de 7,66 mm para ambos cultivos y esta se debe aplicar con una frecuencia de riego de un día. Tomando en cuenta esto y el caudal del sistema, se concluye que el caudal disponible no es suficiente para cubrir las necesidades hídricas de los cultivos, por lo que se tiene un déficit de 12,71 l/s.
- Además, en cuanto al diseño hidráulico se tienen operaciones de 22,98 horas para el cultivo de chile y 22,96 horas para la fresa, con riegos diarios de todos los bloques, donde se aplica un caudal de 3,198 m<sup>3</sup>/h por cada múltiple.
- Así mismo, al evaluar el diseño por medio de la modelación se concluye que las presiones y velocidades se encuentran en el rango aceptable para el correcto funcionamiento del sistema.
- Mediante el análisis económico se concluye que el proyecto es viable debido a que se obtuvo un VAN de ₡ 1 433 244 857,33 y un TIR de 46%. Sin embargo, al observar estos valores se puede destacar que son elevados lo cual se debe a que los precios actuales de los materiales de construcción y los cultivos son muy altos y esto hace que los resultados del estudio económico se vean afectados.
- Así mismo al realizar el análisis ambiental y social se tiene que no es necesario realizar el estudio de impacto ambiental, en este caso se debe de realizar una Declaración Jurada de Compromisos ambientales, lo cual demuestra la viabilidad ambiental y social.

## **7. RECOMENDACIONES**



- Se recomienda la obtención de otra fuente de agua debidamente concesionada, para así cubrir las necesidades hídricas que se tienen. Así mismo, es recomendable realizar una estructura de almacenamiento de agua para así cubrir el déficit que se tiene y aprovechar de una manera más eficiente el caudal que se tiene.
- También es pertinente realizar una estructura de captación que permita a su vez el almacenamiento periódico de agua y así tener un mayor control del aprovechamiento hídrico.
- Además, se recomienda la habilitación del desarenador que se tiene debido a su utilidad para la limpieza del sistema.

## **8. BIBLIOGRAFÍA**

- Agrológica. (2012, June 26). Diseño paso a paso de un sistema de riego por goteo en una parcela real.
- Alegret, E., & Martínez, Y. (2019). Coeficiente de Hazen-Williams en función del número de Reynolds y la rugosidad relativa.
- Allen, R., Pereira, L., Raes, D., & Smith, M. (2006). Evapotranspiración del cultivo. Estudio FAO Riego y Drenaje.
- Andrades, M., Moliner, A., & Masaguer, A. (2015). Prácticas de Edafología.
- Arco. (2019, Agosto 29). ¿Qué es la pérdida de carga en tuberías?
- Briones, E. (2021). Análisis hidrométrico de infiltración en la cuenca del río Jipijapa. Universidad Estatal del Sur de Manabí.
- Camargo, S., & Durán, J. (2018). Evaluación de las propiedades mecánicas de suelos arcillosos de baja plasticidad mediante el uso de cemento para capa de rodadura en vías terciarias. Universidad de Cartagena. <https://repositorio.unicartagena.edu.co/bitstream/handle/11227/7089/TESIS%20FINAL.pdf;jsessionid=AAED5EA00AB4845E9187C3FCDBA83801?sequence=1>
- Campos, A., & Cruz, D. (2018). Riego por goteo en el cultivo de la caña de azúcar. [https://www.cenicana.org/pdf\\_privado/documentos\\_no\\_seriados/libro\\_riego\\_por\\_goteo/libro\\_riego\\_por\\_goteo\\_2019.pdf](https://www.cenicana.org/pdf_privado/documentos_no_seriados/libro_riego_por_goteo/libro_riego_por_goteo_2019.pdf)
- Chavarría, E. (2020). Diseño de dos sistemas de riego por goteo para los cultivos de chile dulce y maíz en finca rancho el Tecal y finca el Coyolito en Cañas Dulces, Liberia, Costa Rica. Tecnológico de Costa Rica.
- CIPAF, & IPAF. (2013). Sistemas de conducción de agua para la región altoandina (INTA, Vol. 1). [https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmpinta\\_ipafnoa\\_manual\\_sist\\_\\_conduc\\_\\_agua\\_regin\\_altoandi.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmpinta_ipafnoa_manual_sist__conduc__agua_regin_altoandi.pdf)
- Código de Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias en Edificaciones, Pub. L. No. 1 (2017). [http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm\\_texto\\_completo.aspx?para](http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?para)

m1=NRTC&nValor1=1&nValor2=83561&nValor3=107558&strTipM=TC

CONADI. (2017). Cómo determinar cuánto y cuándo regar  
[http://www.gea.uchile.cl/archivos/Como\\_determinar\\_cuando\\_y\\_cuanto\\_regar\\_Conadi.pdf](http://www.gea.uchile.cl/archivos/Como_determinar_cuando_y_cuanto_regar_Conadi.pdf)

CONGOPE. (2016). Hablemos de riego (1st ed., Vol. 1).

Demin, P. (2014). Aportes para el mejoramiento del manejo de los sistemas de riego

Díaz, H., & Mercado, J. (2012). Diseño de un sistema de riego por goteo para cítricos (naranja) en la finca ojo de agua con energía renovable (solar) en el municipio de “San Francisco Libre” departamento de Managua. Universidad Nacional de Ingeniería.  
<https://ribuni.uni.edu.ni/1088/1/38216.pdf>

Emerson Automation Solutions. (2019). Introducción a las válvulas de control. In Guía de válvulas de control (5th ed., Vol. 1).

Fallas, A., & Castro, J. P. (2017). *Determinación de las curvas de crecimiento y acumulación de nutrientes en la variedad Albion de fresa (Fragaria x ananassa) para establecer los requerimientos nutricionales de las plantaciones desarrolladas en la zona de Fraijanes, Cantón Central de Alajua* [Universidad de Costa Rica].  
<http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/jspui/bitstream/123456789/4326/1/41647.pdf>

Fernández, R. (2010). Manual de Riego para Agricultores (Junta de Andalucía, Vol. 4).  
[https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/1337160941RIEGO\\_BAJA.pdf](https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/1337160941RIEGO_BAJA.pdf)

Gamboa, A. (2013). Diseño de un sistema de riego por goteo autocompensado para los semilleros de caña de azúcar, finca Santa Marta, COOPEAGRI R.L. Tecnológico de Costa Rica.

Gómez, R. (2010). *Manual de Riego para agricultores: Módulo 4* (Consejería de Agricultura y Pesca (ed.); 4°).

Guardia, Y., Rodríguez, S., Pacheco, R., Ramos, Y., & Palma, L. (2015, September). Análisis estructural de un bioreactor anaerobio de fibrocemento por el método de los elementos finitos.

Guzmán, D. (2019). Diseño de un sistema de riego mediante la utilización de aguas residuales tratadas y estudio de factibilidad para la implementación de luminarias solares para el parque

de el tejlar del cantón del Guarco. Tecnológico de Costa Rica.  
[https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/11294/disenosistema\\_riego\\_mediante\\_utilizacion\\_aguas\\_residuales.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/11294/disenosistema_riego_mediante_utilizacion_aguas_residuales.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Infoagro. (2019, Febrero 13). Ventajas y desventajas del riego por goteo  
<https://mexico.infoagro.com/ventajas-y-desventajas-del-riego-por-goteo/>

Instituto Meteorológico Nacional. (2016). Estación pluviométrica Laguna.

Jiménez, J., García, V., Lozano, D., & Zabala, O. (2013). Manual de Apuntes de la Experiencia Educativa de Tuberías y Canales . Universidad Veracruzana.  
<https://www.uv.mx/ingenieriacivil/files/2013/09/Manual-de-Hidraulica-de-Tuberias-y-Canales.pdf>

Liotta, M. (2015). Riego por goteo.  
[https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta\\_manual\\_riego\\_por\\_goteo.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_manual_riego_por_goteo.pdf)

López, A. J. (2006). *Manual De Edafología* (Vol. 806, Issue Enero).  
<http://www.emisarios.unican.es/herramientas.htm>

López, M. (2011). Diseño de un sistema de riego con viajero autopropulsado en la finca Mona, Compañía Palmatica, Quepos. Tecnológico de Costa Rica.

Marini, F., Santamaría, M., Oricchio, P., Di Bella, C. M., & Basualdo, A. (2017). Estimación de evapotranspiración real (ETR) y de evapotranspiración potencial (ETP) en el sudoeste bonaerense (Argentina) a partir de imágenes MODIS. *Revista de Teledetección*.  
[https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/77027/CONICET\\_Digital\\_Nro.7cb31bca-2b86-4a60-9637-e0d6c364bd87\\_A.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/77027/CONICET_Digital_Nro.7cb31bca-2b86-4a60-9637-e0d6c364bd87_A.pdf?sequence=2&isAllowed=y)

Ministerio de Agricultura y Ganadería. (2007). Agrocadena Regional cultivo chile dulce

Ministerio de Agricultura y Ganadería. (2007, Octubre). Agrocadena de fresa

Ministerio de Agricultura y Riego. (2015). Manual del cálculo de eficiencias para sistemas de riego. DGIAR. [https://www.midagri.gob.pe/portal/download/pdf/manual-riego/manual\\_determinacion\\_eficiencia\\_riego.pdf](https://www.midagri.gob.pe/portal/download/pdf/manual-riego/manual_determinacion_eficiencia_riego.pdf)

- Monge, M. (2019). Presiones de diseño en unidades de riego por goteo.
- Murillo, J. (2018). *DISEÑO Y SELECCIÓN DE DOS SISTEMAS DE RIEGO POR MICROASPERSIÓN Y GOTEO PARA RAMBUTÁN (Nephelium Lappaceum L.) EN LA ZONA DE QUEPOS*. [Tecnológico de Costa Rica]. [https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/9886/diseño\\_seleccion\\_dos\\_sistemas\\_riego\\_microaspersion\\_goteo\\_para\\_rambutan\\_zona\\_quepos.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/9886/diseño_seleccion_dos_sistemas_riego_microaspersion_goteo_para_rambutan_zona_quepos.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Paucar, E. (2018). *DETERMINACION DE FRECUENCIA DE RIEGO OPTIMO PARA EL CULTIVO DE LA FRESA (Fragaria sp) EN EL CIE CAÑASBAMBA* [ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÍCOLA]. [http://repositorio.unasam.edu.pe/bitstream/handle/UNASAM/2837/T033\\_44329160\\_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unasam.edu.pe/bitstream/handle/UNASAM/2837/T033_44329160_T.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Pérez, R. (2013). ELABORACIÓN DE UN PROYECTO DE RIEGO CON TUBERÍAS DE MULTICOMPUERTAS PARA EL CULTIVO DE ALFALFA (*Medicago sativa*) Y LA GESTIÓN DE APOYOS GUBERNAMENTALES EN EL ESTADO DE GUANAJUATO. Universidad Autóboma Agraria Antonio Narro. <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/5668/T19735%20%20PEREZ%20MARTINEZ,%20RUBEN%20%20MEMORIA.pdf?sequence=1>
- Rodríguez, E. (2018). Instalación y evaluación de sistemas de riego por goteo para el cultivo de hortalizas en casa sombra para la región chorotega y brunca bajo el marco del proyecto “Mesoamérica sin hambre” de la representación de FAO en Costa Rica. Tecnológico de Costa Rica.
- Rodríguez, J. (2017). *Elaboración de curvas de crecimiento y absorción de nutrimentos del cultivo de fresa (Fragaria ananasa cv. Festival) en Fraijanes, Costa Rica* [Universidad de Costa Rica]. <http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/jspui/bitstream/123456789/4902/1/42286.pdf>
- Salinas, J. (2015). Rediseño de un sistema de bombeo del laboratorio de mecánica de fluidos para evaluar la eficiencia energética en el control de flujo. Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/8980/6/UPS-KT01108.pdf>
- Salmerón, M. (2018). *Instalación de un sistema de riego por aspersión para 88 ha de banano*

*(Musa paradisiaca)* en Finca Monte Blanco, San Alberto, Siquirres, Limón. [Tecnológico de Costa Rica].  
[https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/9883/instalacion\\_sistema\\_riego\\_aspercion\\_para\\_banano\\_musa\\_paradisiaca\\_finca\\_monte\\_blanco\\_alberto\\_siquirres\\_limon.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/9883/instalacion_sistema_riego_aspercion_para_banano_musa_paradisiaca_finca_monte_blanco_alberto_siquirres_limon.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Sánchez, A. (2019). *DETERMINACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD HIDRÁULICA PARA DIVERSAS MUESTRAS DE SUELO CAOLÍNÍFICO NO SATURADO CON ADICIÓN DE DIATOMEAS POR MEDIO DEL INFILTRÓMETRO MINIDISCO*.  
[https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/23890/1/tg\\_firma4.pdf](https://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/23890/1/tg_firma4.pdf)

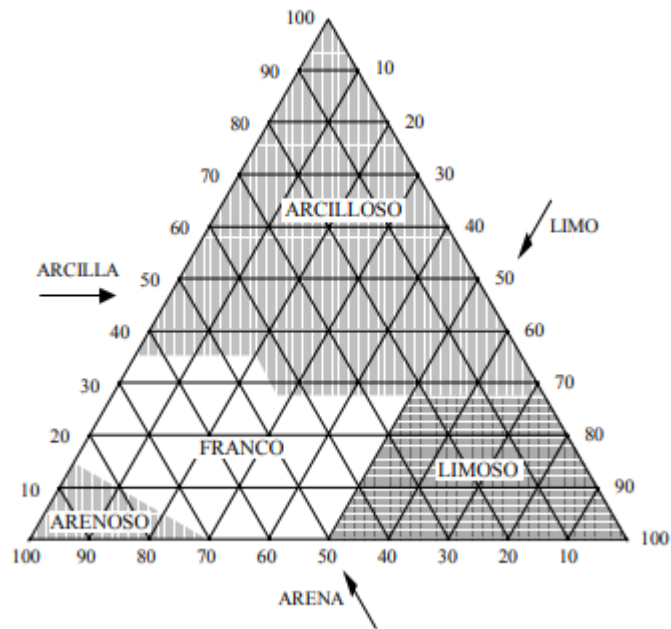
Valverde, C., & Villalobos, A. (2016). *Principios de riego y drenaje en suelos tropicales*. (EUNED (ed.)).

Vásquez, A. M. (2020). *DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO Y FERTIRRIEGO POR GOTEO PARA CHILE DULCE (*Capsicum annuum*) Y PARA UN ÁREA EXPERIMENTAL DE CHAYOTE (*Sechium edule*) EN SANTIAGO, PARAISO, CARTAGO*. [Tecnológico de Costa Rica].  
[https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/11543/TFG\\_Ana\\_Melisa\\_Vasquez\\_Vargas.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/11543/TFG_Ana_Melisa_Vasquez_Vargas.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

## **9. ANEXOS**



## 9.1. Anexos de figuras



Anexo 1. Triángulo de texturas del suelo

## 5. CRITERIOS DE PONDERACIÓN



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 ( $\Sigma$ ) =	149.00
--	--------

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 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)	0.75	
4. Valor de SIA ajustado por regulaciones ( $SIA_R$ ) =	111.75			

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 $SIA_R$ por un	0.5	6. Localización autorizada por Plan Regulador NO aprobado por SETENA. Se multiplica el valor de $SIA_R$ por un valor de 1,0 =	1
7. Localización en área sin Plan Regulador. Se multiplica el valor de $SIA_R$ por un valor de 1,5 =	1.5	8. Localización en área ambientalmente frágil, excepto que este contemplado en el numeral 5. Se multiplica el valor de $SIA_R$ por un valor de 2 =	2

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

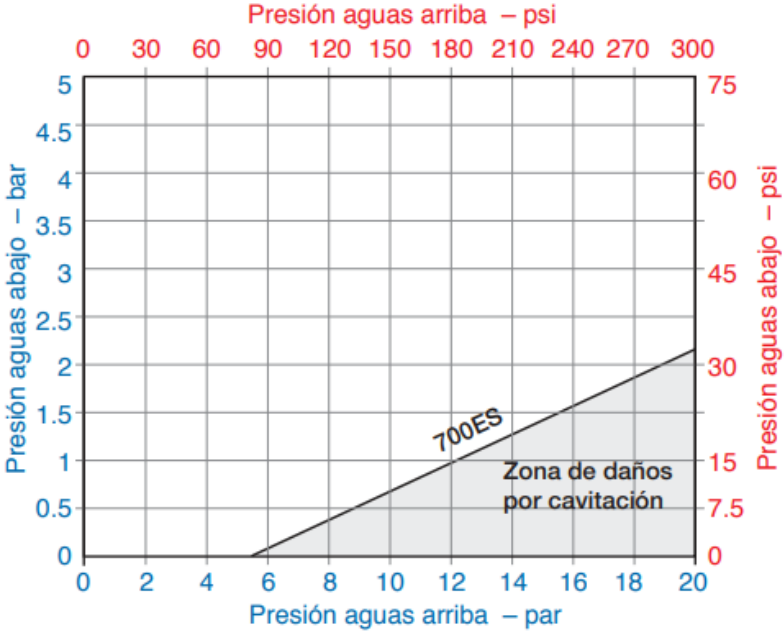
	( $\beta$ )	0.5
--	-------------	-----

9. Calificación final de la SIA:	55.9
----------------------------------	------

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

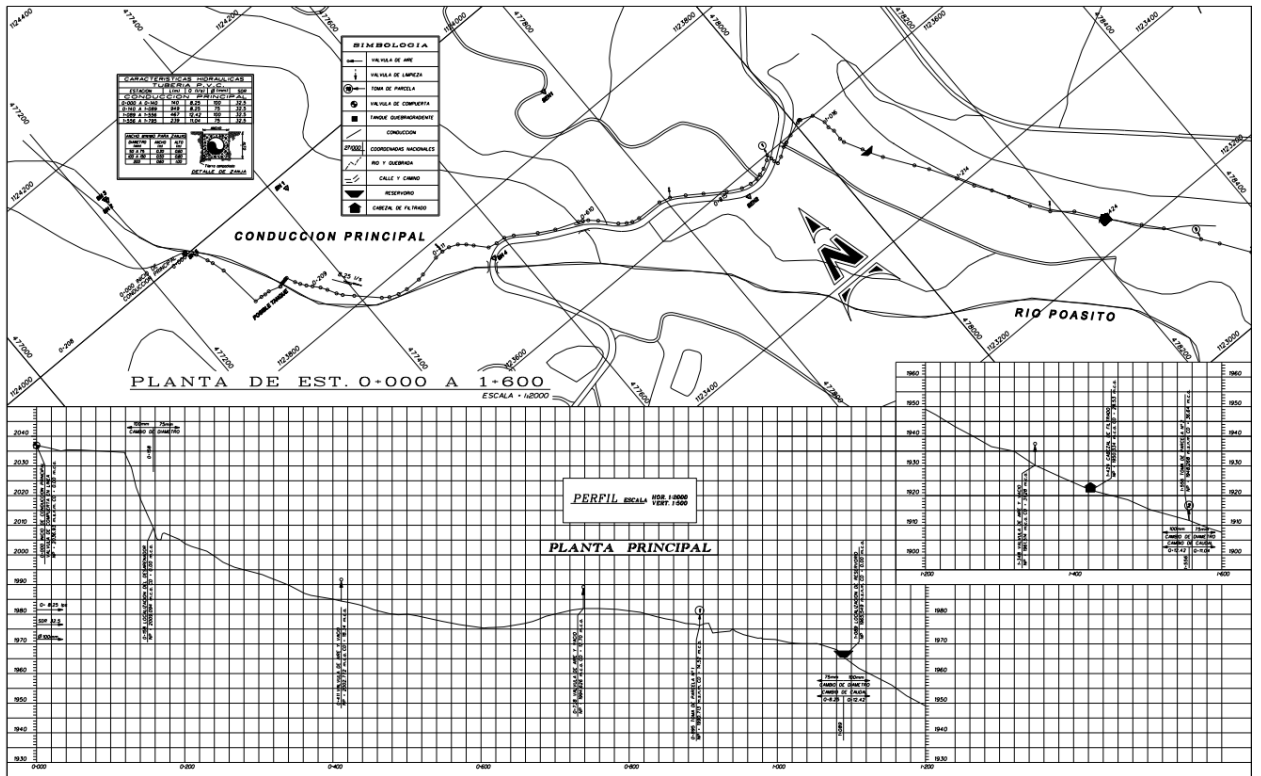
Tipo	Nota	Procedimiento
A	Mayor que 1000.	Estudio de Impacto Ambiental.
B <sub>1</sub>	Mayor que 300 y menor o igual que 1000.	Pronóstico-Plan de Gestión Ambiental.
B <sub>2</sub>	Menor o igual que 300.	Declaración Jurada de Compromisos Ambientales.

### Diagrama de cavitación



Anexo 3. Diagrama de cavitación de la válvula reguladora de presión Bermad serie 720





Anexo 5. Plano de perfil

## PCJ DRIPPER

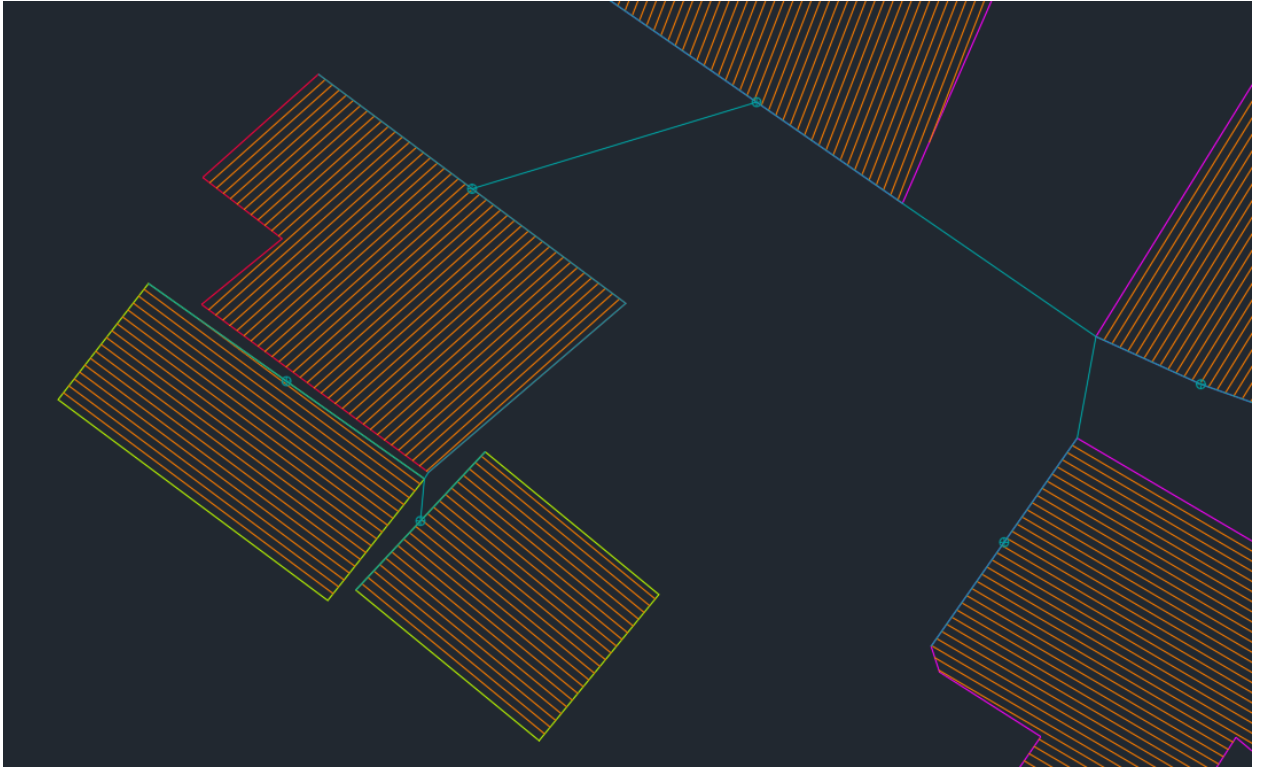
COMPACT ON-LINE PRESSURE-COMPENSATING,  
CONTINUOUSLY SELF-CLEANING DRIPPER



### TECHNICAL INFORMATION

- Recommended filtration: 130 micron / 120 mesh.  
Filtration method is to be selected based on the kind and concentration of the dirt particles existing in the water. Wherever sand exceeding 2 ppm exists in the water, a Hydrocyclone is to be installed before the main filter. When sand/ silt/ clay solids exceed 100 ppm, pre treatment will be applied according to Netafim™ expert team's instructions.
- TurboNet™ labyrinth with large water passage.
- To be "inserted" into thick-walled pipes (0.90, 1.00, 1.20 mm)
- Injected dripper, very low CV.
- 3 different outlets: nipple, barb to 3 mm ID and barb to 4 mm ID micro-tube.
- High UV resistant. Resistant to standard nutrients used in agricultural.
- PCJ on-line drippers meet ISO 9261 Standards with production certified by the Israel Standards Institute (SII).

Anexo 6. Especificaciones técnicas de goteros Netafim



*Anexo 7. Sección de diseño parcelario*

## 9.2. Anexos de cuadros

**Porcentaje del área humedecido en el riego por goteo.**

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

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

Anexo 8. Cuadro para determinación de PAR

### Coeficientes F para laterales de aluminio y plástico<sup>2</sup>

N° Salidas	Plástico (1.760)			Aluminio (1.852)		
	F <sub>1</sub> <sup>a</sup>	F <sub>2</sub> <sup>b</sup>	F <sub>3</sub> <sup>c</sup>	F <sub>1</sub> <sup>a</sup>	F <sub>2</sub> <sup>b</sup>	F <sub>3</sub> <sup>c</sup>
5	0.469	0.337	0.410	0.457	0.321	0.396
10	0.415	0.350	0.384	0.402	0.336	0.371
12	0.406	0.352	0.381	0.393	0.338	0.367
15	0.398	0.355	0.377	0.385	0.341	0.363
20	0.389	0.357	0.373	0.376	0.343	0.360
25	0.384	0.358	0.371	0.371	0.345	0.358
30	0.381	0.359	0.370	0.368	0.346	0.357
40	0.376	0.360	0.368	0.363	0.347	0.355
50	0.374	0.361	0.367	0.361	0.348	0.354
100	0.369	0.362	0.366	0.356	0.349	0.352
200	0.366	0.363	0.365	0.53	0.350	0.352

Anexo 9. Cuadro para determinación del coeficiente de fricción

Pulg	mm	SDR 13.5 (315 psi) (ASTM2241)	SDR 17 (250 psi) (ASTM2241)	SDR 26 (160 psi) (ASTM 2241)	SDR 32.5 (125 psi) (ASTM2241)	SDR 41 (drenaje)	SDR 50 (drenaje)	*SCH 40 (ASTM1785)	PVC SCH80 ASTM 1785	CPVC FlowGuard Gold NSF 5E 8225 CTS SDR 13.5
1/2"	12	18.2/21.3	...	...	...	...	...	15.8/21.3	13.8/21.3	13.1/15.9
3/4"	18	...	23.5/26.7	...	...	...	...	20.9/26.7	18.9/26.7	22.2/18.9
1"	25	...	29.5/33.4	30.4/33.4	...	...	...	26.6/33.4	24.3/33.4	24.4/28.6
1 1/4"	31	...	37.2/42.2	38.9/42.2	39.1/42.2	39.8/42.2	...	35.0/42.2	32.5/42.2	29.7/34.9
1 1/2"	38	...	42.6/46.3	44.6/46.3	45.3/46.3	45.9/46.3	...	40.9/46.3	38.1/46.3	35.2/41.3
2"	50	...	53.2/60.3	55.3/60.3	56.6/60.3	57.4/60.3	57.9/60.3	52.5/60.3	49.2/60.3	46.0/54.0
2 1/2"	62	...	64.4/73.0	67.4/73.0	68.5/73.0	69.5/73.0	...	62.7/73.0	59.0/73.0	
3"	75	...	78.4/88.9	82.0/88.9	83.4/88.9	84.6/88.9	83.3/88.9	77.9/88.9	73.7/88.9	
4"	100	...	100.8/114.3	105.5/114.3	107.3/114.3	108.7/114.3	109.7/114.3	102.3/114.3	97.2/114.3	
6"	150	...	148.5/168.3	155.3/168.3	157.9/168.3	160.1/168.3	...	154.1/168.3	146.4/168.3	
8"	200	...	193.3/219.1	202.2/219.1	205.6/219.1	208.4/219.1	...	...	193.7/219.1	
10"	250	...	240.9/273.1	252.1/273.1	256.2/273.1	259.8/273.0	...	...	243.0/273.1	
12"	300	...	285.8/323.8	299.0/323.8	303.9/323.8	308.1/323.8	...	...	288.9/323.8	
15"	375	...	...	358.7/388.6	364.7/388.6	369.7/388.6	...	...		
18"	450	...	...	422.0/457.2	429.1/457.2	434.9/457.2	...	...		

**Anexo 10. Cuadro de diámetros internos para PVC**



## DATOS TÉCNICOS

Diámetro nominal	Espesor de pared		DE	DI	Presión máxima	KD	Tipo de conectores		Embalaje y embarque				
	(mm)	(mm) (mil)					Conexión dentada	Cinta	Longitud bobina estándar (m)	Bobina por pallet	Bobinas por contenedor de 20 pies	Bobinas por contenedor de 40 pies	Bobinas por contenedor HC de 40 pies
12	0.33	13	12.46	11.80	1.5	0.22		*	2500	16	320	640	720
12	0.38	15	12.56	11.80	2.0	0.22		*	2000	16	320	640	720
12	0.45	18	12.70	11.80	2.2	0.22		*	1500	16	320	640	720
12	0.65	25	13.06	11.80	3.0	0.22		*	800	16	320	640	720
16	0.90	35	15.70	13.9	3.0	0.11	*		400	16	320	640	720
17	0.15	6	16.30	16.0	0.7	0.1		*	3500	16	320	640	720
17	0.20	8	16.40	16.0	0.9	0.1		*	3000	16	320	640	720
17	0.25	10	16.30	15.8	1.0	0.1		*	2000	16	320	640	720
17	0.33	13	16.46	15.8	1.4	0.1		*	2000	16	320	640	720
17	0.38	15	16.56	15.8	1.8	0.1		*	1500	16	320	640	720
17	0.45	18	16.70	15.8	2.0	0.1		*	1250	16	320	640	720
17	0.65	25	16.86	15.6	2.5	0.1		*	900	16	320	640	720
17	0.90	35	16.2	14.4	3.0	0.105	*		400	16	320	640	720
20	0.90	35	19.6	17.7	3.0	0.1	*		400	16	320	640	720
22	0.20	8	22.60	22.2	0.7	0.095		*	2000	16	320	640	720
22	0.25	10	22.70	22.2	0.8	0.095		*	1500	16	320	640	720
22	0.33	13	22.86	22.2	1.2	0.095		*	1250	16	320	640	720
22	0.38	15	22.96	22.2	1.4	0.095		*	1000	16	320	640	720
22	0.45	18	23.10	22.2	1.7	0.095		*	900	16	320	640	720
22	0.65	25	23.46	22.2	2.0	0.095		*	700	16	320	640	720

**Anexo 11.** Cuadro de diámetros comerciales del lateral

PRODUCTOR	MARIO MONTENEGRO	OSCAR MASIS	JOSE ANGEL SOTO (NAVE 1)	JOSE ANGEL SOTO (NAVE 2)
Descarga promedio por emisor (l/h)	2,75	0,82	3,64	3,50
Uso de agua por nave durante 1 hora (l)	3960	1900	5242	5240
Caudal usado actualmente (l/s)	1,10	0,53	1,46*	1,44*
Caudal requerido en concesión para mantener el área de riego actual del proyecto (l/s)	12,1	5,808	8,01**	7,77**
m <sup>3</sup> que utiliza actualmente regando 12 horas	47,52	22,8096	63,072	62,208
Caudal concesionado por productor (l/s)	0,75	0,75	1,50***	1,50***
m <sup>3</sup> que deberían utilizar según la concesión actual	32,4	32,4	64,8	64,8

\* Este productor utiliza mayor volumen de agua porque dispone de dos tomas parcelarias.

\*\* Si este productor quisiera regar la misma cantidad de área con una toma parcelaria, requeriría el doble del caudal actual, o bien sólo podría regar la mitad del área que tiene actualmente.

\*\*\* Este productor cuenta con dos tomas parcelarias por lo que el caudal que tiene disponible es el doble de los demás.

### Anexo 12. Cuadro de resumen del consumo de agua por productor actualmente

#### PCJ-HCNL drippers

FLOW RATE* (L/H)	WORKING PRESSURE RANGE (BAR)	WATER PASSAGES DIMENSIONS WIDTH-DEPTH-LENGTH (MM)	FILTRATION AREA (MM <sup>2</sup> )	CONSTANT K	EXPONENT* X	SHUT OFF PRESSURE (BAR)	BASE CODE COLOR	CAP COLOR CODE
0.5	1.5 – 4.0	0.54 x 0.60 x 40	1.8	0.5	0	0.18	Light Yellow	Black
1.2	1.5 – 4.0	0.67 x 0.77 x 35	2.0	1.2	0	0.18	Light Brown	Black
2.0	1.5 – 4.0	1.03 x 0.75 x 35	2.0	2.0	0	0.18	Pink	Black
3.0	1.5 – 4.0	1.03 x 1.08 x 35	2.0	3.0	0	0.18	Light Blue	Black
4.0	1.5 – 4.0	1.32 x 0.95 x 35	2.0	4.0	0	0.18	Light Gray	Black

\* Within working pressure range

### Anexo 13. Ficha técnica de goteros Netafim

Datos iniciales		
Q disponible=	7.26	l/s
CC=	16.58	%
PMP=	9.29	%
Peso específico=	0.90	(g/cm <sup>3</sup> )
Ib=	6.64	cm/h
Etr=	4.31	mm/dia
Textura=	Franco-arenoso	media
Área=	21.57	ha
Eficiencia=	90%	
Sh=	1	m
Sp=	0.5	m
Profundidad de raíces=	500	mm
Agotamiento=	30%	
Horas disponibles=	24	horas
q gotero=	1	l/h
P gotero	10.2	mca
Espaciamiento entre goteros(Sep)=	0.5	m
Espaciamiento entre laterales(Sw)=	1	m
n=	6	
PAR=	70.0%	
Ln=	6.893	mm
Fr=	1	dias
Lb=	7.659	mm
Número de goteros=	1	
Tr=	3.830	h

Número máximo de operaciones=	6	
Au=	35950	m <sup>2</sup>
Divisiones=	6	
Qms=	71.900	m <sup>3</sup> /h
Qms=	19.972	l/s
	20.963	
<b>Diseño hidráulico</b>		
Longitud lateral=	53.300	m
N goteros=	107	
L lateral corregida=	53.00	m
Q lat=	107	l/h
Q lat=	0.107	m <sup>3</sup> /h
Pad=	2.04	mca
D lateral=	16	mm
F=	0.363	
C=	140	
Hf lateral=	0.050	mca
ΔZ=	0.00115	m/m
Pe lateral=	10.238	mca
P ad m=	1.990	mca
L multiple=	29.25	m
N laterales	30	

Q m=	3.198	m <sup>3</sup> /h
C=	150	
F=	0.363	
D mult=	29.011	mm
D real mult=	29.5	mm
Hf multiple=	0.666	mca
L principal=	3130	m
Q principal=	3.198	m <sup>3</sup> /h
	0.0009	m <sup>3</sup> /s
C principal=	150	
v=	1.5	m/s
D principal=	27.460	mm
D real principal=	100.8	mm
Hf p=	0.493	mca
$\Delta Z$ =	0.057	m/m
H elev=	0.5	m
Pe=	10.737	mca
Presión válvula=	10.796	mca
Presión distal=	9.581	mca
Perdidas filtrado=	0.010	bar
	0.102	mca
Carga dinámica=	12.013	mca
Presión primer gotero=	10.237	mca
$\Delta P$ =	0.657	mca

**Anexo 14.** *Cálculos de diseño de chile*

Datos iniciales		
Q disponible=	8.25	l/s
CC=	16.58	%
PMP=	9.29	%
Peso específico=	0.90	(g/cm <sup>3</sup> )
Ib=	6.64	cm/h
Etr=	3.49	mm/día
Textura=	Franco-arenoso	media
Área=	1.07	ha
Eficiencia=	90%	
Sh=	1.5	m
Sp=	0.5	m
Profundidad de raíces=	300	mm
Agotamiento=	50%	
Horas disponibles=	24	horas
q gotero=	1	l/h
P gotero	10.2	mca
Espaciamiento entre goteros(Sep)=	0.5	m
Espaciamiento entre laterales(Sw)=	1	m
n=	6	
PAR=	70.0%	
Ln=	6.893	mm
Fr=	1	días
Lb=	7.659	mm
Número de goteros=	1	
Tr=	5.745	h

Número máximo de operaciones=	4	
Au=	2675	m <sup>2</sup>
Divisiones=	4	
Qms=	3.567	m <sup>3</sup> /h
Qms=	0.99	l/s
<b>Diseño hidráulico</b>		
Longitud lateral=	47.930	m
N goteros=	96.00	
L lateral corregida=	48.00	m
Q lat=	96	l/h
Q lat=	0.096	m <sup>3</sup> /h
Pad=	2.04	
D lateral=	16	mm
F=	0.363	
C=	140	
Hf lateral=	0.037	mca
$\Delta Z$ =	0.00115	m/m
Pe lateral=	10.229	mca
P ad m=	2.003	mca
L multiple=	15.799	m
N laterales	11.00	

Q m=	1.056	m3/h
C=	150	
F=	0.363	
D mult=	16.756	mm
D real mult=	23.5	mm
Hf multiple=	0.140	mca

**Anexo 15. Cálculos de diseño de fresa**

<b>LISTA DE BENEFICIARIOS DEL PROYECTO LA MINA</b>			
<b>N° DE TOMA</b>	<b>NOMBRE</b>	<b>CEDULA</b>	<b>RAMAL</b>
1	Fernando Chavarría Ardón		Principal
2	Leidy Saborío Soto		Principal
3	Oscar Masís Solano		Principal
4	American Flowers		Principal
5	José Angel Soto Solórzano		Principal
6	Mario Montenegro Pereira		Principal
7	Stiven Jesús Soto Montenegro		Principal
8	Oldemar Montenegro Pereira		Principal
9	Jorge Barlozt Chávez		Principal
10	Jorge Antonio Barlozt Molina		Principal
11	José Rojas Solís		Principal

**Anexo 16. Lista de beneficiarios de proyecto Quebrada La Mina**

<b>Prec</b>	<b>MESES</b>											
	<b>ENE</b>	<b>FEB</b>	<b>MAR</b>	<b>ABR</b>	<b>MAY</b>	<b>JUN</b>	<b>JUL</b>	<b>AGO</b>	<b>SET</b>	<b>OCT</b>	<b>NOV</b>	<b>DIC</b>
<b>mm</b>	<b>138</b>	<b>91</b>	<b>70</b>	<b>112</b>	<b>352</b>	<b>396</b>	<b>272</b>	<b>300</b>	<b>472</b>	<b>527</b>	<b>389</b>	<b>220</b>

**Anexo 17. Promedio de precipitación mensual, Estación Laguna**



	<b>Elemento</b>	<b>Accion</b>	<b>Frecuencia</b>
1	Valvula Reductora de presion	Ajuste del Piloto y revision de Presion de cierre	1 mes
		Revision de componentes internos de la valvula	6 meses
		Limpieza de filtro y rev.mandos hidraulicos	semanal
		Sustitucion de conectores dañados	Cuando se presente
		Limpieza y Rev. de componentes internos del piloto	6 meses
2	Valvula Reductora y sostenedora de presion	Ajuste de Pilotos y revision de Presiones	1 mes
		Revision de componente internos de la valvula	6 meses
		Limpieza de filtro y rev.mandos hidraulicos	semanal
		Sustitucion de conectores dañados	Cuando se presente
		Limpieza y Rev. de componentes internos del piloto	6 meses
3	Valvulas de Alivio	Ajuste de Pilotos y revision de Presion apertura	1 mes
		Revision de componente internos de la valvula	2 años
		Sustitucion de conectores dañados	Cuando se presente
		Limpieza y Rev. de componentes internos del piloto	2 años
4	Válvulas de aire y vacio	Limpieza y Rev. de componentes de la valvula	Cuando se presente
5	Válvulas volumetricas de Toma de Parcela	Limpieza obstrucciones en hidrometros	Cuando se presente
		Desgaste y juegos en las propelas	6 meses
		Verificar funcionamiento del sistema de medición	Cada vez que se accione la válvula
6	Válvulas de compuerta	Limpieza obstrucciones en valvulas	Cuando se presente
		Revision de desgaste en compuerta y cuerpo	1 año
7	Valvula Control de nivel	Limpieza de filtro y rev.mandos hidraulicos	semanal
		Revision de componentes internos de la valvula	6 meses
8	Valvula Control flujo excesivo	Ajuste de Pilotos y revision de caudal de cierre	1 mes
		Revision de componentes internos de la valvula	6 meses
		Limpieza de filtro, placa orificio y mandos hidraulicos	semanal
		Limpieza y Rev. de componentes internos del piloto	6 meses
9	Válvula de compuerta	Revisar desgaste interno	6 meses
		Fugas en los sellos, vastago y acoples a tubería	Cada vez que se accione la válvula
10	Válvula de Bola	Revisar desgaste interno de la válvula	6 meses
		Fugas en los acoples a tubería	Cada vez que se accione la válvula
11	Válvula de Mariposa	Revisar desgaste interno de la válvula	6 meses
		Fugas en los acoples a tubería	Cada vez que se accione la válvula
12	Válvula Check	Revisar que no existan obstrucciones en el mecanismo de cierre de la válvula	6 meses
13	Tubería y accesorios de PVC	Deteccion y reparacion de tuberías	Cuando se presente

**Anexo 18.** Plan de mantenimiento para los distintos elementos del sistema de riego