

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



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

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONDUCCIÓN Y DE DOS
SISTEMAS DE RIEGO PARA CAFÉ EN EL CENTRO DE
INVESTIGACIÓN DEL CAFÉ DE COSTA RICA**

Autor:

Laura Saborío Gutiérrez

Cartago, 2018

DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONDUCCIÓN Y DE DOS SISTEMAS DE RIEGO PARA CAFÉ EN EL CENTRO DE INVESTIGACIÓN DEL CAFÉ DE COSTA RICA

Laura Saborío Gutiérrez

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

Marvin Villalobos Araya

Asesor y Director Escuela Ingeniería Agrícola

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
CARTAGO, COSTA RICA

2018

Dedicatoria

*A mis padres, Edith y José.
Por siempre creer en mí y ser mi apoyo incondicional.*

Agradecimientos

Primero agradecer a Dios, por darme salud y las fuerzas para poder realizar mis estudios para emprender mi desarrollo profesional. A mi núcleo familiar por ser un gran apoyo y darme acompañamiento en todos mis años universitarios. A mis profesores y personal administrativo de la Escuela de Ingeniería Agrícola del Tecnológico de Costa Rica, por los conocimientos transmitidos y el apoyo proporcionado durante mi paso por la Escuela, y, en especial, al profesor y Director Marvin Villalobos Araya, por el voto de confianza y por impulsarme a no ser una estudiante mediocre; además, por hacer del riego, mi área favorita de esta profesión.

A mis compañeros de carrera quienes me ayudaron tanto académicamente como a nivel emocional, ya que me llevo grandes amigos, quiero hacer mención especial a Eduardo, Mariela y Alejandro por ayudarme con el trabajo de campo del presente TFG. Finalmente, a todo el personal del ICAFÉ, por darme la oportunidad de realizar mi TFG en una Institución tan bonita, de la cual recuerdo siempre con mucho cariño, y en especial a Don Miguel y a Vanessa por ser mis mentores en mi paso por dicha Institución.

A todos muchas gracias.

Contenido

Resumen	xi
Palabras Clave	xi
Abstract	xii
Keywords	xii
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 OBJETIVOS	4
1.1.1 Objetivo General	4
1.1.2 Objetivos Específicos.....	4
2. REVISIÓN DE LITERATURA	5
2.1 Cultivo de Café	6
2.1.1 Distancias de siembra.....	7
2.2 Características físicas del suelo	7
2.2.1 Textura	7
2.2.2 Estructura	7
2.2.3 Porosidad	8
2.2.4 Disponibilidad del agua en el suelo	8
2.2.5 Movimiento del agua en el suelo	9
2.3 Relación planta- agua- clima	9
2.3.1 Evapotranspiración.....	9
2.3.2 El método de Thornthwaite	10
2.3.3 Balance Hídrico	10
2.4 Riego	11
2.4.1 Riego por aspersión.....	11
2.4.2 Riego por Goteo	13
2.5 Tubería de Conducción.....	15
2.5.1 Válvulas	15
2.5.2 Filtrado.....	16
2.5.3 Zanjas para la instalación de tuberías.....	16
2.5.3 Plantilla o cama	17
2.6 Bombeo.....	17
2.6.1 Parámetros para hacer la selección de una bomba.	18

2.7	Análisis Ambiental	19
2.8	Análisis Económico	19
3.	METODOLOGÍA	20
3.1	Recursos utilizados.....	21
3.2	Topografía.....	21
3.3	Propiedades de suelo	21
3.4	Datos Climatológicos.....	22
3.4.1	Evapotranspiración.....	22
3.4.2	Balance Hidrológico	22
3.5	Diseño de Riego por Goteo	23
3.5.1	Diseño agronómico para riego por goteo	23
3.5.2	Diseño hidráulico para riego por goteo	26
3.6	Diseño de Riego por Aspersión	28
3.6.1	Diseño agronómico para riego por.....	28
3.7	Diseño de la Tubería de abastecimiento (principal).....	32
3.7.1	Cálculo del diámetro de la tubería.....	32
3.7.2	Cálculo de pérdidas primarias	32
3.7.3	Pérdidas secundarias.....	32
3.8	Carga dinámica de la Bomba	33
3.8	Trazo de la conducción	33
3.9	Evaluación Ambiental.....	33
3.10	Aspecto Social	35
3.11	Ámbito Económico	35
4.	RESULTADOS Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....	37
4.1	Ubicación del Lugar	38
4.2	Ubicación de la parcela a diseñar	39
4.3	Topografía.....	39
4.3.1	Topografía del área a diseñar los sistemas de riego	39
4.3.2	Topografía del perfil del terreno para la conducción del agua a todas las parcelas.....	40
4.3	Análisis de los datos edafológicos.....	41
4.3.1	Capacidad de campo y punto de marchitez permanente.....	42
4.4	Análisis de los Datos Climatológicos.....	43
4.4.1	Determinación de la Evapotranspiración del cultivo Eto	43

4.5 Balance Hídrico	44
4.5 Diseño de Riego por goteo	46
4.5.1 Diseño Agronómico	46
4.5.1.2 Lámina neta	47
4.5.2 Número de Divisiones.....	50
4.5.3 Área de cada división	50
4.5.4 Diseño hidráulico para riego por goteo	50
4.6 Diseño de Riego por Aspersión	54
4.6.1 Diseño agronómico para riego por aspersión	54
4.7 Cálculo para la conducción de la tubería principal	60
4.7.1 Diámetro de la conducción	60
4.7.2 Válvulas en la distribución	61
4.8 Carga dinámica total de la bomba.....	64
4.9 Cálculo de la Potencia	65
4.10 Selección de la bomba	65
4.11 Análisis Ambiental	66
4.12 Análisis Social	70
4.13 Análisis Económico	70
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	74
5.1 Conclusiones	75
5.2 Recomendaciones	76
6. BIBLIOGRAFÍA.....	77
7. ANEXOS	80

Índice de Cuadros

Cuadro 1. Clasificación del ambiente.....	34
Cuadro 2. Datos de los horizontes de suelo para la profundidad efectiva.....	41
Cuadro 3. Capacidad de campo y punto de marchitez permanente, para una profundidad efectiva de 90,00 centímetros.	43
Cuadro 4. Cálculo de la Evapotranspiración por el Método de Thornthwaite.	43
Cuadro 5. Cálculo del balance hídrico.....	45
Cuadro 6. Información del gotero seleccionado.	46
Cuadro 7. Datos para calcular la lámina neta.	47
Cuadro 8. Lámina Neta total.....	48
Cuadro 9. Coeficiente A.	48
Cuadro 10. Coeficiente K promedio resultante.	49
Cuadro 11. . Resumen de los datos del lateral.....	52
Cuadro 12. Factor f para el cálculo de pérdidas por fricción.	52
Cuadro 13. Diámetro y pérdidas de la múltiple.....	53
Cuadro 14. Presiones resultantes del diseño de riego por goteo.	54
Cuadro 15. Datos para calcular la lámina neta.	54
Cuadro 16. Lámina Neta total (Aspersión).....	55
Cuadro 17. Datos del aspersor seleccionado.	56
Cuadro 18. Datos de la tubería principal y laterales.....	59
Cuadro 19. Diámetro y pérdidas de la principal.....	60
Cuadro 20. Longitud de los tramos de la tubería de conducción.	63
Cuadro 21. Presiones en todos los nodos de la conducción.	64
Cuadro 22. Cálculo de la carga dinámica total.	64
Cuadro 23. Parámetros para la selección de la bomba.	65
Cuadro 24. Datos para la obtención de la curva de la bomba.	66
Cuadro 25. Matriz resultante utilizando el método de Leopold.	67
Cuadro 26. Depreciaciones para el proyecto e información para el cálculo de los parámetros económicos.	71

Cuadro 27. Datos para calcular los indicadores económicos	71
Cuadro 28. VAN y TIR del proyecto en PVC	72
Cuadro 29. Valores de T.R en función de la profundidad de raíces y textura del suelo.	81
Cuadro 30. Factor de reducción de infiltración.	85
Cuadro 31. Coeficiente F en función del número de salidas.	86
Cuadro 32. Desglose total del presupuesto para el sistema de Conducción.	88

Índice de Figuras

Figura 1. Ubicación del proyecto.	38
Figura 2. Ubicación de la parcela a diseñar.	39
Figura 3. Mapa de curvas de nivel de la parcela a diseñar.	40
Figura 4. Perfil Longitudinal del terreno.	41
Figura 5. Válvulas de la distribución.	62
Figura 6. Valores de Capacidad de Campo y Punto de Marchitez Permanente en función del tipo de suelo.	81
Figura 7. Hoja Técnica del gotero utilizado.	82
Figura 8. Continuación, Hoja Técnica del gotero utilizado.	83
Figura 9. Cálculo del Porcentaje de Área Humedecida.	84
Figura 10. Evapotranspiración del cultivo.	85
Figura 11. Hoja técnica del aspersor utilizado.	86
Figura 12. Curva Característica de la bomba.	87
Figura 13. CDT en función del caudal para la bomba utilizada.	87

Índice de Anexos

Anexo 1. Valores de TR en función de la profundidad de raíces y textura del suelo.	81
Anexo 2. Valores de CC y PMP en función de la textura del suelo.	81
Anexo 3. Especificaciones del gotero utilizado.....	81
Anexo 4. Continuación, hoja técnica del gotero.....	82
Anexo 5. Datos para calcular el Porcentaje de Área Humedecida.	83
Anexo 6. Factor de reducción de infiltración.	84
Anexo 7. Coeficiente Kc del cultivo del café.....	85
Anexo 8. Hoja técnica del aspersor a utilizar.	85
Anexo 9. Coeficiente F en función del número de salidas.	86
Anexo 10. Curva Característica de la bomba.	86
Anexo 11. CDT en función del caudal.	87
Anexo 12. Desglose de los costos del sistema de conducción del proyecto.	87

Resumen

Debido al cambio climático, la implementación de sistemas de riego para café es cada día más común, a pesar de que anteriormente, escucharlo era muy extraño y poco usual. Ante esta situación se realizan dos sistemas de riego (goteo y aspersión), además de la conducción, utilizando los criterios técnicos. La mayoría de los datos para elaborar los diseños, fueron proporcionados por el CICAFFÉ.

Para el sistema de riego por goteo, se utilizaron goteros auto-compensados, para regar una lámina de 28,26 mm, en un tiempo de riego de 6,64 horas, para un caudal del sistema de 0,008 m³/s, con una presión en la válvula de 10,83 metros columna de agua (m.c.a). Por otro lado, se diseñó un sistema de riego por aspersión, el cual utiliza una lámina de 71,38 mm, en un tiempo de 9,79 horas, para un caudal del sistema de 0,002 m³/s, con una presión en la válvula de 32,00 m.c.a.

Se escogió una bomba de acuerdo a lo requerido, además de un sistema de conducción con diámetro de 75 mm, misma que alberga 12 tomas de agua que quedarían a disposición de futuros proyectos. Y finalmente se realizó el análisis social, económico y ambiental.

Palabras Clave: Café, Riego por Goteo, Riego por aspersión, Conducción hidráulica.

Abstract

Due to climate change, the implementation of irrigation systems for coffee is becoming more common, although listening to it was very strange and unusual. Given this situation, two irrigation systems are carried out, in addition to driving, using the formulas and criteria learned during the Agricultural Engineering career. The majority of the data for the design was provided by CICA FÉ.

For the drip irrigation system, self-compensating drippers are used to irrigate a sheet of 24.41 mm, in an irrigation time of 16.62 hours, for a system flow of 10.85 m³ / s, with a pressure in the valve of 11.34 mca. On the other hand, a sprinkler irrigation system was designed, which uses a 51.53 mm sheet, in a time of 9,79 hours, for a system flow of 4,20 m³ / h, with a pressure of the valve of 32.00 mca.

A pump was chosen according to the requirements, in addition to a conduction system with a diameter of 3, which houses 12 water intakes that would be available for future projects. And finally the social, economic and environmental analysis was carried out.

Keywords: Coffee, Drip Irrigation, Sprinkler irrigation, Hydraulic driving.

1. INTRODUCCIÓN

De acuerdo con la FAO (2002), la agricultura es una actividad que impulsó a la civilización para desarrollarse y subsistir, y es la responsable del consumo del 70% de agua dulce del planeta, actualmente, el recurso hídrico es una limitante, por lo que la agricultura y sus aplicaciones de agua deben efectuarse con la mayor eficiencia posible, es decir, se debe aprovechar el agua disponible de tal forma que se pueda regar mayor área o cantidad de plantas con la menor cantidad de agua.

A la hora de implementar un sistema de riego, se debe de tomar en cuenta diferentes variables, en el caso del café no era común la utilización de los sistemas de riego; sin embargo, debido al cambio climático presentado en los últimos años se vuelve una necesidad.

En algunas especies, como Arábica y Robusta, hay retorcimiento de los brotes antes de que se abran. Esto se produce cuando el estrés hídrico se crea después de que pequeñas cantidades de lluvia han provocado el crecimiento inicial. Como resultado de la torsión, no pueden alcanzar la fase de apertura y por lo tanto se secan. Camargo (2008), declara que esta torsión (yemas sin abrir o flores secas) es un fenómeno típico causado por la escasez de agua, e incluso puede producir una pérdida de rendimiento de hasta el 50%.

A su vez, Camargo (2008), destacan que la introducción del riego reduce el porcentaje de flores secas (estrellas) del 57% a menos de 5%, con algunos porcentajes prácticamente insignificantes.

El proyecto se llevará a cabo en el Centro de Investigación del Café de Costa Rica (ICAFFE), el cual: *“es una institución pública de carácter no estatal, fundada en 1933 como rectora de la caficultura costarricense”* ICAFFE (2017). La institución, cuenta con una subdivisión denominada como el Centro de Investigación del Café de Costa Rica (CICAFÉ). Se encuentra ubicado en San Pedro de Barva de la provincia de Heredia. Cuenta con parcelas sembradas de café para uso de carácter investigativo.

Se cuenta con un pozo profundo para la captación de agua subterránea, así como con un reservorio para almacenar el agua captada. El reservorio se encuentra conectado a un sistema de bombeo, el cual es el encargado de impulsar el agua a todo el sistema existente actualmente. El sistema que se encuentra funcionando en la actualidad data desde hace más de cuarenta años, por lo que, tanto la bomba como las tuberías ya no funcionan de manera óptima. De igual modo, se desconoce la presión dada en los diferentes puntos de la trayectoria

de la tubería. La solicitud por parte de la Institución es realizar un diseño de abastecimiento en el cual exista una toma de agua para cada parcela y en futuros proyectos poder aplicar el riego.

Con base a lo anterior, el presente proyecto consiste en rediseñar un sistema de conducción el cual abastezca a todas las parcelas de investigación del CICAFFÉ. El uso del agua será de múltiples funciones, por lo que se deberán utilizar ciertos parámetros para establecer la presión y el caudal en las diferentes tomas de agua. Esto se debe a que el sistema contaría con la dificultad de que se podría requerir tanto para un diseño de riego por goteo, como para un diseño de riego por aspersión. Como se sabe, para ambos sistemas las presiones requeridas serían diferentes, por lo que, el diseño plantea elegir la opción que requiera mayor presión (aspersión), y si se requiere para goteo colocar un regulador de presión a la salida de la toma de agua o bien crear funciones para la bomba de manera que el sistema tenga diferentes opciones de trabajo, que satisfagan las necesidades según se requiera.

La realización del proyecto es importante ya que, como se sabe, el cambio climático es una realidad, y la implementación de sistemas que permitan la optimización de las producciones, se vuelve una necesidad. El café, no está exento a esto, el agua en las diferentes etapas del cultivo es vital para que se dé tanto la floración y cuaje como el llenado de los frutos. Por otro lado, si el agua se le proporciona a la planta en el momento y la cantidad requerida, homogenizaría en gran medida la producción; ya que, se concentraría la misma, es decir, disminuye la cantidad de floraciones que se dan en el cultivo, ahorrando en gran medida en la etapa de cosecha por duraciones más cortas del periodo de la recolección del café.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo General

- Diseñar el sistema de conducción para suministrar agua a todas las parcelas del Centro de Investigación de Café de Costa Rica, y dos sistemas de riego para la parcela con las condiciones más críticas, con el fin de que exista en todas las tomas de agua la presión mínima requerida para implementar sistemas de riego.

1.1.2 Objetivos Específicos

- a) Determinar los requerimientos hídricos del cultivo del café, así como un estudio previo del suelo, de manera que existan los datos para la elaboración de los diseños.
- b) Realizar los diseños agronómicos e hidráulicos con el fin de satisfacer los requerimientos de presiones y caudal en todas las parcelas.
- c) Realizar los estudios ambientales, sociales y económicos que puedan influir en la implementación del proyecto.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Cultivo de Café

De acuerdo con Temiz, López y Sosa (2011), la planta de café es una dicotiledónea, proviene de un arbusto perenne que pertenece a la familia de las Rubiaceae, y el género *Coffea*, puede alcanzar diez metros de altura de forma silvestre y en una plantación de café controlada alcanza tres metros de altura. Las dos especies con mayor importancia comercial son: *Coffea arabica* y *Coffea Canephora*, conocidas como Arábica y Robusta.

Según CICAFFÉ (2011), dentro de las características hidro-meteorológicas que involucran el cultivo del café se encuentran:

- a. **La altitud:** la medida óptima para el cultivo de café se localiza entre los 500 y 1700 msnm. Por encima de este nivel altitudinal se presentan fuertes limitaciones en relación con el desarrollo de la planta. La cantidad y distribución de las lluvias durante el año son aspectos muy importantes, para el buen desarrollo del cafeto. Con menos de 1000 mm anuales, se limita el crecimiento de la planta y por lo tanto la cosecha del año siguiente; además, un período de sequía muy prolongado propicia la defoliación y en última instancia la muerte de la planta. Con precipitaciones mayores de 3000 mm, la calidad física del café oro y la calidad de taza puede comenzar a verse afectada; además el control fitosanitario de la plantación resulta más difícil y costoso.
- b. **La temperatura:** el promedio anual favorable para el cafeto se ubica entre los 17 a 23 °C. Temperaturas inferiores a 10 °C, provocan clorosis y paralización del crecimiento de las hojas jóvenes.
- c. **Humedad relativa:** cuando alcanza niveles superiores al 85%, se propicia el ataque de enfermedades fungosas que se ven notablemente favorecidas.

Fuertes vientos inducen a la desecación y al daño mecánico de tejido vegetal, asimismo favorecen la incidencia de enfermedades. Por esta razón es conveniente escoger terrenos protegidos del viento, o bien establecer rompe-vientos para evitar la acción de éste.

Aunado a lo anterior, el Cenicafé (2010), establece que la lluvia y la radiación solar son los dos elementos del clima de mayor importancia en la producción de café; esto, debido a que las deficiencias hídricas son necesarias para la floración, pero si éstas son muy prolongadas no permiten la apertura floral, limitan el crecimiento vegetativo y el llenado de los frutos que estén creciendo en ese momento en la planta. Por otra parte, los excesos

hídricos disminuyen la inducción floral y la formación de estructuras reproductivas, favorecen la presencia de enfermedades en el cultivo, promueven el lavado de nutrientes en el suelo y las pérdidas por erosión. Por lo tanto, es importante conocer los requerimientos hídricos para el café.

2.1.1 Distancias de siembra

En general se puede establecer una densidad de 5.000 plantas por hectárea en distancia de 2,0 m entre hileras x 1,0 m entre plantas. En condiciones de clima y suelos muy favorables, las variedades de porte más bajo se pueden sembrar un poco más denso. Por otra parte, las variedades de mayor desarrollo y largo de bandolas, deben sembrarse a una menor densidad. (CICAFÉ, 2011)

2.2 Características físicas del suelo

Jácome, Granda y López (2009), señalan que el suelo es un sistema complejo, compuesto por partículas sólidas (minerales y orgánicas), agua con sustancias en disolución y aire.

Por otro lado, mencionan que el movimiento y disponibilidad para la planta del agua en el suelo, está determinado básicamente por las propiedades físicas de éste; principalmente por la textura, estructura y porosidad.

2.2.1 Textura

La proporción relativa de arena limo y arcilla, juega un papel muy importante en la velocidad de infiltración, la retención, y la forma de distribución del agua, es así que en suelos arenosos el agua forma un bulbo de características alargada y en suelos arcillosos el movimiento se realiza en mayor proporción horizontalmente.

2.2.2 Estructura

Se define como el arreglo geométrico de las partículas del suelo. La estructura es el producto de la combinación de los tres componentes primarios, arena, limo y arcilla y otras

masas que actúan como materiales cementantes; tienen gran influencia directa e indirectamente en el crecimiento de la raíz, que corresponde a la resistencia física que se opone a la penetración de la misma.

2.2.3 Porosidad

Se refiere al porcentaje del volumen del suelo no ocupado por sólidos. Dentro del espacio poroso se pueden distinguir macro poros y micro poros donde agua, nutrientes, aire y gases pueden circular o retenerse. Los macro poros no retienen agua contra la fuerza de la gravedad, son responsables del drenaje, aireación del suelo y constituyen el espacio donde se forman las raíces. Los micro-poros retienen agua y parte de la cual es disponible para las plantas. (FAO, 2017)

La FAO (2017), señala además otras propiedades físicas del suelo tales como: la disponibilidad del agua en el suelo, dentro de los cuales se encuentra la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente y el movimiento del agua en el suelo (infiltración, percolación y permeabilidad).

2.2.4 Disponibilidad del agua en el suelo

Se denomina Capacidad de Campo (CC), a la cantidad de agua que el suelo es capaz de retener luego de ser saturado y dejado drenar libremente evitando evapotranspiración y hasta que el potencial hídrico se estabilice. El agua ocupando el espacio de los macro-poros drena hacia capas inferiores bajo la fuerza de gravedad. Los micro-poros se llenan de agua y los más grandes de aire y agua.

El punto Capacidad de Campo corresponde a una succión de 1/3 bar. Las plantas deben producir una succión hasta 15 bares como máximo. A los 15 bares de succión la cantidad de agua en el suelo se denomina por el Punto de Marchitez Permanente (PMP). A ese punto las plantas pierden la capacidad de succión y siguen perdiendo agua mediante la transpiración. Se pierde la turgencia de la planta resultando en su marchitez. Gráficamente la diferencia entre el Punto de Capacidad de Campo y el Punto de Marchitez Permanente resulta en el agua disponible para cultivo en mm o expresado porcentualmente. La textura

del suelo influencia en la cantidad de agua en un suelo drenado hasta el punto de capacidad de campo y la cantidad que está disponible para las plantas (FAO, 2017).

2.2.5 Movimiento del agua en el suelo

Retomando lo que mencionan Jácome, Granda y López (2009), el comportamiento del agua en el suelo depende, de propiedades particulares y de las fuerzas que actúan sobre ellas. Estas a su vez dependen, de la geometría de los poros y de la interacción entre el agua y las superficies sólidas con las que está en contacto.

La infiltración se define como el proceso por el cual el agua penetra por la superficie del suelo y llega hasta sus capas inferiores. Por otro lado, permeabilidad es la propiedad que tiene el suelo de transmitir el agua y el aire. Mientras más permeable sea el suelo, mayor será la filtración. Finalmente, la percolación es cuando el agua aplicada sobre la superficie del suelo se infiltra, pasa poco a poco hacia capas más profundas.

2.3 Relación planta- agua- clima

El conocimiento de esta relación es importante porque nos permite conocer la cantidad de agua que requiere un cultivo durante el ciclo vegetativo. Este requerimiento conocido como evapotranspiración, está en función de factores meteorológicos y del ciclo vegetativo del cultivo.

El cultivo inmediatamente después de un riego está en condiciones de evaporar tanta agua como sea posible dependiendo de la cantidad de energía disponible. El proceso de evapotranspiración está limitado a factores climáticos, la disponibilidad de agua en el suelo, el sistema radicular, el índice de área foliar y los factores del cultivo (Jácome, 2009).

2.3.1 Evapotranspiración

De acuerdo con Fila (2017), la suma de la evaporación desde el suelo y la transpiración de las plantas se denominan evapotranspiración. Dentro de la evapotranspiración se encuentra:

- a. Evapotranspiración potencial (ETP): es la máxima evapotranspiración posible bajo las condiciones existentes, cuando el suelo está abundantemente provisto de agua (colmada su capacidad de campo) y cubierto con una cobertura vegetal completa. Este parámetro se calcula.
- b. Evapotranspiración real (ETR): es la evapotranspiración que ocurre en condiciones reales, teniendo en cuenta que no siempre la cobertura vegetal es completa ni el suelo se encuentra en estado de saturación.

2.3.2 El método de Thornthwaite

Este método fue desarrollado a partir de datos de precipitación y escorrentía para diversas cuencas de drenaje. El resultado es básicamente una relación empírica entre la ETP y la temperatura del aire. A pesar de la simplicidad y las limitaciones obvias del método, funciona bien para las regiones húmedas. No es necesariamente el método más exacto ni tampoco el que tiene las bases teóricas más profundas. Por el contrario, probablemente esas características corresponden a aquellas que involucran flujo de vapor y balance de calor.

Los métodos que incluyen flujo de vapor y balance de calor requieren datos meteorológicos que, o no son medidos o son observados en pocos puntos, muy espaciados. Por el contrario, la fórmula empírica de Thornthwaite puede ser usada para cualquier zona en la cual se registran la Temperatura máxima y Temperatura mínima diarias (Fila, 2017).

2.3.3 Balance Hídrico

El conocimiento de la evaporación potencial de un lugar, del que se tienen registros de precipitación, permite establecer su balance hídrico anual. En esta forma es posible conocer la cantidad de agua que realmente se evapora desde el suelo y transpiran las plantas en ese lugar, la cantidad de agua almacenada por el suelo y la que se pierde por derrame superficial y profundo.

Como la evapotranspiración y la precipitación son dos elementos climáticos independientes, su marcha anual difícilmente coincide en un mismo punto de la tierra, por lo que en algunos lugares existen períodos en los cuales la necesidad de agua está ampliamente satisfecha por las lluvias y otros en los que se carece de las cantidades de agua requerida. De

esta manera, habrá meses con agua suficiente y meses en que se registre exceso o deficiencia de agua en forma manifiesta. También pueden ocurrir casos extremos en que durante todo el año las precipitaciones sobrepasen las necesidades de agua o viceversa (Fila, 2017).

2.4 Riego

El riego consiste en la aplicación de agua a los cultivos por intervención humana. Existen diferentes sistemas de riego, pero para efectos del presente trabajo se contemplan sólo dos: riego por goteo y riego por aspersión.

2.4.1 Riego por aspersión

De acuerdo con Villalobos (2015), el riego por aspersión consiste en aplicar el agua al suelo simulando la lluvia. El agua es aplicada a presión (a alta velocidad). Se puede aplicar ya sea por gravedad o mediante una estación de bombeo. Por gravedad, se tiene la ventaja de que no hay costo de energía, mientras que mediante el bombeo se requiere realizar un balance de diámetros y costo de la energía.

2.4.1.1 Ventajas del Riego por Aspersión

Las principales ventajas que se le dan al riego por aspersión son:

- a) Alta uniformidad de aplicación de agua.
- b) Eficiencia de riego alta.
- c) Se puede aplicar fertilizante con el agua de riego.
- d) Aplicable a cualquier textura del suelo.
- e) No requiere movimientos de tierra, o sea, no hay que llevar a cabo nivelación, el movimiento de tierra que se da es solo para enterrar la tubería.
- f) Requiere poco tiempo para su implementación.
- g) El equipo, si es móvil, se puede utilizar en otras áreas.
- h) Es fácil y factible de automatizar.

2.4.1.2 Desventajas

Las principales desventajas que se atribuyen a los sistemas de riego por aspersión son:

- a) Alto costo inicial, se tiene costo de tubería, accesorios, etc.
- b) Hay distorsiones en condiciones de viento fuerte.
- c) Puede dar origen a la proliferación de enfermedades fungosas.
- d) Si la gota es muy gruesa puede causar un sellamiento al suelo y causar daños mecánicos a flores y frutos.
- e) El agua debe tener cierta calidad, ya que las boquillas se pueden atascar.
- f) Se requiere de alta energía para su funcionamiento.
- g) Cuando no se tiene un caudal continuo, su uso no es el adecuado.
- h) En suelos de muy bajas velocidades de infiltración, se dificulta su uso.
- i) Si las líneas principales y laterales no se entierran, pueden dificultar las labores agrícolas.

Para lograr humedecer el suelo a la profundidad deseada mediante el riego por aspersión, éste debe estar dotado de una serie de elementos básicos tales como: fuente de agua con todas sus características (ubicación, calidad, costo y caudal), fuente de energía, tuberías (material a elegir), y otros materiales.

Como se mencionó anteriormente en las desventajas del riego por aspersión, el factor más influyente la mayoría de veces es el viento. Es por esto, que cuando se realiza el diseño se debe de tomar en cuenta la velocidad del mismo, y con ellos seleccionar los espaciamientos entre aspersores idóneos, para que exista el traslape y la uniformidad de aplicación adecuados.

Es importante tomar en cuenta que para obtener una buena uniformidad es necesario mantener constante la presión a la cual se ha diseñado. Como lo recalca así Villalobos (2015), si la presión está por debajo de la diseñada se obtiene una menor cobertura y un mayor diámetro de la gota. Por el contrario, si la presión es excesiva se tendrá mayor cobertura, gotas de tamaño muy fino y pérdidas por evaporación y viento.

2.4.1.3 Distribución de la tubería

Dentro de los parámetros a utilizar cuando se realiza un diseño de riego, se encuentra la distribución de la tubería, la cual, se debe de colocar en lo posible la tubería principal en el sentido de la máxima pendiente, esta hace que la tubería lateral tenga presiones más

uniformes. La tubería secundaria se debe de trazar perpendicular a la principal y en lo posible a nivel, es decir sin diferencia de altura entre el comienzo y final de esta. En lo posible la tubería secundaria se prefiere colocar perpendicular a la dirección del viento, sin embargo, el criterio que prevalece cuando se tiene condiciones diferentes de dirección y perpendicularidad a la principal, es este último.

2.4.1.4 Datos necesarios para el diseño

Finalmente, Villalobos (2015) establece, que, para llevar a cabo el diseño de un proyecto de riego por aspersion, se debe de contar previamente con cierta información básica; la misma que para diseñar un proyecto de riego de superficie:

- a) Plano topográfico
- b) Tipo de suelo
- c) Cultivo
- d) Fuente de abastecimiento de agua.
- e) Condiciones climáticas de la zona.

2.4.2 Riego por Goteo

Villalobos (2015), define riego por goteo como la aplicación de agua calculada al suelo, a través de goteros. Estos se encuentran localizados a lo largo de las tuberías. A diferencia de la mayoría de sistemas de riego, el riego por goteo sólo humedece una parte del suelo, mientras que los demás sistemas humedecen todo el suelo.

En riego por goteo el agua es localizada en un punto, de tal forma que el movimiento es tanto vertical como horizontal. Como se sabe, el movimiento del agua en el suelo va a depender de las características de éste, teniéndose que, en riego por goteo, se pueden presentar 3 tipos de bulbos de humedecimiento en el perfil del suelo:

- a) Suelo Arcilloso: Cuando se tiene un suelo pesado, el movimiento del agua, ocurre más rápido en forma horizontal que en forma vertical

- b) Suelo Arenoso: En un suelo arenoso el bulbo de humedecimiento que se forma adquiere un mayor valor en el sentido vertical, que en el sentido horizontal.
- c) Suelo Franco: Cuando se tiene un suelo franco; el movimiento horizontal del agua es aproximadamente igual al movimiento vertical.

2.4.2.1 Ventajas del riego por goteo

- a) Ahorro en el consumo de agua
- b) Se pueden aplicar agroquímicos con el sistema
- c) Adaptable a todo tipo de suelo y clima
- d) Disminución de maleza
- e) Ahorro de Mano de Obra
- f) Ausencia de fenómenos erosivos
- g) Adaptación a diferentes cultivos
- h) Baja presión de operación
- i) Reducción de enfermedades fungosas
- j) Mayor aprovechamiento de espacio físico
- k) No afecta las labores agrícolas

2.4.2.2 Desventajas de riego por goteo

- a) Alto costo inicial
- b) Sistema Fijo
- c) Obstrucción de goteros
- d) Afectado por roedores
- e) Peligro de perder cosecha

2.4.2.3 Componentes de un equipo de riego por goteo

Los componentes de un sistema de riego por goteo son:

- a) Cabezal de riego y componentes de control hidráulico.
- b) Red de distribución.
- c) Goteros o emisores.
- d) Dispositivos para estimar necesidades de riego.

2.5 Tubería de Conducción

2.5.1 Válvulas

El diseño de redes hidráulicas presurizadas para infraestructuras de riego no se limita a la elección óptima del diámetro y material de la red de conducciones, a las estaciones de bombeo o a las dimensiones y cotas de los depósitos. Es necesario garantizar que los sistemas van a funcionar bajo cualquier circunstancia y en las condiciones específicas que se requieran. Para lograrlo, se precisan dispositivos precisos y eficientes, que permiten regular y controlar las redes de distribución (Regaber, 2018).

De acuerdo con Regaber (2018), existen tres tipos de válvulas hidráulicas principales:

2.5.1.1 Válvulas de control direccional

Se utiliza para controlar y cambiar la dirección del flujo de fluido en el sistema hidráulico llama válvula de control direccional, incluyendo la válvula de retención, válvula de llenado previo, válvula direccional solenoide hidráulico, válvulas direccionales de carrete hidráulicas, la válvula de cierre, etc.

2.5.1.2 Válvulas de control de presión

Se utiliza para controlar y ajustar la presión de fluido en el sistema hidráulico.

2.5.1.3 Válvulas de control de flujo

Se utiliza para controlar y ajustar la velocidad de flujo de fluido. Se denominan válvulas de control de flujo.

2.5.2 Filtrado

Uno de los principales problemas que se presenta en los sistemas de riego tanto de riego por goteo como por aspersión, es la obstrucción que puede presentarse en las líneas de tuberías y los emisores.

2.5.2.1 Filtros de anillos

De acuerdo con Mapama (2017), el filtro de anillos es un tipo de filtro que realiza filtración en profundidad, y cuyo elemento filtrante está compuesto de una pila de anillos ranurados o con superficie rugosa, entre cuyas caras quedan retenidas las partículas contaminantes. Tienen un funcionamiento especialmente positivo frente a algas y partículas orgánicas.

2.5.2.2 Filtros de malla

Aunado a lo anterior Mapama (2017), determina que es un tipo de filtro que ofrece filtración en superficie, es decir, las partículas contaminantes quedan retenidas en la superficie de la malla, que es en sí, el elemento que realiza propiamente la filtración. Para aguas con sólidos en suspensión, como las procedentes de pozos, por ejemplo, presentan una gran eficiencia de filtrado.

2.5.3 Zanjas para la instalación de tuberías

Las tuberías se instalan sobre la superficie o enterradas, dependiendo de la topografía, clase de tubería y tipo de terreno.

Para obtener la máxima protección de las tuberías se recomienda que éstas se instalen en zanja. Además de la protección contra el paso de vehículos, el tipo de instalación que se adopte, debe considerar otros factores relacionados con la protección de la línea, como son el deterioro o maltrato de animales, la exposición a los rayos solares, variación de la temperatura, etc. (López Cualla, 2010).

2.5.3 Plantilla o cama

Deberá colocarse una cama de material seleccionado libre de piedras, para el asiento total de la tubería, de tal forma que no se provoquen esfuerzos adicionales a ésta.

La plantilla o cama consiste en un piso de material fino, colocado sobre el fondo de la zanja, que previamente ha sido arreglado con la concavidad necesaria para ajustarse a la superficie externa inferior de la tubería, en un ancho cuando menos igual al 60% de su diámetro exterior. El resto de la tubería debe ser cubierto hasta una altura de 30 cm arriba de su corona con material granular fino colocado a mano y compactado cuidadosamente con equipo manual y humedad óptima, llenando todos los espacios libres abajo y adyacentes a la tubería. Este relleno se hace en capas que no excedan de 15 cm de espesor. El resto de la zanja podrá ser relleno a volteo, o compactado según sea el caso: si la tubería se instala en zona urbana con tránsito vehicular intenso todo el relleno será compactado, y si se instala en zonas con poco tránsito vehicular o rurales será a volteo (CONAGUA, 2007).

2.6 Bombeo

Las bombas son dispositivos mecánicos diseñados para transportar agua de un lugar a otro aplicando cierta presión y velocidad, gracias a esto se logra transportar el agua (para este caso) en contra de la gravedad

2.6.1 Parámetros para hacer la selección de una bomba.

2.6.1.1 Curvas Características para seleccionar una bomba

Según lo citado por Hidro Environment (2018), las curvas de las bombas son presentaciones gráficas que relacionan la presión, el caudal y el rendimiento de las mismas; en algunos casos se agrega información sobre la potencia requerida y la altura de succión.

2.6.1.2 Curva Presión- Caudal

En esta curva se representa en las ordenadas la presión total que genera la bomba y en el eje de las abscisas el gasto, las unidades de presión generalmente son metros de columna de agua como libra por pulgada² (psi) y las de caudal litros por minuto (L/min), galones por minuto (gpm) y metros cúbicos por minuto (m³/min). Esta curva tiene pendiente negativa, indicando la relación inversa que existe entre presión y caudal. Estas curvas se presentan para diferentes diámetros de impulsor.

2.6.1.3 Curva Gasto- Potencia.

Esta curva relaciona el caudal elevado con la potencia que consume la bomba. La menor potencia se consume con el gasto mínimo o nulo, lo que significa cerrar la válvula de salida. En grandes equipos de bombeo, para disminuir el consumo de energía los equipos parten con las válvulas cerradas y abriéndolas de a poco.

2.6.1.4 Curvas de Eficiencia

Las curvas de eficiencia normalmente se trazan sobre las curvas de Caudal potencia, naturalmente que esta curva es muy importante ya que a mayor eficiencia significa menor consumo de combustible o energía eléctrica para conseguir un mismo efecto (HYDRO ENVIRONMENT, 2018).

2.7 Análisis Ambiental

De acuerdo con Ecolan (2008), el Medio Ambiente tiene que tomarse en cuenta como un factor más en el desarrollo de un proyecto. En el caso de diseño de productos, un producto que no considere el factor medioambiental no se puede considerar un producto de calidad.

El análisis ambiental ayuda a conocer las consecuencias ambientales del proyecto en sus primeras etapas, para así poder tomar medidas que eliminen, minimicen o compensen los impactos adversos.

2.8 Análisis Económico

La evaluación de proyectos de inversión tiene como finalidad, analizar la conveniencia o inconveniencia en el uso de recursos destinados a la ejecución de un proyecto, dirigido a la solución de un problema o a la satisfacción de necesidades.

3. METODOLOGÍA

La metodología que se utilizó para desarrollar el proyecto se detalla a continuación:

3.1 Recursos utilizados

- a. Software especializado para análisis de agrimensura y obras civiles (SEAOC):
AutoCAD 2017
- b. Software especializado para integración de Sistemas de Información Geográfica (GIS): QGIS
- c. Software especializado para la obtención de curvas de nivel, Surfer 2012.
- d. GPS marca GARMIN
- e. Estación total, SOKKIA
- f. Software para calendarización de proyectos GANTTER.

3.2 Topografía

Se realizó un levantamiento topográfico con estación total, este lleva una trayectoria lineal de manera que trace la dirección de la tubería, se tomaron puntos en cada cambio de pendiente o en cada variación de la calle, además se levantó la parcela que se le realizará los diseños de riego por goteo y por aspersión. Posteriormente se realizó el procesamiento de datos para obtener el perfil del terreno con ayuda del software Surfer 12; este perfil permite identificar las zonas más críticas de presión y los desniveles a lo largo del terreno. Así como elaborar el plano de curvas de nivel.

Adicionalmente, se tomaron puntos de alta precisión en GPS en cada estación del levantamiento con el fin de tener información georreferenciada respectiva al levantamiento.

3.3 Propiedades de suelo

Para este apartado, el CICA FÉ cuenta con todos los estudios de suelos, por lo cual fueron facilitados para la elaboración de los diseños del presente proyecto.

3.4 Datos Climatológicos

3.4.1 Evapotranspiración

El método utilizado es el de Thornthwaite, la fórmula empírica puede ser usada para cualquier zona en la cual se registran la Temperatura máxima y Temperatura mínima diarias. La fórmula de Thornthwaite se representa con la ecuación 1, la cual utiliza valores generados a partir de las ecuaciones 2 y 3:

$$ETP = 16 (10T/I)^a \dots (1)$$

Donde:

ETP: evapotranspiración en mm.

I: índice calórico, constante para la región dada y es la suma de 12 índices mensuales i , donde i es función de la temperatura media normal mensual

$$i: (t/5)^{1,514} \dots (2)$$

T: temperatura media mensual (no normal) en °C a: exponente empírico, función de I

$$a = 6,75 \cdot 10^{-7} I^3 - 7,71 \cdot 10^{-5} I^2 + 1,79 \cdot 10^{-2} I + 0,49239 \dots (3)$$

3.4.2 Balance Hidrológico

Para este caso se calcula hasta el déficit porque es el dato de importancia para la aplicación del riego en el café.

- a. Variación de las reservas de humedad en el suelo (aporte o extracción de agua en el suelo): Se obtiene restando la evapotranspiración corregida de la precipitación y se calcula para los meses que estén después de un periodo de sequía e inicia en el mes donde la precipitación es mayor que la evapotranspiración.
- b. Reserva de agua disponible (capacidad de agua en el suelo): Se calcula como la reserva del mes anterior más precipitación menos evapotranspiración a partir del mes donde la precipitación es mayor que la evapotranspiración.
- c. Evapotranspiración efectiva ocurrida (lámina realmente evaporada)
 - Cuando $P < e$, y hay reserva de agua disponible en el suelo para satisfacer toda la evapotranspiración, es numéricamente igual a la evapotranspiración.

- Cuando $P < e$, y hay reserva de agua disponible en el suelo, pero no para satisfacer toda la evapotranspiración, es igual a la precipitación más la reserva de agua disponible.
 - Cuando $P < e$, y hay no reserva de agua disponible en el suelo, es igual a la precipitación.
- d. Déficit: Evapotranspiración corregida menos la evapotranspiración efectiva.

3.5 Diseño de Riego por Goteo

3.5.1 Diseño agronómico para riego por goteo

Se selecciona un gotero, el cual cumpla los requerimientos solicitados por la empresa y que se ajuste a las condiciones y tipo de cultivo que presente la parcela a diseñar. Para el presente proyecto el criterio a utilizar es la practicidad de uso de instalación, presión baja y caudales altos.

Una vez seleccionado el gotero, se determina el porcentaje de suelo humedecido (PAR), para el cual se utiliza la textura del suelo, cantidad de laterales por cama, caudal del gotero a utilizar y las distancias entre goteros y laterales.

Luego se debe obtener la lámina neta con la ecuación 4.

$$Ln = \left(\frac{CC - PMP}{100} \right) \times Pe \times Prof \times Agot. \times PAR \dots (4)$$

Donde:

Ln = Lámina neta (mm)

CC = Capacidad de campo (%)

PMP = Punto de marchitez permanente (%)

Pe = Peso específico aparente (g/cm^3)

Prof = Profundidad de raíces (mm)

Agot. = Agotamiento (%)

PAR = Porcentaje de suelo humedecido (%)

La frecuencia de riego se calcula mediante la siguiente ecuación 5.

$$Fr = \frac{Ln}{Etrg} \dots (5)$$

Donde:

Fr = Frecuencia de riego (días)

Ln = Lámina neta (mm)

Etrg = Evapotranspiración real para goteo (mm/día)

Consecuentemente la evapotranspiración real para goteo se obtiene con la ecuación 6:

$$Etrg = Etr \times K \dots (6)$$

Donde;

Etrg = Evapotranspiración real para goteo (mm/día)

Etr = Evapotranspiración real (mm/día)

K = Coeficiente de localización

El coeficiente de localización K, se obtiene de la siguiente manera:

$$A_{total} = Sr \times Sp \dots (7)$$

Donde:

Sr = Espaciamiento entre hileras (m)

Sp = Espaciamiento entre plantas (m)

$$A_{sombreada} = Sombra \times Sp \dots (8)$$

$$A = \text{área sombreada} / \text{área total} \dots (9)$$

Luego se aplican los tres métodos para determinar K, y se calcula el promedio para obtener un valor eficaz.

$$- K = A + 0,5 (1 - A) \dots (10)$$

$$- K = 1,34 \times A \dots (11)$$

$$- K = 0,1 + A \dots (12)$$

Con el valor obtenido de Etrg y Fr, se recalcula la lámina neta con la ecuación 13.

$$Ln = Fr \times Etrg \dots (13)$$

Fr = Frecuencia de riego (días)

Ln = Lámina neta (mm)

Etrg = Evapotranspiración real para goteo (mm/día)

Seguidamente se calcula la eficiencia de riego con la ecuación 14, en la cual se debe de asumir un porcentaje de coeficiente de uniformidad y el valor de TR mediante el Anexo 1, luego la lámina bruta se obtiene con la ecuación 15.

$$Ef = CU \times TR \dots (14)$$

Donde:

Ef = Eficiencia de riego (%)

CU = Coeficiente de uniformidad (%)

TR = Relación de transpiración

$$Lb = \frac{Ln}{Ef} \dots (15)$$

Donde:

Lb = Lámina bruta (mm)

Ln = Lámina neta (mm)

Ef = Eficiencia de riego (%)

El tiempo de riego se determinó mediante la ecuación 16.

$$Tr = \frac{Lb \times Sr \times Sg}{q \text{ gotero} \times \# \text{ Plantas gotero}} \dots (16)$$

Donde:

Tr = Tiempo de riego (h)

Lb = Lámina bruta (mm)

Sr = Espaciamiento entre laterales (m)

Sg = Espaciamiento entre goteros (m)

q gotero = Caudal del gotero (l/h)

Para obtener el número de divisiones se tomó el ciclo de riego igual a la frecuencia, ecuación 17.

$$N = \frac{(Cr \times Hr \text{ efectivas de riego})}{Tr} \dots (17)$$

Donde:

N = Número de divisiones

Cr = Ciclo de riego (días)

Hr efectivas de riego = Horas efectivas de riego (h)

Tr = Tiempo de riego (h)

Seguidamente se determina el área de cada división con la ecuación 18.

$$Au = \frac{\text{Área total finca}}{N} \dots (18)$$

Donde:

Au = Área de cada división (m²)

N = Número de divisiones

Para el diseño hidráulico primeramente se selecciona la tubería de goteros a utilizar en el diseño, para conocer los valores de caudal, presión de operación y el diámetro interno. Luego se comienza calculando el caudal de sistema con la ecuación 19.

$$Q_{sistema} = \frac{\text{Área cada división}}{Sg \times Sr \times q_{gotero} \times 10} \dots (19)$$

Donde:

Q sistema = Caudal del sistema (m³/h)

Sg = Espaciamiento entre goteros (m)

Sr = Espaciamiento entre laterales (m)

q gotero = Caudal del gotero (l/h)

3.5.2 Diseño hidráulico para riego por goteo

Para el cálculo de la longitud del lateral se debe conocer por medio del plano topográfico la longitud del lateral más largo, por lo que se sigue el siguiente procedimiento con las ecuaciones 20 y 21.

$$N^{\circ} \text{ goteros} = \frac{\text{Long.lateral}}{Sg} \dots (20)$$

Donde:

N° = Número de goteros

Long. del lateral = Longitud del lateral (m)

Sg = Espaciamiento entre goteros (m)

El resultado se debe de redondear; luego de obtener la cantidad de goteros se calcula la longitud del lateral.

$$\text{Long. Lateral} = \text{Esp. goteros} \times (n - 1) \dots (21)$$

Donde:

Long. Lateral = Longitud del lateral (m)

Esp. goteros = Espaciamiento entre goteros (m)

n = Cantidad de goteros

Luego se calcula el caudal del lateral con la ecuación 22 y el número total de laterales del diseño con la ecuación 23.

$$Q \text{ lateral} = Q \text{ gotero} \times N^\circ \text{ goteros} \dots (22)$$

Donde:

Q lateral = Caudal del lateral (m^3/h)

Q gotero = Caudal del gotero (l/h)

N° goteros = Número de goteros

$$N^\circ \text{ laterales} = \frac{L}{Sr} \dots (23)$$

Donde:

N° laterales = Número de laterales

L = Longitud de la múltiple según plano topográfico (m)

Sr = Espaciamiento entre laterales (m)

Para obtener las pérdidas primarias en el lateral primeramente se calcula el factor de corrección (F) despejándola de la ecuación 24 y utilizando los datos del catálogo del gotero de pérdida para una longitud máxima. Con este valor, y con los valores obtenidos con las ecuaciones anteriores, se calculan las pérdidas primarias del lateral igualmente con la ecuación 23.

$$Hf \text{ lat.} = (1,131 \times 10^9) \times \left(\frac{Q}{C}\right)^{1,852} \times (D)^{-4,87} \times L \times F \dots (24)$$

Donde:

Hf lat. = Pérdidas primarias en el lateral (m.c.a.)

Q = Caudal del lateral (m³/h)

D = Diámetro de la tubería (mm)

C = Coeficiente de Hazen Williams según el tipo de material

L = Longitud de la tubería (m)

F = Factor de corrección que depende de las salidas de la tubería

El caudal de la múltiple se obtiene multiplicando el caudal del lateral por el número total de laterales, el diámetro en la múltiple se calcula con el método de la velocidad máxima permisiva, ya que como se trata de un diseño con goteros auto-compensados, se calcula de la misma manera que una tubería principal. Finalmente se calculan las pérdidas por fricción con la ecuación de Hazen William.

Presiones

Para el caso de las presiones, al tratarse de goteros auto-compensados, se debe suplir la presión mínima del gotero al aspersor más alejado, por tanto, la presión distal es la mínima presión del gotero, y partir de esta se calcula la presión a la entrada utilizando el delta de z y las pérdidas por fricción del lateral y la múltiple.

3.6 Diseño de Riego por Aspersión

3.6.1 Diseño agronómico para riego por aspersión

Se debe obtener la lámina neta utilizando la ecuación 25.

$$L_n = (CC - PMP)/100 \times \rho_{ap} \times Prof \times \%Agt. \dots (25)$$

Donde:

L_n = Lámina neta (mm)

CC = Capacidad de campo (%)

PMP = Punto de marchitez permanente (%)

ρ_{ap} = Peso específico aparente (g/cm³)

Prof = Profundidad de raíces(mm)

Agt. = Agotamiento (%)

Seguidamente se calculará la evapotranspiración real con la ecuación 26 y la frecuencia de riego con la ecuación 27.

$$ETr = ETo \times Kc \dots (26)$$

Donde:

ETr = Evapotranspiración real (mm/día)

ETo = Evapotranspiración potencial (mm/día)

Kc = Coeficiente del cultivo

$$Fr = Ln / ETr \dots (27)$$

Donde:

Fr = Frecuencia de riego (días)

Ln = Lámina neta (mm)

ETr = Evapotranspiración real (mm/día)

Se debe corregir la lámina neta, recalculando con la ecuación 27 Después obtener la lámina bruta con la ecuación 28.

$$Lb = Ln / Ef \dots (28)$$

Donde:

Lb = Lámina bruta (mm)

Ln = Lámina neta (mm)

Ef = Eficiencia

Utilizando los datos obtenidos de la prueba de infiltración se calculó la infiltración básica del terreno. Este dato debe multiplicarse por el factor de pendiente tal y como se observa en la ecuación 29.

$$Imax = Ib * F \dots (29)$$

Donde:

Imax = Infiltración máxima (mm/hr)

Ib = Infiltración básica (mm/hr)

F = Factor de corrección debido a la pendiente

En la ecuación 30 se muestra el cálculo del caudal del aspersor para una infiltración máxima y espaciamientos determinados.

$$Qmax = Imax \times EA \times EL \dots (30)$$

Donde:

Q_{max} = Caudal máximo para cada aspersor (m^3/hr)

I_{max} = Infiltración máxima (m^3/hr)

EA = Espaciamiento entre laterales (m)

EL = Espaciamiento entre laterales (m)

Con el caudal máximo y los catálogos de aspersores se procedió a elegir el aspersor que trabajara a menor presión y caudal parecido al máximo y menor precio.

Con el aspersor elegido se calcula el grado de aplicación a través de la ecuación 31:

$$I = Q_{max} / (EA \times EL) \times 1000 \dots (31)$$

Donde:

I = Grado de aplicación (mm/h)

Q_{max} = Caudal máximo para cada aspersor (m^3/h)

EA = Espaciamiento entre aspersores (m)

EL = Espaciamiento entre laterales (m)

El tiempo de riego se obtiene de dividir la lámina bruta entre el grado de aplicación. Después de esto se calculan el número de laterales a utilizar calculando primeramente el número de posiciones con la ecuación 32, luego el número de posiciones por día por lateral a través de la ecuación 33 y finalmente el número de laterales con la ecuación 34.

$$N = (\text{Long Lateral} \times n) / EL \dots (32)$$

Donde:

N = Máximo número de posiciones

Long lateral = Longitud del lateral (m)

N = Tiene un valor basado en la posición de la tubería principal con respecto al área de trabajo.

EL = Espaciamiento entre laterales (m)

$$N/p/l/día = \text{Horas de trabajo} / (Tr + Tc) \dots (33)$$

Donde:

$N/p/l/día$ = Número de posiciones por día por lateral

Horas de trabajo = Horas de trabajo por día (h)

T_r = Tiempo de riego (h)

T_c = Tiempo de cambio (h)

$$NI = N / (N/p/l/día \times Cr) \dots (34)$$

Donde:

NI = Número de laterales a utilizar

N = Máximo número de posiciones

$N/p/l/día$ = Número de posiciones por día por lateral

Cr = Ciclo de riego (h)

Además, es necesario calcular el caudal mínimo que necesita el sistema para regar el área como se observa en la ecuación 35.

$$Q_{min} = (A \times L_b) / (HrsEfec \times Cr \times 10) \dots (35)$$

Donde:

Q_{min} = Caudal mínimo para regar toda el área (m^3/h)

A = Área total (ha)

HrsEfec = Horas efectivas de riego (h)

Cr = Ciclo de riego (h)

Pérdida admisible

La pérdida admisible se calcula utilizando la ecuación 36:

$$\text{Pérdida admisible} = 0,2 \times P_0 - \Delta Z \dots (36)$$

Donde:

P_0 = presión de operación

ΔZ = diferencia de altura

El cálculo de la presión a la entrada se obtiene con la ecuación 37.

$$P_e = P_0 + \frac{3}{4} hf + h_{el} + 0,38 \Delta Z \dots (37)$$

La presión distal se determina de la siguiente manera:

$$P_d = P_e - hf - h_{el} - \Delta Z \dots (38)$$

3.7 Diseño de la Tubería de abastecimiento (principal)

3.7.1 Cálculo del diámetro de la tubería

El diámetro de la tubería principal utilizando el método de la velocidad mínima permisible, se obtiene de la siguiente manera:

$$D = \sqrt{\frac{4 * Q}{\pi * V}} \dots (39)$$

Donde:

D= diámetro m

Q= caudal m³/s

V= velocidad en m/s

3.7.2 Cálculo de pérdidas primarias

Para el cálculo de las pérdidas primarias se utilizó la ecuación de Hazen William.

$$Hf = 1,131 \times 10^9 * \left(\frac{Q}{C}\right)^{1,852} * D^{-4,872} * L \dots (40)$$

Donde:

Q: caudal m³/s

C: coeficiente

D: diámetro en mm

L: longitud en m

3.7.3 Pérdidas secundarias

Para este proyecto se calcularon como el cinco por ciento de las pérdidas primarias.

3.8 Carga dinámica de la Bomba

La CDT, es la representación de toda la carga que tendrá que vencer el agua impulsada por una bomba, para llegar al destino deseado, se obtiene con la ecuación 41.

$$CDT = Pe + \Delta Z + \Sigma hf + \frac{V^2}{2 * g} \dots (41)$$

Donde

h = Altura geométrica entre el nivel inferior y el superior del líquido (m)

Σhf = La sumatorio de todas las pérdidas. (m)

V = velocidad en la descarga (m/s)

g= aceleración de la gravedad (m/s²)

3.8 Trazo de la conducción

Tubería principal debe de ir al lado de la carretera, para evitar que las obras interfieran con el tránsito vehicular a lo interno de las instalaciones del ICAFÉ.

3.9 Evaluación Ambiental

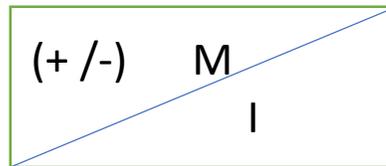
Se aplicó la matriz de Leopold, este es un método cualitativo, en cual se midió las interacciones totales y los efectos susceptibles, como se describe a continuación:

- Identificó cada una de las fases a realizarse en el proyecto
- Reconoció cada una de las fases que se van a realizar en cada etapa
- Se verifico las acciones susceptibles por impacto (ASPI) en cada fase
- Se realizó una lista de aspectos ambientales y descripción de cada uno de los posibles impactos en cada ASPI.
- Además, se consideró de manera el ambiente en dos áreas: la parte natural y social, se requirió separar en estas áreas para manejarlo más fácil, como se presenta a continuación:

Cuadro 1. Clasificación del ambiente. Fuente: (Arboleda, 2018)

MEDIO	SISTEMA	COMPONENTE O DIMENSIÓN
NATURAL	Físico o abiótico	Suelos Agua Aire
SOCIAL	Antrópico	Económico

Se realizó la evaluación individual de las interacciones, en cual se le asignó a cada una magnitud e importancia, de la siguiente manera:



Donde

Clase: (+) es positivo y (-) es negativo

M: Magnitud

I: Importancia

1. Posteriormente se sumaron las filas y luego las columnas, para realizar una suma respecto al número de interacciones que se tenía.
2. Por último, se debe hacer un análisis de las acciones ambientales que causaron un mayor impacto y a su vez, los factores ambientales que reciben mayor impacto.
3. Seguidamente, un plan de mejora para los efectos negativos, causas, así como la forma de mitigación ante los impactos ocasionados.

3.10 Aspecto Social

El análisis social se realizó a partir de lo observado en las instalaciones del CICAPE.

3.11 Ámbito Económico

Se establecieron los flujos de caja anuales y se aplicaron los índices financieros presentados a continuación:

- Período de recuperación
- Valor actual neto
- Índice de rentabilidad
- Tasa interna de retorno.

Se obtuvieron los siguientes parámetros:

- Inversión Inicial: comprende los desembolsos que se realizan al inicio del proyecto, tanto en activos como en capital de trabajo.
- Flujo de Caja: son los flujos que resultan de restar los egresos de los ingresos generados en cada periodo.
- Valor Residual: Es el valor económico estimado de todos los activos al final del horizonte de planeamiento del proyecto.
- Horizonte de Planeamiento: Es el número de años para los cuales se proyectan los flujos de caja.

Obtener el Valor Actual Neto (VAN)

VAN = Valor presente de las entradas de efectivo – inversión inicial

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+k)^t} - CF_0 \dots (42)$$

Donde:

CF_t = Valor presente de las entradas de efectivo

CF_0 = inversión inicial

k = tasa equivalente al costo de capital de la empresa

t = tiempo

Obtener la Tasa Interna de Retorno (TIR)

$$0 = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1 + TIR)^t} - CF_0 \dots (43)$$

*El TIR no es más que la VAN igualada a cero

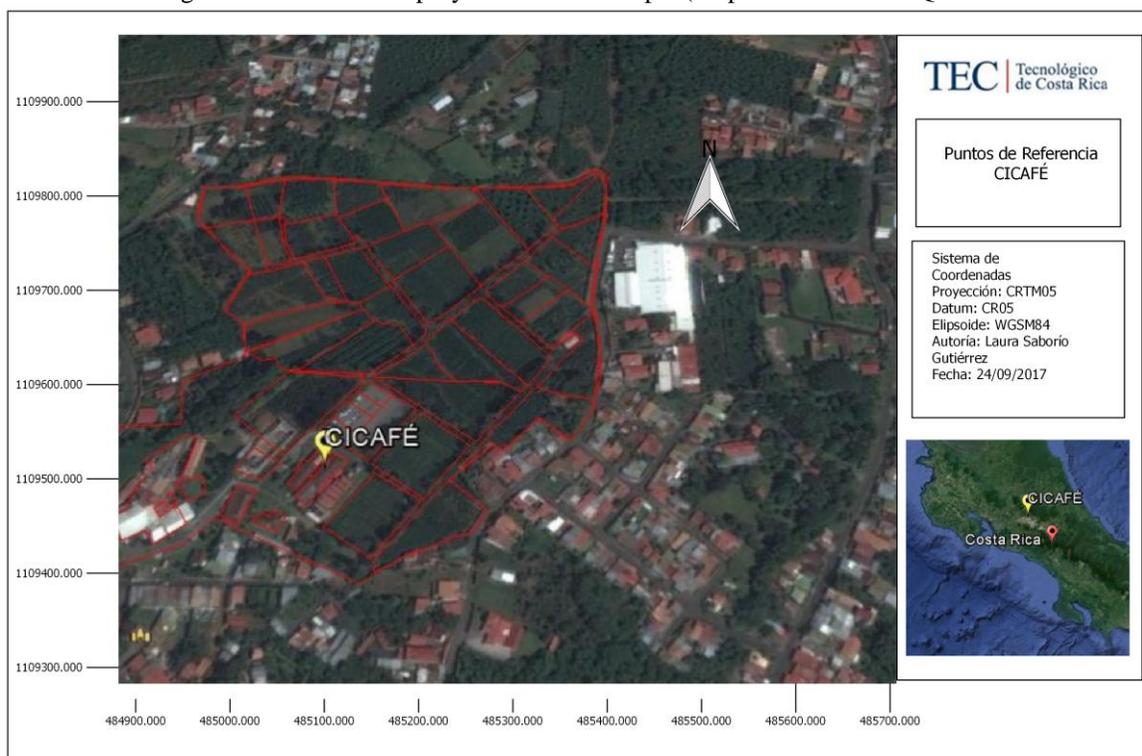
4. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

4.1 Ubicación del Lugar

San Pedro, corresponde al distrito 2 del cantón de Barva en la provincia de Heredia, Costa Rica, se ubica en las coordenadas , latitud $10^{\circ}01'51''N$, longitud $84^{\circ}08'23''O$, y con una elevación de 1,170 msnm. Dentro de dicho distrito se encuentra la sede central del ICAFE incluyendo en dicha edificación al CICAFAE. El área aproximada del ICAFE (sede central) es de 12 Hectáreas (incluyendo áreas de edificaciones).

En la Figura 1, se muestra el mapa de la ubicación del lugar en estudio. Además, se puede observar el fraccionamiento de las parcelas, conformado por cada polígono. Se observa también, una etiqueta la cual representa la localización del edificio destinado al Centro de Investigación del Café de Costa Rica.

Figura 1. Ubicación del proyecto. Fuente: Propia (Mapa elaborado con Quantum



GIS).

4.2 Ubicación de la parcela a diseñar

Como se observó en la Figura 1, el ICAFÉ cuenta con varias parcelas de investigación, el presente trabajo, sólo realiza los sistemas de riego (goteo y aspersión) a la parcela más crítica, la cual corresponde a uno de los extremos.

En la Figura 2, se observa el área de la parcela el cual se diseñó para los dos sistemas de riego.

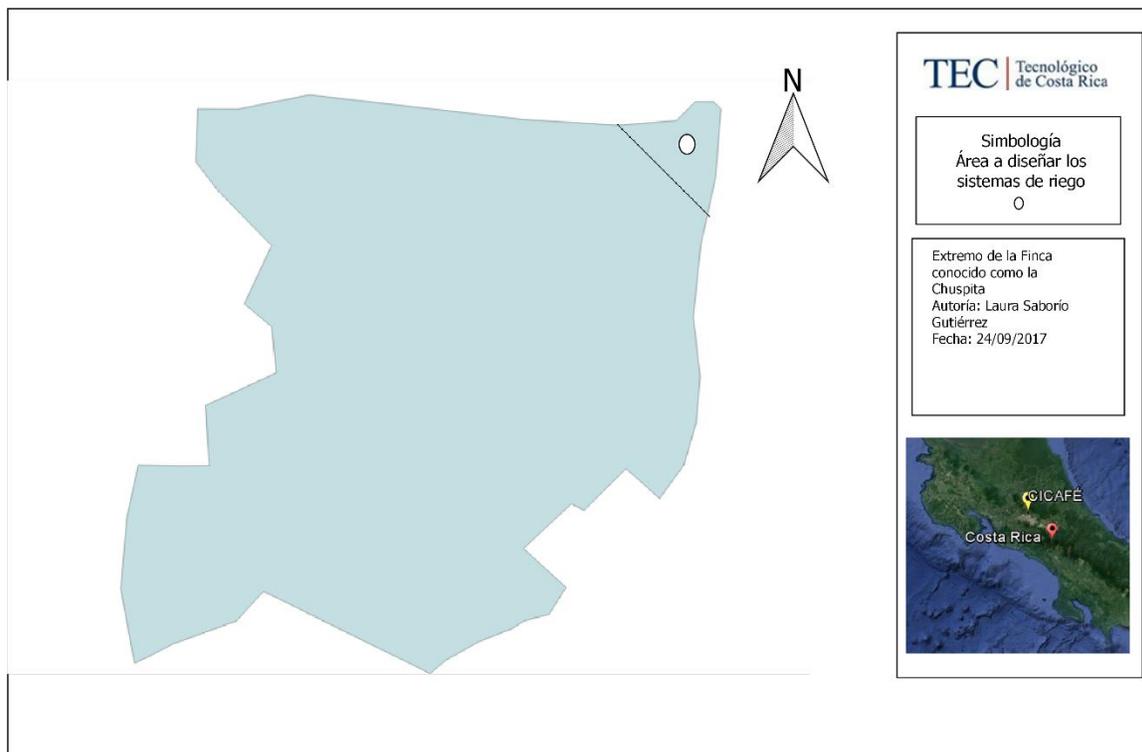


Figura 2. Ubicación de la parcela a diseñar. Fuente: Propia (Mapa elaborado con Quantum GIS)

4.3 Topografía

4.3.1 Topografía del área a diseñar los sistemas de riego

El área de la parcela es de 0,3689 Ha. Con una máxima diferencia de alturas (en el sentido de la mayor pendiente) de 5 metros. Los puntos tomados en dicho levantamiento se observan en el Anexo 2.

En la Figura 3, se presenta el plano de curvas de nivel elaborado.

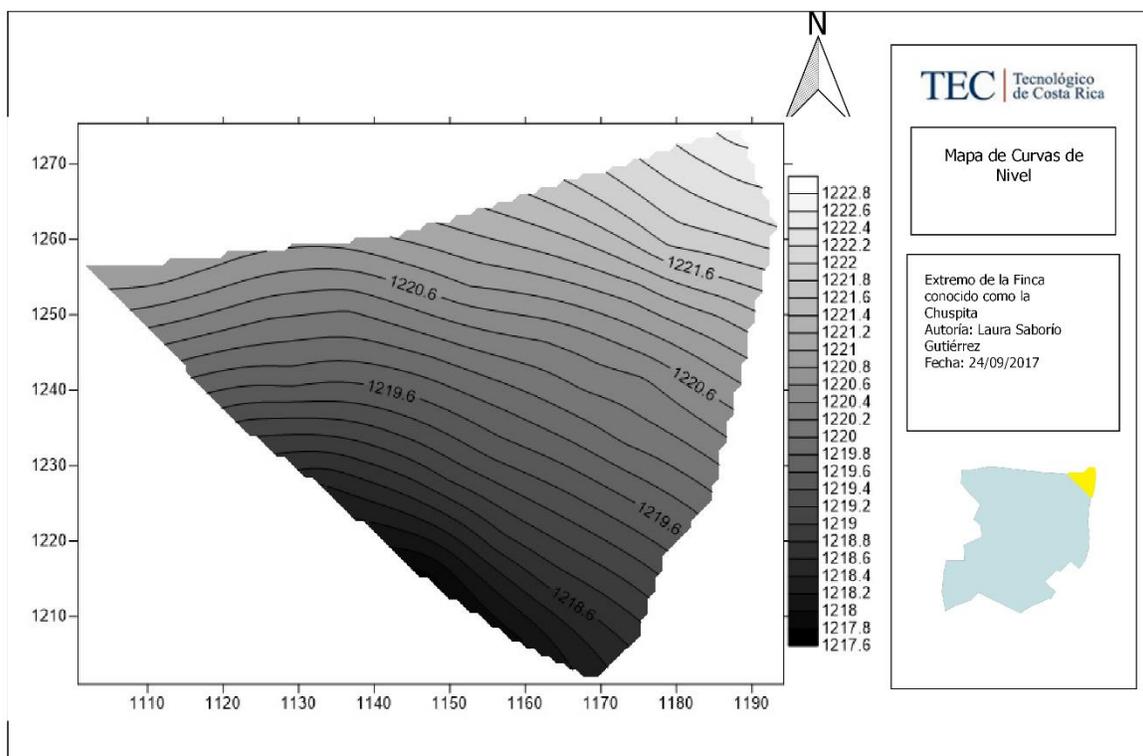


Figura 3. Mapa de curvas de nivel de la parcela a diseñar. Fuente: Propia (Mapa elaborado con Quantum GIS).

4.3.2 Topografía del perfil del terreno para la conducción del agua a todas las parcelas.

En la Figura 4, se presenta el perfil del terreno donde se realizó el levantamiento topográfico, el cual tiene una longitud total de 774 metros, en donde el punto más alto representa la toma de agua de la parcela diseñada.

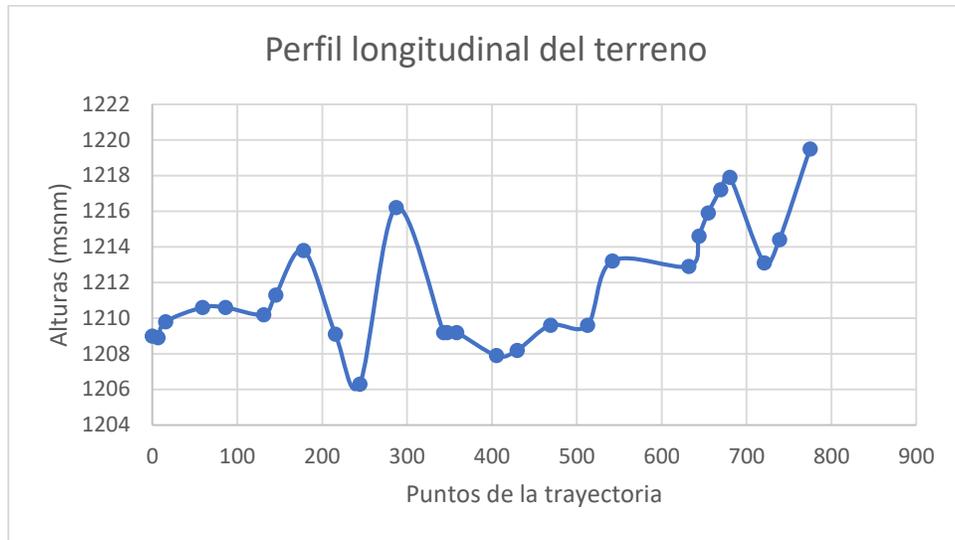


Figura 4. Perfil Longitudinal del terreno. Fuente: Propia (Excel 2016)

4.3 Análisis de los datos edafológicos

En el Cuadro 2, se observa los datos referentes a los horizontes que se ven involucrados en los diseños, de acuerdo con la profundidad radicular efectiva del cultivo del café.

Cuadro 2. Datos de los horizontes de suelo para la profundidad efectiva. Fuente: (ICAFÉ, 2017)

Horizonte	AP	A2	BW1
Profundidad	0-11 cm	11-52 cm	52-104 cm
Humedad gravimétrica (%)	51,67	51,44	55,75
Densidad aparente g/cm ²	1,12	0,90	0,90
Densidad partículas g/cm ²	2,27	2,43	2,63
Textura arena (%)	47,75	34,87	27,75
Textura limos (%)	31,00	31,38	33,50

Textura arcilla (%)	21,25	33,75	38,75
Nombre textural	F	FA	FA
HG 0.33 bar	44,48	52,27	53,02
HG 15 bar	31,64	34,11	37,87
Agua útil	13,20	18,16	15,15
Color tabla munsell	10 YR 2/1.5 Negro	10 YR 2/2 Negro	7.5 YR 2.5/2 Pardo Muy Oscuro
Textura	Franco	Franco Arcilloso	Franco Arcilloso
Estructura	Blocosa subangular fina, muy fina, moderada	Blocosa subangular muy fina y media, moderada	Blocosa subangular media, moderada
Raíces	Abundantes grandes y medias, finas y muy finas	Comunes grandes, medias finas y muy finas	Escasas medias, finas y muy finas
Porosidad (%)	48,34	36,86	33,22
Infiltración base	25,00 mm/hr		

4.3.1 Capacidad de campo y punto de marchitez permanente

Para estimar la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente se utilizaron las ecuaciones mostradas en la sección de metodología:

$$CC = 0,6382 * \% \text{ arcilla} + 0,2845 * \% \text{ limo} + 0,0507 * \% \text{ arena}$$

$$PMP = 0,4897 * CC + 1,1666$$

Obteniendo los siguientes resultados:

Cuadro 3. Capacidad de campo y punto de marchitez permanente, para una profundidad efectiva de 90,00 centímetros.

Horizonte AP			Horizonte A2			Horizonte BW1		
Profundidad	11,00	cm	Profundidad	41,00	cm	Profundidad	38,00	cm
Capacidad de Campo	24,80	%	Capacidad de Campo	32,23	%	Capacidad de Campo	35,67	%
Punto de Marchitez Permanente	13,31	%	Punto de Marchitez Permanente	16,95	%	Punto de Marchitez Permanente	18,63	%

Dado que se utilizaron ecuaciones para el cálculo de estos parámetros, se corroboran dichos resultados con la información del cuadro, (Anexo 3), donde se muestran valores teóricos para CC y PMP a partir de la textura del suelo, en dicho cuadro se menciona, para texturas franco arcillosas valores de CC entre 23% y 31% y para PMP valores entre 11% y 15%, por lo que los resultados obtenidos son similares de los teóricos, sin embargo, al no ser tanta las diferencias se consideran aceptables.

4.4 Análisis de los Datos Climatológicos

4.4.1 Determinación de la Evapotranspiración del cultivo Eto

Utilizando las ecuaciones 1, 2 y 3 se obtuvo una ETo crítica para el mes de marzo de 2,77 mm/día.

En el Cuadro 4, se presentan los datos utilizados para la determinación de la evapotranspiración potencial. Además, los datos fueron recopilados a través de la estación meteorológica con la que cuenta el ICAFÉ en sus instalaciones.

Cuadro 4. Cálculo de la Evapotranspiración por el Método de Thornthwaite.

Mes	T prom °C	I (índice térmico)	Factor f	e mensual (mm)	e mensual corregido (mm)	e diario corregido (mm)	Precipitación
-----	--------------	-----------------------	-------------	-------------------	--------------------------------	-------------------------------	---------------

Enero	20,92	8,73	0,98	75,07	73,57	2,45	5,46
Febrero	21,21	8,91	0,91	77,70	70,71	2,36	22,13
Marzo	21,54	9,13	1,03	80,75	83,18	2,77	24,10
Abril	21,52	9,11	1,03	80,57	82,98	2,76	12,00
Mayo	20,95	8,75	1,08	75,34	81,37	2,71	318,13
Junio	20,63	8,55	1,06	72,50	76,85	2,56	336,96
Julio	20,78	8,64	1,08	73,82	79,73	2,66	185,02
Agosto	20,94	8,74	1,07	75,25	80,52	2,68	276,47
Setiembre	20,24	8,30	1,02	69,12	70,50	2,35	415,93
Octubre	20,07	8,20	1,02	67,68	69,03	2,30	479,60
Noviembre	20,27	8,32	0,98	69,38	67,99	2,27	200,62
Diciembre	20,75	8,62	0,99	73,56	72,82	2,42	47,49
Promedio	20,82	8,67	1,02	74,23	75,77	2,52	193,66
Sumatoria		112,70	a=	2,50			

4.5 Balance Hídrico

Se realizó la matriz de balance hídrico, el cual a partir de la resultante obtenida se puede decir que los meses con déficit hídrico son de enero a abril, siendo abril el mes con un déficit mayor.

En el Cuadro 5, se presenta el déficit calculado a partir de los datos de la estación meteorológica ubicada en las instalaciones del ICAFÉ. Las letras colocadas en la fila superior, representan los meses del año.

Cuadro 5. Cálculo del balance hídrico.

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Temperatura promedio mensual	20,92	21,21	21,54	21,52	20,95	20,63	20,78	20,94	20,24	20,07	20,27	20,75
Índice de Calor	8,73	8,92	9,13	9,11	8,75	8,55	8,64	8,74	8,31	8,20	8,32	8,62
ETP corregido (mm/mes)	73,57	70,71	83,18	82,98	81,37	76,85	79,73	80,52	70,50	69,03	67,99	72,82
Precipitación (mm)	5,46	54,13	24,10	12,00	318,13	336,96	185,02	276,47	415,93	479,60	200,62	47,49
Variación de las reservas de la humedad del suelo (mm)	0,00	0,00	0,00	-70,98	170,98	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	25,33
Reserva de agua disponible (mm)	0,00	0,00	0,00	-70,98	165,78	243,00	105,29	195,95	243,00	243,00	132,63	25,33
ET efectiva (mm)	5,46	54,13	24,10	-58,98	81,37	76,85	79,73	80,52	70,50	69,03	67,99	72,82
Déficit o sequía	68,11	16,58	59,08	141,97	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

4.5 Diseño de Riego por goteo

4.5.1 Diseño Agronómico

Lo primero que se realizó fue la selección del gotero. Es importante primero explicar el porqué de la elección de los goteros. Previamente, analizando la situación del CICALFÉ, se decide elegir goteros auto-compensados. Estos se eligen debido a que, la Institución en su labor de carácter investigativo y no productivo, están sujetos a constantes modificaciones en el manejo, distribución, aplicación, tamaño, orientación, variedad, entre otros, del café para sus parcelas, por lo que, es un hecho que no se va a utilizar el sistema de riego necesariamente en esa parcela, o con los espaciamientos diseñados, es decir: las variables del diseño pueden ser afectadas.

Los goteros auto-compensados, al operar en un rango de presiones, facilitan y se ajusta más a esa variabilidad a la que podría estar sujeta. Ante la premisa explicada, se buscar goteros y se selecciona el gotero Rain Bird DP 1634, el cual puede observarse su hoja técnica en el Anexo 4. En el Cuadro 6, se observa un resumen de las especificaciones del gotero.

Cuadro 6. Información del gotero seleccionado.

Rain Bird compensado	Auto	DP 1634
Presiones de trabajo		6-41 m.c.a
Espaciamiento entre goteros		0,40 m
Caudal		3,40 L/h
Diámetro interno		13,70 mm

Fuente: (Rain Bird, 2018)

4.5.1.1 Cálculo del PAR

Utilizando un lateral por cama el PAR es de 60 %, se obtuvo mediante el Anexo 5, con los siguientes datos:

- Caudal del gotero: 3,40 l/h goteros integrados auto-compensados.
- Textura del suelo: Media.
- Espaciamiento entre goteros: 0,40 m.
- Espaciamiento entre laterales: 2,00 m.

4.5.1.2 Lámina neta

El cuadro 7, contiene los datos necesarios para el cálculo de la lámina neta. Cabe destacar que se muestran los datos para cada horizonte encontrado para la profundidad efectiva de raíces del café.

Cuadro 7. Datos para calcular la lámina neta.

Cultivo de café Horizonte AP			Cultivo de café Horizonte A2			Cultivo de café Horizonte BW1		
Profundidad radicular	11,00	cm	Profundidad radicular	41,00	cm	Profundidad radicular	38,00	cm
Agotamiento Permisible	40,00	%	Agotamiento Permisible	40,00	%	Agotamiento Permisible	40,00	%
PMP	13,31	%	PMP	16,95	%	PMP	18,63	%
CC	24,80	%	CC	32,23	%	CC	35,67	%
Pe	1,12	g/cm ²	Pe	0,90	g/cm ²	Pe	0,90	g/cm ²
PAR	60,00	%	PAR	60,00	%	PAR	60,00	%

Utilizando la ecuación 4, se obtiene la lámina neta, para el cual, se utiliza una profundidad de raíces efectiva para el café de 0,90 metros, a dicha profundidad se encuentran tres horizontes de suelo (AP, A2 y BW1), se calcula una lámina con cada profundidad, para que finalmente sean sumadas y el dato resultante sea el correcto.

En el Cuadro 8, se muestran las láminas obtenidas para los horizontes de suelo presentes en la profundidad efectiva utilizada.

Cuadro 8. Lámina Neta total.

Cálculo de la lámina Neta Ap			Cálculo de la lámina Neta A2			Cálculo de la lámina Neta BW1		
Lámina neta	0,34	cm	Lámina neta	0,90	cm	Lámina neta	1,40	cm
Lámina neta	3,40	mm	Lámina neta	9,02	mm	Lámina neta	13,99	mm
Lámina neta total			26,41			mm		

4.5.1.3 Frecuencia de Riego

Utilizando la ecuación 5 se obtuvo la frecuencia de riego, dicha, utiliza un coeficiente k que como se muestran en las ecuaciones 10, 11 y 12 que se puede calcular de tres maneras, y para efectos de precisión se calculan las tres formas y se saca un promedio del resultado. A su vez, el coeficiente k, se determina por medio del A, que se obtuvo por medio de las ecuaciones 7, 8 y 9.

Ahora bien, para el desarrollo de las ecuaciones se requiere establecer los espaciamientos entre plantas y entre hileras que tiene el cultivo del café, los espaciamientos utilizados más aceptados son de 2,00 metros entre hileras y 1,00 metro entre plantas, esto porque la densidad utilizada para el café es de 5000 plantas por hectárea. Además, con dicho espaciamiento y por la experiencia adquirida en campo de muchos caficultores, facilitan el control de malezas y enfermedades, por otro lado, el manejo de las labores de cosecha.

En el Cuadro 9, se observa el valor del coeficiente A obtenido.

Cuadro 9. Coeficiente A.

Área total	2,00	m ²
Área sombreada	2,00	m ²
A	1,00	

Cuadro 10. Coeficiente K promedio resultante.

Determinación de k	
K1	1,00
K2	1,34
K3	1,10
K prom	1,15

Con dicho coeficiente y la evapotranspiración calculada anteriormente obtenemos la siguiente evapotranspiración para goteo:

$$E_{trg} = 2,77 \times 1,15 = 3,18 \text{ mm/día}$$

Finalmente se calcula la frecuencia con la ecuación 3, resultando:

$$Fr = \frac{26,41}{3,18} = 8,31 \text{ días} \approx 8 \text{ días}$$

Con el valor obtenido de E_{trg} y Fr , se recalcula la lámina neta con la ecuación 13.

$$L_n = 8 \times 3,18 = 25,44 \text{ mm}$$

4.5.1.4 Eficiencia de Riego

Seguidamente se calcula la eficiencia de riego con la ecuación 14, en la cual se debe de asumir un porcentaje de coeficiente de uniformidad para el cual se utilizó un 90% y el valor de TR de 1,00 mediante el Anexo 1.

$$E_f = 0,90 \times 1,00 = 90\%$$

4.5.1.5 Lámina Bruta

Con la eficiencia se procede a calcular la lámina bruta con la ecuación 15.

$$L_b = \frac{25,44}{0,90} = 28,26 \text{ mm}$$

4.5.1.6 Tiempo de Riego

El tiempo de riego se determinó mediante la ecuación 16.

$$Tr = \frac{28,26 \times 2,00 \times 1,00}{3,40 \times 2,50} = 6,64 \text{ horas}$$

4.5.2 Número de Divisiones

Para obtener el número de divisiones se tomó el ciclo de riego igual a la frecuencia, y las horas de riego se utilizaron 9 porque son las horas laborales que maneja el ICAFÉ, todo esto haciendo uso de la ecuación 17.

$$N = \frac{(8,00 \times 9,00)}{6,64} = 10,84 \approx 11,00 \text{ divisiones}$$

4.5.3 Área de cada división

Seguidamente se determina el área de cada división con la ecuación 18.

$$Au = \frac{3689,00 \text{ m}^2}{11,00} = 335,36 \text{ m}^2$$

4.5.4 Diseño hidráulico para riego por goteo

Se utilizará tubería con goteros auto-compensados, el cual posee un diámetro nominal de 16,00 mm, para un diámetro interno de 13,70 mm, un caudal de 3,40 litros por hora y con un rango de presión de operación de 6,00 a 41,00 metros columna de agua.

4.5.4.1 Caudal del Sistema

Se calcula el caudal del sistema con la ecuación 19.

$$Q_{sistema} = \frac{335,36 \text{ m}^2}{1,00 \text{ m} \times 2,00 \text{ m} \times 3,40 \frac{l}{h} \times 10} = 4,93 \frac{\text{m}^3}{s}$$

4.5.4.2 Longitud del lateral

Para el cálculo de la longitud del lateral se debe conocer por medio del plano topográfico la longitud del lateral más largo, en este caso corresponde a 56,00 metros, con dicha longitud y el espaciamiento entre goteros, se obtiene el número de goteros para el lateral con la ecuación 20 para finalmente obtener la longitud del lateral con la ecuación 21.

$$N^{\circ} \text{ goteros} = \frac{56,00 \text{ m}}{0,40 \text{ m}} = 140,00 \text{ goteros}$$

Luego de obtener la cantidad de goteros se calcula la longitud del lateral.

$$\text{Long. Lateral} = 0,40 \text{ m} (140 - 1) = 55,60 \text{ m}$$

4.5.4.3 Caudal del Lateral

Luego se calcula el caudal del lateral con la ecuación 22 a partir del caudal del gotero y el número de goteros.

$$Q \text{ lateral} = 3,40 \frac{l}{h} \times 140 = 476 \frac{l}{h} = 0,48 \frac{m^3}{h}$$

4.5.4.4 Número de Laterales

El número total de laterales del diseño se calcula con la ecuación 23.

$$N^{\circ} \text{ laterales} = \frac{62,00 \text{ m}}{2,00 \text{ m}} = 31 \text{ laterales por lado (62 laterales en total)}$$

En el Cuadro 11, se presenta un resumen de los resultados obtenidos para el lateral, con dichos datos calcular posteriormente las pérdidas en el lateral.

Cuadro 11. . Resumen de los datos del lateral.

Número de goteros	140,00	goteros
Longitud del lateral	55,60	m
Caudal del lateral	0,48	$\frac{m^3}{h}$
Número de laterales	62,00	laterales
Diámetro del lateral	13,70	mm
Longitud total de tubería	3447	m

4.5.4.5 Pérdida Admisible

Al tratarse de un diseño con goteros auto-compensados, no se calcula una pérdida admisible. Se determinan las pérdidas por fricción en el lateral para una tubería con salidas, y la múltiple se obtiene de la misma forma en que sacan las pérdidas por fricción de una tubería principal, en el caso de las pérdidas se trata de igual manera de una tubería con salidas por lo que se multiplica por el factor f.

4.5.4.6 Pérdidas Primarias del Lateral

Para obtener las pérdidas primarias en el lateral primeramente se calcula el factor de corrección (F), que son las pérdidas de acuerdo a las salidas que tenga la tubería. Para el caso de goteo, dicho factor se obtiene a partir de información brindada por el catálogo (Ver Anexo 5). Utilizando esa información se obtiene el factor, el cual se puede observar en el Cuadro 12.

Cuadro 12. Factor f para el cálculo de pérdidas por fricción.

Cálculo de f con longitud de 58,00 m y caudal del gotero 3,40 l/h y Espaciamiento entre goteros de 1,00 m:	
F:	0,1

$$Hf = (1,131 \times 10^9) \times \left(\frac{0,0034 \times 140}{140} \right)^{1,852} \times (13,70)^{-4,87} \times 55,60 \times 0,10$$

Hf= 0,22 metros

4.5.4.7 Caudal de la Múltiple

El caudal de la múltiple se obtiene multiplicando el caudal del lateral por el número total de laterales, tal como se muestra a continuación:

$$Q = 0,48 \frac{m^3}{h} \times 62 = 29,76 \frac{m^3}{h} = 0,0083 \frac{m^3}{s}$$

4.5.4.8 Diámetro de la Múltiple

Para el cálculo del diámetro del múltiple, se selecciona el método de la máxima velocidad permisible (asumiendo una velocidad de 1,50 m/s). Una vez obtenido el diámetro se busca un diámetro comercial, para posteriormente realizar el cálculo de las pérdidas en la múltiple, utilizando la ecuación 24. Para este caso, el factor f, se obtiene a partir del Anexo 6. En el Cuadro 13, se presentan los resultados obtenidos.

Cuadro 13. Diámetro y pérdidas de la múltiple.

Velocidad:	1,50	m/s
Caudal:	0,008	m ³ /s
Diámetro:	0,13	m
Diámetro:	0,0459	mm
D comercial:	45,91	mm
F =	0,361	
Hf =	1,95	m.c.a.

Ya con las pérdidas calculadas en el lateral y en la múltiple, se pueden calcular las presiones a la entrada y en la válvula a partir de la presión distal, que como se sabe, es la presión mínima del rango de presiones del gotero.

Tomando en cuenta que la diferencia de altura en el lateral es de 2,00 metros, y entre la válvula y el gotero más alejado es de 5,00 metros, ambos subiendo. Se obtuvieron los siguientes resultados mostrados en el Cuadro 14.

Cuadro 14. Presiones resultantes del diseño de riego por goteo.

Presión en la válvula:	10,83	m.c.a.
Presión a la entrada:	7,78	m.c.a.
Presión distal	6,00	m.c.a.

4.6 Diseño de Riego por Aspersión

4.6.1 Diseño agronómico para riego por aspersión

4.6.1.1 Lámina neta

El cuadro 15, contiene los datos necesarios para el cálculo de la lámina neta. Cabe destacar que se muestran los datos para cada horizonte encontrado para la profundidad efectiva de raíces del café.

Cuadro 15. Datos para calcular la lámina neta.

Cultivo de café Horizonte AP			Cultivo de café Horizonte A2			Cultivo de café Horizonte BW1		
Profundidad horizonte	11,00	cm	Profundidad horizonte	41,00	cm	Profundidad horizonte	38,00	cm
Agotamiento Permisible	40,00	%	Agotamiento Permisible	40,00	%	Agotamiento Permisible	40,00	%
PMP	13,31	%	PMP	16,95	%	PMP	18,63	%
CC	24,80	%	CC	32,23	%	CC	35,67	%
Pe	1,12	g/cm ²	Pe	0,90	g/cm ²	Pe	0,90	g/cm ²

Utilizando la ecuación 25 se obtiene la lámina Neta para cada horizonte de suelo, por lo que se suman para obtener la lámina neta total, como se puede observar en el Cuadro 16.

Cuadro 16. Lámina Neta total (Aspersión).

Cálculo de la lámina Neta Ap			Cálculo de la lámina Neta A2			Cálculo de la lámina Neta BW1		
Lámina neta	0,57	cm	Lámina neta	2,26	cm	Lámina neta	2,33	cm
Lámina neta	5,66	mm	Lámina neta	22,56	mm	Lámina neta	23,31	mm
Lámina neta total			51,53			mm		

4.6.1.2 Evapotranspiración Real

La evapotranspiración real se calcula con la ecuación 26, para esto requerimos la evapotranspiración potencial, la cual se ha calculado anteriormente y el Kc del cultivo, tal como se muestra en el Anexo 7, el cual de acuerdo con la FAO (2006) en su etapa crítica tiene un coeficiente de 0,95.

$$E_{Tr} = 2,77 * 0,95 = 2,63 \text{ mm/día}$$

4.6.1.3 Frecuencia de Riego

Utilizando la ecuación 27, obtenemos:

$$Fr = \frac{51,53}{2,63} = 19,53 \text{ días} \approx 19,00 \text{ días}$$

Con el valor obtenido de Etr y Fr, se recalcula la lámina neta.

$$Ln = 19,00 \times 2,63 = 49,97 \text{ mm}$$

4.6.1.4 Lámina Bruta

Asumiendo una eficiencia del 70% se procede a calcular la lámina bruta, haciendo uso de la ecuación 28.

$$Lb = \frac{49,97}{0,70} = 71,38 \text{ mm}$$

4.6.1.5 Infiltración Máxima

Utilizando la ecuación 29, utilizando un factor de corrección debido a la pendiente de 1 y con la infiltración básica presentada anteriormente se obtiene:

$$I_{\max} = 25,00 \text{ mm/hr} \times 1,00 = 25,00 \text{ mm/hr}$$

Caudal Máximo del Aspersor

$$Q_{\max} = 0,025 \times 12,00 \times 12,00 = 3,60 \text{ m}^3/\text{h}$$

Se escoge un espaciamiento de 12 x 12 ya que se buscan aspersores de bajo caudal, ya que se cuenta con un caudal disponible de 9,62 m³/s, dicho caudal se obtiene a partir del dimensionamiento de un reservorio el cual posee medidas 22m de largo, por 7 metros de ancho, por 1,50 de alto.

4.6.1.6 Grado de Aplicación

Una vez que se calcula el caudal máximo del aspersor se continuó buscando en los catálogos disponibles el aspersor que se adapte a las necesidades del diseño realizado. De estos catálogos primeramente se seleccionan aquellos aspersores que cumplan o se acerquen al caudal máximo permisible, el factor determinante fue la disponibilidad para adquirirlo.

En el Anexo 8, se presenta la hoja técnica del aspersor elegido. Asimismo, en el Cuadro 17, se observan los datos principales del aspersor seleccionado.

Cuadro 17. Datos del aspersor seleccionado.

Aspersor	2045-PJ Maxi-Bird
Presiones de trabajo	30,00 mca
Caudal	1,05 m ³ /h
Espaciamiento	12,00 x 12,00 m
Rosca macho	12 mm

Con el aspersor elegido se calcula el grado de aplicación a través de la ecuación 30:

$$I = 1,05 / (12,00 \times 12,00) \times 1000,00 = 7,29 \text{ mm/hr}$$

4.6.1.7 Tiempo de Riego

El tiempo de riego se obtiene de dividir la lámina bruta entre el grado de aplicación.

$$Tr = \frac{71,38 \text{ mm}}{7,29 \frac{\text{mm}}{\text{h}}} = 9,79 \text{ horas}$$

4.6.1.8 Número de Posiciones

$$N = \frac{55,00 \text{ m} \times 2}{12 \text{ m}} = 9,16 \approx 9$$

4.6.1.9 Número de Posiciones por día por lateral

$$Npd/lateral = \frac{10,00}{9,79 + 1} = 0,92 \approx 1$$

4.6.1.10 Número de laterales

$$Nlat = \frac{9,00}{1,00 \times 5} = 1,80 \approx 2$$

4.6.1.11 Caudal mínimo del sistema

Utilizando la ecuación 34 se obtiene:

$$Qmin = \frac{0,37 \text{ ha} \times 7,18 \text{ cm} \times 100}{10,00 \text{ hr} \times 5,00 \text{ días} \times 0,70} = 7,59 \frac{\text{m}^3}{\text{hr}}$$

4.6.1.12 Longitud del lateral

El ancho del terreno es de $112\text{m} / 2 = 56 \text{ m}$. Se calcula el número de aspersores a utilizar:

$$Nasp = \frac{56 \text{ m}}{12 \text{ m}} = 4,66 \text{ asp}$$

Si se colocan 4 aspersores se tendría una longitud del lateral de $Ll = (4 \times 12) + 6 = 54 \text{ m}$, en éste caso se estaría colocando el primer aspersor a una distancia de 6 m del centro del terreno, para que cuando el lateral se pase a la posición al otro lado queda el espaciamiento de 12 m, se decide utilizar 4 aspersores y no 5, porque si se utilizaran 5 se excedería la

longitud del terreno y en este caso no se puede correr, porque son linderos de la propiedad, y existe un muro divisorio de linderos.

4.6.1.13 Caudal del sistema

El caudal del sistema, en este caso, es igual a dos veces el caudal del lateral, puesto que sólo funcionan dos a la vez.

$$Q_s = 4 \times 1,05 \text{ m}^3 / \text{h} \times 2 = 8,40 \text{ m}^3 / \text{h}$$

4.6.1.14 Cálculo del diámetro del lateral (Dl)

Pérdida admisible (hf_{adm})

Está dada por el 20% de la presión de operación +- el delta de Z. En este caso se resta porque el lateral va subiendo.

$$hf_{adm} = 0,20 \times 30,00 \text{ mca} - 2,00 \text{ m} = 4,00 \text{ mca}$$

Cálculo del factor F de número de salidas

Para tubería de PVC, con primer aspersor a $Ea/2$ y 4 aspersores, se obtiene un valor de F según el Anexo 5 de 0,337

Despejando el diámetro de la fórmula de Hazen Williams, y usando un coeficiente $C = 150$, se tiene:

$$Dl = 28,71 \text{ mm}$$

Se debe escoger un diámetro comercial igual o mayor a este valor. Como se va a tratar de riego móvil se utilizará la proporcionada por Mexichen la cual tiene un diámetro interno de 45,22 SDR de 32,50, se deben recalcular las pérdidas obteniendo:

$$hf = 0,003 \text{ mca}$$

4.6.1.15 Cálculo de la presión de entrada del lateral (Pe)

Tomando una altura del elevador de 2,00 m, se tiene:

$$Pe = Po + 0,75 * hf + he = 30 + 0,75 \times 0,003 + 2,00 = 32,00 \text{ mca}$$

4.6.1.16 Cálculo de la presión distal del lateral (Pd)

$$P_d = P_e - h_f - h_e = 32,00 - 0,30 - 2,00 = 29,70 \text{ mca}$$

4.6.1.17 Presión en el primer aspersor

$$P_p = 32,00 - 2,00 = 30,00 \text{ mca.}$$

4.6.1.18 Diferencia de presiones

$$\Delta P = 30,00 - 29,70 = 0,30 \text{ mca.}$$

Una vez calculado el lateral se procede a calcular la principal ya que en este caso es una tubería sin salidas, ya que, con dos laterales trabajando simultáneamente, utilizando una tee tendría una sola salida.

Utilizando el método de pérdida de porcentaje de la presión de operación, y perdiendo 0,15 de la presión de operación, se obtiene una pérdida de 4,50 metros y, además, sabiendo que el caudal es 8,40 m³/h. Con lo cual igualmente utilizando la fórmula de Hazen William se obtiene un diámetro de 44,88 mm.

Al igual que el lateral se trabajará con tubería móvil proporcionada por Mexichen la cual tiene un diámetro interno de 45,22 SDR de 32,50. Por lo que recalculando las pérdidas se obtienen 1,21 m.c.a de pérdidas.

En el Cuadro 18, se presentan los resultados obtenidos para las pérdidas por fricción de la principal (múltiple) y el lateral.cv

Cuadro 18. Datos de la tubería principal y laterales.

Tubería/ Parámetro	Diámetro (mm)	L (m)	Hf	Cantidad de tubos
Principal	45,22	62,00	1,21	80 tubos
Lateral (2)	45,22	54,00	0,003	

La cantidad de tubos se calcula utilizando una longitud de tubo de 6,00 m, y se estimó un valor de 0,20 m extra por tubo para imprevistos.

4.7 Cálculo para la conducción de la tubería principal

Los dos diseños de riego realizados anteriormente se hicieron con el fin de tener un dato de presión en la válvula que presenta las condiciones más críticas de toda la finca. La idea del ICAFÉ es tener una tubería de distribución en las parcelas con tomas de agua, tales que, permitan en determinado momento, proporcionar agua para riego con una presión suficiente para ejecutar un sistema de riego por aspersión (que, en este caso, sería el que requiere mayor presión).

Como se está diseñando para las condiciones más críticas, es evidente que en dado momento existirán sobrepresiones, según sea el uso que se le dé, por lo que es importante tener claro de antemano que debería de calcular la presión requerida en la válvula y utilizar un regulador de presión, que permita el óptimo funcionamiento.

Como se presentó en el perfil longitudinal del terreno, la tubería de conducción tiene una longitud de 423,00 metros y una diferencia de altura de 11,00 metros. Por otro lado, el caudal a utilizar es el caudal de la válvula para diseño de riego por aspersión (8,40 m³/h).

4.7.1 Diámetro de la conducción

Para el cálculo del diámetro de la tubería de conducción se utiliza el método de la velocidad máxima permisible. Asumiendo una velocidad de 1,50 metros. El diámetro da como resultado 41,21 mm; sin embargo, se sobre diseña el diámetro previendo otros posibles usos, o para el caso de que se haga algún otro diseño en el cual trabajen simultáneamente más laterales. Por lo tanto, se escoge una tubería de 84,58 mm (3”).

En el Cuadro 19, se presentan los resultados obtenidos para el diámetro y las pérdidas de la principal.

Cuadro 19. Diámetro y pérdidas de la principal.

Velocidad:	1,50	m/s
Caudal:	0,002	m ³ /s

Diámetro:	0,04	m
Diámetro:	41,21	mm
D comercial:	84,58	mm
Hf =	≈0	m.c.a.

Como se pudo observar las pérdidas primarias son insignificantes por lo que para las pérdidas secundarias no se puede tomar el 5% de las pérdidas primarias.

4.7.2 Válvulas en la distribución

La selección de los puntos donde se van a colocar las tomas, se hizo de manera manual, utilizando un criterio técnico el cual, dichos puntos logren abastecer todas las parcelas el ICAFÉ.

En la Figura 5, se presenta el esquema elaborado con Epanet 2, muestra las válvulas a colocar, en total son 12.

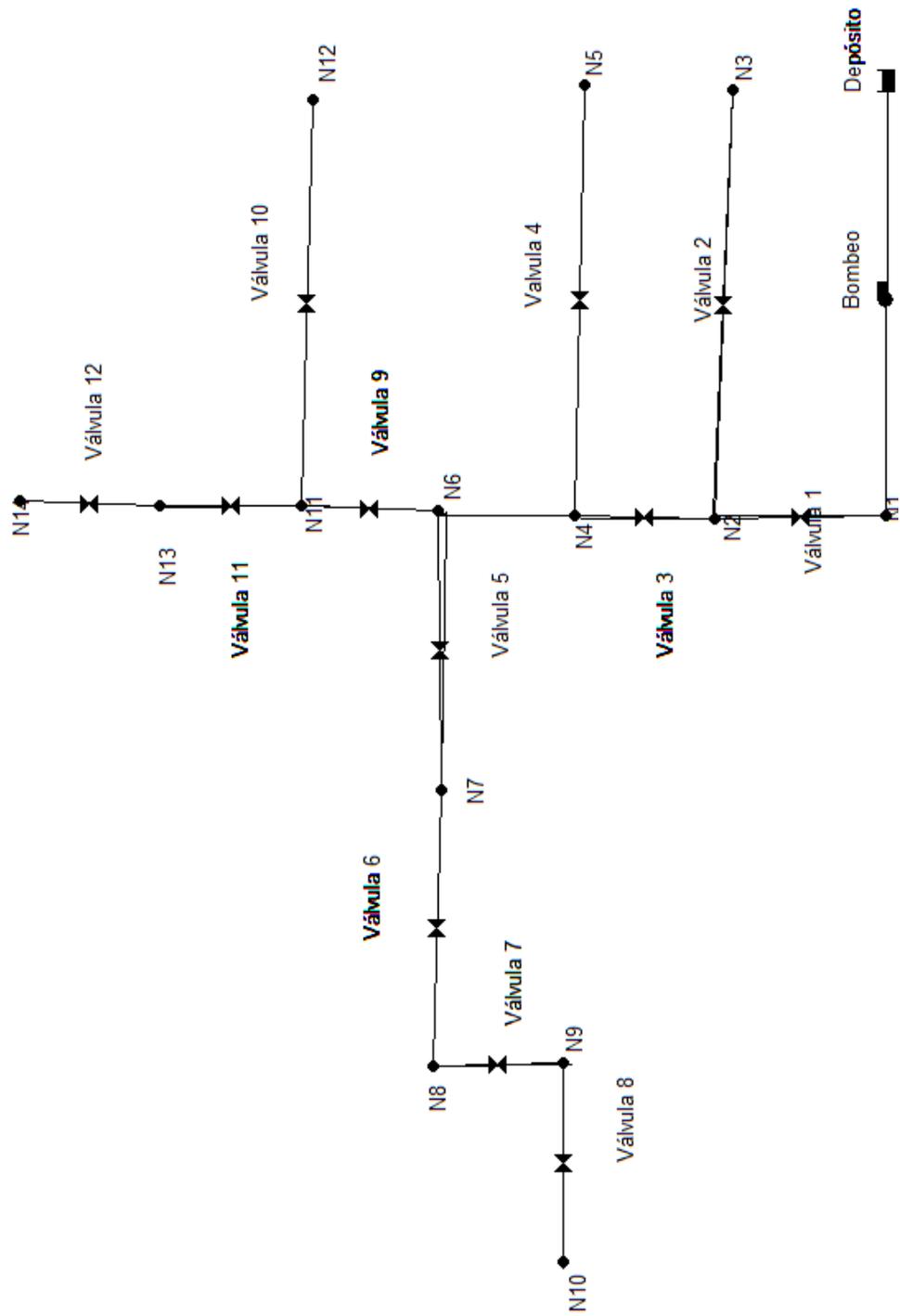


Figura 5. Válvulas de la distribución. Fuente: propia (Epanet 2)

Utilizando diámetro de 84,58 mm (3”), y con las alturas de los nodos se obtienen las presiones en las 12 válvulas. Es importante destacar que dichas presiones se calculan asumiendo que las demás válvulas estén cerradas. Es decir, funciona una válvula a la vez, por otro lado, las pérdidas por fricción no son significativas, por lo que lo únicamente juegan las diferencias de alturas en los puntos.

En el Cuadro 20, se presenta la longitud de los tramos entre nodos, con el fin de obtener la cantidad de tubos requerida.

Cuadro 20. Longitud de los tramos de la tubería de conducción.

ID	Nodo de Inicio	Nodo Final	Longitud (m)	Cantidad de Tubos
	Bombeo	N1	33,00	6
Válvula 1	N1	N2	97,00	17
Válvula 2	N2	N3	53,00	9
Válvula 3	N2	N4	71,00	12
Válvula 4	N4	N5	65,00	11
Válvula 5	N5	N7	66,00	11
Válvula 6	N7	N8	58,00	10
Válvula 7	N8	N9	49,00	8
Válvula 8	N9	N10	58,00	10
Válvula 9	N6	N11	54,00	9
Válvula 10	N11	N12	57,00	10
Válvula 11	N11	N13	58,00	10
Válvula 12	N13	N14	55,00	9

En el cuadro 21, se presentan las presiones resultantes.

Cuadro 21. Presiones en todos los nodos de la conducción.

Etiqueta	Elevación [msnm]	Presión [mca]
N1	1209	43
N2	1207	45
N3	1208	44
N4	1207	45
N5	1211	41
N6	1208	44
N7	1207	45
N8	1208	44
N9	1206	46
N10	1208	44
N11	1211	41
N12	1214	38
N13	1218	34
N14	1220	32

4.8 Carga dinámica total de la bomba

Para el cálculo de dicha carga, se utilizaron los valores de pérdidas obtenidos anteriormente, además se requirió de la altura de la descarga y de la succión. En el Cuadro 22, se observan los parámetros a tomar en cuenta para la determinación de la carga.

Cuadro 22. Cálculo de la carga dinámica total.

Parámetro	Valor
Longitud de tubería	774,00 m
Presión a la entrada	32,00 m
Pérdidas primarias (Hf)	≈0,00 m
Diferencia de alturas	11,00 m
Pérdidas secundarias	0,55 m
Carga Dinámica Total	43,55 m

4.9 Cálculo de la Potencia

Asumiendo una eficiencia global del 55% los caballos teóricos requeridos serán:

$$\text{HP} = (4,20 \times 43,55) / (270 \times 0,55) = 1,23\text{HP}$$

4.10 Selección de la bomba

Para la selección de la bomba, se requieren tanto la carga dinámica total calculada anteriormente, como la potencia u el caudal requerido. Una vez obtenidos dichos parámetros, se procedió a la selección.

En el Cuadro 23, se observa el resumen de los parámetros calculados que permitirán realizar la selección de la bomba.

Cuadro 23. Parámetros para la selección de la bomba.

Parámetro	Valor
Carga total [mca]	43,55
Longitud de la tubería [m]	774,00
Caudal Requerido [m ³ /h]	4,20
Diámetro interno [mm]	84,58
Potencia HP	1,23

Se procedió a buscar bombas centrífugas, con los parámetros calculados. Se selecciona la bomba Lucky Pro, serie MC 200-1 de 3 HP de 9,60 m³/h cuya hoja técnica se encuentra en el Anexo 10, la cual posee los datos mostrados en el Cuadro 24, para poder obtener la curva del sistema, el valor resaltado en negrita en dicho Cuadro 24, representa el punto de operación al que trabajará en este proyecto.

Cuadro 24. Datos para la obtención de la curva de la bomba.

Caudal (m ³ /h)	CDT (m.c.a)
0,00	55,00
0,60	0,00
1,20	0,00
1,80	53,00
2,40	52,50
3,00	51,50
3,60	50,50
4,20	49,50
4,80	48,50
5,40	47,00
6,00	45,50
6,60	43,50
7,20	40,00
7,80	36,50
8,40	32,50

4.11 Análisis Ambiental

Realizar un análisis ambiental durante el diseño y planificación de cualquier proyecto a desarrollar, es de suma importancia; esto se debe, a que en muchas ocasiones los proyectos pueden verse estancados debido a las posibles afectaciones ambientales durante la ejecución de los mismos, por esta razón, realizar previamente el estudio permite analizar la viabilidad con respecto al impacto ambiental de los proyectos. Como se mencionó en la sección de metodología, el método utilizado es el de Leopold, a continuación, en el Cuadro 25, se muestran los resultados obtenidos

Cuadro 25. Matriz resultante utilizando el método de Leopold.

Etapa	Fase	Acción susceptible a producir impacto (ASPI)	Aspectos Ambientales	Descripción del impacto
Construcción	Suministro de agua	Zanjeo	Destruye estructura del suelo, produce sedimentos	1. Disminuye aireación del suelo
		Uso de mano de obra	Genera empleo	1. Mejora ingresos y capacidad adquisitiva
		Colocación de tuberías	Derrame de químicos, accesibilidad del agua	1. Contaminación de fuentes de agua y suelo
Operación	Mantenimiento de tuberías	Limpieza de tuberías por sedimentación	Contaminación de suelo, genera residuos	1. Reducción de la calidad del agua
				2. Pérdidas de horas laborales
		Cambio de accesorios dañados y tubería	Suspensión del agua, genera residuos	1. Suspensión de los sistemas de riego
				2. Contaminación del suelo

	Utilización	Demanda del recurso hídrico	Consumo energético, agotamiento del recurso hídrico	1. Genera gastos monetarios
				2. Disminución de las fuentes de agua
Síntesis	Número de interacciones		+	
			-	
	Sumatoria M/I		+	
			-	
	Proyecto			

Continuación Cuadro 25:

Suelo			Agua					
Prop.físicas: textura, estructura, profundidad, drenaje, humedad,	Prop. Químicas: fertilidad, relación C/N, conductividad	Usos actuales y potenciales	Caudales	Niveles freáticos	Escurrentía	Sedimentos	Disponibilidad	Demanda
-2/5		-3/4			-4/5			
-3/6	-1/3							
		-1/2						
			-4/9	-4/7			-4/6	-3/4
0	0				0	0	0	0
2	1		1	1	1	1	1	1
0	0				0	0	0	0
-5/11	-1/3	-4/6	-4/9	-4/7	-4/5	-8/9	-4/6	-3/4

Continuación 2 Cuadro 25:

Económico	Número de interacciones		Sumatoria de M/I	
	+	'	+	'
Niveles de productividad				
	0	3	0	-9/14
7/9	1	0	7/9	0
	0	2	0	-4/9
	0	0	0	0
	0	0	0	0
-1/2	0	1	0	-1/2
	0	1	0	-1/2
	0	0	0	0
	0	4	0	-15/26
1	1	5		
1	9	5		
7/9			7/9	
-1/2				-38/62
		+	7/9	
Proyecto		-		-38/62

De los resultados mostrados anteriormente, se puede observar que la mayor afectación se podría dar en la disminución de las fuentes de agua, por la demanda hídrica. Se podrían aplicar medidas de prevención para mermar dichos impactos, por ejemplo: mantener todo el sistema de tuberías constantemente monitoreado para evitar que haya fugas, aplicar únicamente la lámina requerida al cultivo, entre otros.

Con los resultados presentados anteriormente, se puede concluir que el proyecto tiene viabilidad ambiental.

4.12 Análisis Social

El CICAFFÉ, al ser el Centro de Investigación del café de Costa Rica, tiene la responsabilidad de ser propulsor de buenas prácticas y aplicación de tecnologías en pro de la caficultura costarricense.

En Costa Rica la aplicación de riego para café no es de uso común, pese a esto, el cambio climático y otros factores dan indicio de la necesidad de implementación de sistemas de riego.

Ahora bien, para poder generar el conocimiento para ser transmitido se deben ejecutar proyectos

4.13 Análisis Económico

Cuando se realiza un análisis económico el primer paso es obtener un presupuesto con todos los materiales, trámites, trabajadores, diseño y demás factores que involucren un gasto en la elaboración del proyecto; es por eso, que en el Anexo 11, se muestra el resultado de los gastos. Para realizar el análisis, sólo se considera el costo del diseño de conducción, ya que este es el único diseño que se implementaría.

Por otro lado, en cuanto a la cantidad de materiales se sabe de antemano que siempre es importante tener un porcentaje extra para desperdicios.

Por otro lado, el Ministerio de Hacienda contiene las depreciaciones de los artículos y estructuras, con lo cual por medio de los impuestos pagados el Ministerio retribuye esa depreciación, viéndolo desde un punto de vista financiero es un “escudo fiscal”. Para el proyecto, en el Cuadro 26, se muestran las depreciaciones que tienen algunos de los elementos analizados en el desglose de los costos. También, muestra la información requerida para poder realizar los cálculos del VAN y el TIR.

Cuadro 26. Depreciaciones para el proyecto e información para el cálculo de los parámetros económicos.

Tipos	% de depreciación	Años de vida útil	Artículo	Costo	Depreciación
Depreciación para bombas	10,00	10	Bomba	¢294,898	¢29,948
Depreciación tuberías	5,00	20	Tubería	¢2 611,620	¢130,581

Cuadro 27. Datos para calcular los indicadores económicos

Periodo del proyecto [años]	30
Impuesto	0,1
Inflación	0,05
Inversión inicial	¢ 9,696.597

Utilizando los datos de las depreciaciones, los ingresos y la inversión, se pueden obtener los valores de flujo neto. En el Cuadro 28, se presentan los valores de flujo neto obtenidos durante el periodo establecido. Obteniendo finalmente los valores del VAN y el TIR.

Cuadro 28. VAN y TIR del proyecto en PVC

Periodo	Flujo neto
0	-C\$ 9,696.597
1	C\$321,000
2	C\$321,000
3	C\$321,000
4	C\$321,000
5	C\$321,000
6	C\$321,000
7	C\$321,000
8	C\$321,000
9	C\$321,000
10	C\$321,000
11	C\$130,000
12	C\$130,000
13	C\$130,000
14	C\$130,000
15	C\$130,000
16	C\$130,000
17	C\$130,000
18	C\$130,000
19	C\$130,000
20	C\$130,000
21	C\$0,000
22	C\$0,000
23	C\$0,000
24	C\$0,000
25	C\$0,000
26	C\$0,000
27	C\$0,000

28	€0,000
29	€0,000
VAN	€-3 210 000
TIR	-3%

Se observa que el VAN es negativo, se concluye que posterior a la inversión inicial no se da una recuperación total del capital, estos resultados se deben a que no hay ingresos porque el ICAFÉ, todo lo que produce lo consume, no venden el producto, por lo que no hay ganancia en el cultivo.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- a. Realizando los respectivos análisis se determinó que los diseños son viables técnicamente, se utilizaron todos los datos existentes de suelo y agro-meteorológicos, como los obtenidos en campo por medio del levantamiento topográfico.
- b. Se diseñaron satisfactoriamente los dos sistemas de riego, uno por goteo y otro por aspersión, además de su conducción. Todos estos respetando los criterios agronómicos e hidráulicos. El sistema requiere sistema de bombeo, debido a la topografía. El bombeo se calculó con la presión requerida para el sistema de riego por aspersión.
- c. Si se va a utilizar el sistema en cualquier otro punto de la finca, se deben de colocar reguladores de presión, ya que como el diseño se realizó para la máxima presión requerida, cualquier otro punto de la finca va a poseer mayor presión, de la misma manera, si se utilizara un sistema de riego por goteo.
- d. Teniendo en cuenta las ventajas y desventajas de un diseño de riego por goteo y uno por aspersión, se elige técnicamente utilizar sistemas de riego por goteo, ya que, a nivel de eficiencias y optimización de los recursos, en épocas donde los recursos se escasean cada día más, se debe de optar por sistemas que se adapten y contribuyan a generar la menor afectación posible a los recursos,
- e. Analizando los aspectos sociales, económicos y ambientales, se determinó cómo en el aspecto social los caficultores obtendrían un gran beneficio indirecto; ya que, el CICAPE es transmisor de conocimiento. Además, en la parte económica del proyecto se obtuvieron valores positivos por parte de indicadores económicos como lo son el VAN y el TIR, presentando así los valores de respectivamente \$466,220 y 0%. En el ámbito ambiental, se obtuvo repercusiones en el ambiente irrelevantes, y en el caso del impacto que se pudo detectar como grave fue el recurso hídrico, que con un control adecuado no sería gran afectación.

5.2 Recomendaciones

- a. Tener un control del sistema, en el cual se esté revisando periódicamente las presiones, condiciones de la tubería, filtrado, entre otros aspectos.
- b. Mantener monitoreadas las condiciones agroclimáticas, para conocer el déficit hídrico en tiempo real y procurar una agricultura de precisión.
- c. Una vez finalizada la vida útil de los componentes del sistema de riego, buscar la manera de desechar correctamente los elementos para reducir el impacto ambiental que este desecho pueda originar.
- d. Revisar la legalidad del pozo existente, con el fin de tener no tener ninguna afectación legal en algún momento.

6. BIBLIOGRAFÍA

- HYDRO ENVIRONMENT. (2018). Obtenido de https://hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main_page=page&id=151
- A. L Temiz Pérez, A. L. (2011). Cholula, Puebla , México. Recuperado el 2017 de 8 de 15, de [http://www.udlap.mx/WP/tsia/files/No5-Vol-2/TSIA-5\(2\)-Temis-Perez-et-al-2011.pdf](http://www.udlap.mx/WP/tsia/files/No5-Vol-2/TSIA-5(2)-Temis-Perez-et-al-2011.pdf)
- Araya, M. V. (2015). Riego a Presión. Cartago, Costa Rica.
- Arboleda, J. (2008). Manual de evaluación de impacto ambiental de proyectos, obras o actividades. *Manual de evaluación de impacto ambiental (EIA)*. Medellín, Colombia.
- Cenicafé. (05 de 2010). Rangos adecuados de lluvia para el cultivo del café en Colombia. 3. Chinchiná, Caldas, Colombia. Recuperado el 25 de 7 de 2017, de <http://www.cenicafe.org/es/publications/avt0395.pdf>
- CICAFÉ. (06 de 2011). Guía Técnica para el cultivo del café. Barva, Heredia, Costa Rica: Litografía e Imprenta LIL, S.A.
- CONAGUA. (12 de 2007). *Comisión Nacional de Agua*. Recuperado el 24 de 3 de 2017, de <http://www.conagua.gob.mx/conagua07/publicaciones/publicaciones/Libros/38PerforacionDePozos.pdf>
- Ecolan. (2008). Obtenido de <http://www.ecolaningenieria.com/ingenieria-ambiental/analisis-ambiental>
- FAO. (2008). Obtenido de <http://www.fao.org/3/a-x0490s.pdf>
- FAO. (2017). Recuperado el 22 de 7 de 2017, de <http://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/propiedades-del-suelo/propiedades-fisicas/es/>
- Fila. (2017). *Fila*. Obtenido de <http://www.filo.uba.ar/contenidos/carreras/geografia/catedras/climatologia/sitio/bcehidrico.pdf>
- González, J. A. (2008). Manual para la evaluación de impacto ambiental de proyectos, obras o actividades. Medellín, Colombia.
- Gurovich, L. (1985). *Fundamentos y diseños de sistemas de riego*. San Jose, Costa Rica: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura.
- Jácome, J. G. (1 de 2009). Estudio de los sistemas de riego localizado por goteo y exudación, en el rendimiento de cultivo de lechuga bajo invernadero. 25-31. Ecuador.
- Leiton, J. S. (1985). *Riego y drenaje*. San Jose Costa Rica: EUNED.

- López Cualla, R. A. (2010). *Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados*. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Lucky Pro. (2018). Obtenido de http://www.lucky-pro.com/products/Centrifugal_Pump/MCP150-1.asp
- Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente de España. (2017). *mapama*. Obtenido de <http://www.mapama.gob.es/es/ministerio/servicios/informacion/plataforma-de-conocimiento-para-el-medio-rural-y-pesquero/observatorio-de-tecnologias-probadas/material-de-riego/filtrado.aspx>
- Organización Panamericana de la Salud. (2004). *Guía de diseño para líneas de conducción e impulsión de sistemas de abastecimiento de agua rural*. Lima. Recuperado el 20 de 3 de 2017
- Pascual, B. (2008). *Riegos de gravedad y a presión*. Mexico DF: Alfa Omega.
- Pereira, A. R., Camargo, A. P., & Camargo, M. B. (2008). *Agrometeorología del café en Brazil*. Brazil: Soform Formularios.
- Rain Bird. (2018). Obtenido de <https://www.poolaria.com/pdfs/catalogos-riego/Catalogo-Rain-Bird.pdf>
- Regaber. (2018). Obtenido de <https://regaber.com/productos/agricultura/category/valvuleria-ag>
- Vidal, A. E. (2012). *Manual de Laboratorio Edafología*. Cartago: Editorial Tecnológica de Costa Rica.

7. ANEXOS

Anexo 1. Valores de TR en función de la profundidad de raíces y textura del suelo.

Cuadro 29. Valores de T.R en función de la profundidad de raíces y textura del suelo. Fuente: (Villalobos, 2015)

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

Anexo 2. Valores de CC y PMP en función de la textura del suelo.

Textura del suelo	Peso específico aparente (gr/cc)	CC base suelo seco (%)	PMP base suelo seco (%)
Arenoso	1,55 – 1,80	6 – 12	2 – 6
Franco arenoso	1,40 – 1,60	10 – 18	4 – 8
Franco	1,35 – 1,50	18 – 26	8 – 12
Franco arcilloso	1,30 – 1,40	23 – 31	11 – 15
Arcillo arenoso	1,25 – 1,35	27 – 35	13 – 17
Arcilloso	1,20 – 1,30	31 - 39	15 – 19

Fuente: Grassi, 1987.

Figura 6. Valores de Capacidad de Campo y Punto de Marchitez Permanente en función del tipo de suelo.
Fuente: (Villalobos, 2015)

Anexo 3. Especificaciones del gotero utilizado.

Especificaciones del Producto

Gotero en línea autocompensado en 16 mm

Mínima Presión Operativa (bars)	0.6
Máxima Presión Operativa (bars)	4.1
Máxima Temperatura de Aire	60°C
Máxima Temperatura de Agua	43°C
Caudal del Emisor (lph)	3.4
Largo del Rollo (m)	305
Filtración (micrones)	125
Diámetro Exterior (mm)	16.0
Diámetro Interior (mm)	13.7
Espesor de la Pared (mm)	1.15

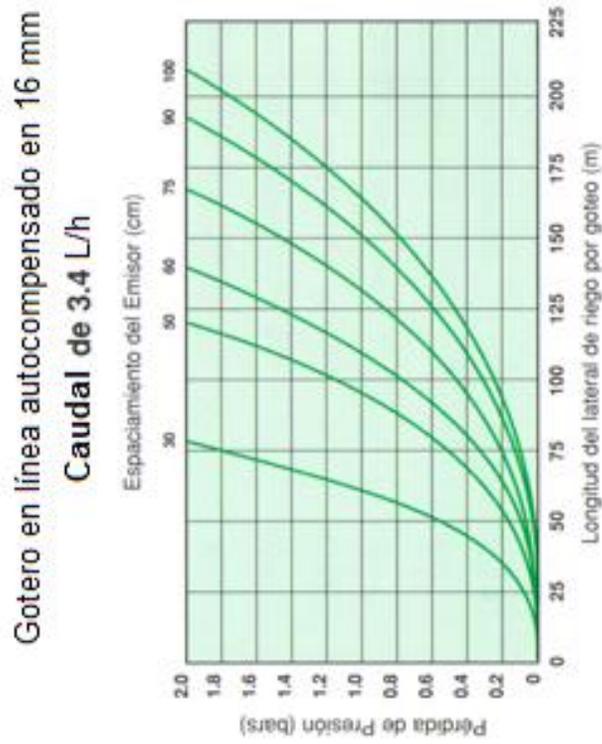
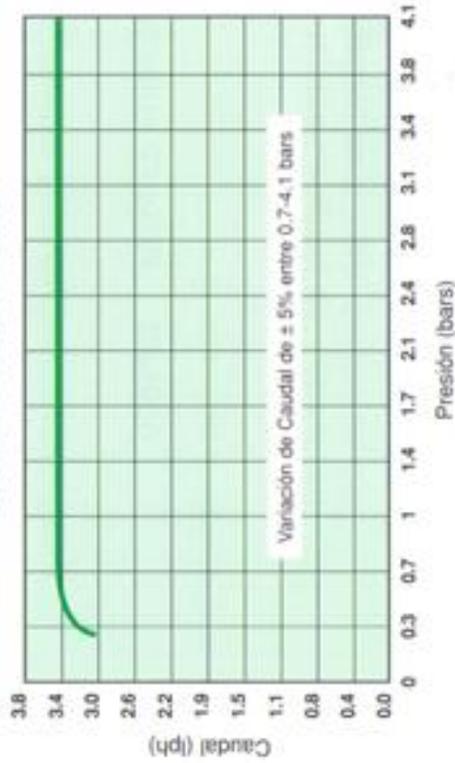


Figura 7. Hoja Técnica del gotero utilizado.

Anexo 4. Continuación, hoja técnica del gotero.

Gotero en línea autocompensado
Caudal Versus Presión



Se puede solicitar el espaciamiento del emisor hecho a la medida. Favor de consultar con la fábrica.

Número de Parte DP1634 ---

Favor de especificar el espaciamiento (cm)

Máxima Longitud del Lateral (m)
Emisor de 3.4 lph, declive de 0%

Presión de Entrada	30 cm	50 cm	60 cm	75 cm	90 cm	100 cm
1.0 bar	40	68	77	90	110	118
1.5 bar	60	87	105	125	145	156
2.0 bar	68	105	120	140	165	184
2.5 bar	74	115	134	161	185	202
3.0 bar	81	125	144	175	205	216

Figura 8. Continuación, Hoja Técnica del gotero utilizado.

Anexo 5. Datos para calcular el Porcentaje de Área Humedecida.

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		
	G	M	F	G	M	F	G	M	F	G	M	F	G	M	F
	Textura del Suelo %)														
	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, Arena
 M = Textura Mediana, Franco
 F = Textura Fina, Arcilla

Figura 9. Cálculo del Porcentaje de Área Humedecida. Fuente: (Villalobos, 2015)

Anexo 6. Factor de reducción de infiltración.

Cuadro 30. Factor de reducción de infiltración. Fuente: (Villalobos, 2015)

Pendiente %	% Reducción	Factor f
0-5	0	1
6-8	20	0.80
9-12	40	0.60
13-20	60	0.40
> 20	75	0.25

Anexo 7. Coeficiente Kc del cultivo del café.

Cultivo		$K_{c\text{ini}}^1$	$K_{c\text{med}}$	$K_{c\text{fin}}$	Altura Máx. Cultivo (h) (m)
j. Forrajes					
Alfalfa (heno)	- efecto promedio de los cortes	0,40	0,95 ¹³	0,90	0,7
	- periodos individuales de corte	0,40 ¹⁴	1,20 ¹⁴	1,15 ¹⁴	0,7
	- para semilla	0,40	0,50	0,50	0,7
Bermuda (heno)	- efecto promedio de los cortes	0,55	1,00 ¹³	0,85	0,35
	- cultivo para semilla (primavera)	0,35	0,90	0,65	0,4
Trébol heno, Bersim	- efecto promedio de los cortes	0,40	0,90 ¹³	0,85	0,6
	- periodos individuales de corte	0,40 ¹⁴	1,15 ¹⁴	1,10 ¹⁴	0,6
Rye Grass (heno)	- efecto promedio de los cortes	0,95	1,05	1,00	0,3
Pasto del Sudán (anual)	- efecto promedio de los cortes	0,50	0,90 ¹⁴	0,85	1,2
	- período individual de corte	0,50 ¹⁴	1,15 ¹⁴	1,10 ¹⁴	1,2
Pastos de Pastoreo	- pastos de rotación	0,40	0,85-1,05	0,85	0,15-0,30
	- pastoreo extensivo	0,30	0,75	0,75	0,10
Pastos (césped, turfgrass)	- época fría ¹⁵	0,90	0,95	0,95	0,10
	- época caliente ¹⁵	0,80	0,85	0,85	0,10
k. Caña de azúcar		0,40	1,25	0,75	3
l. Frutas Tropicales y Árboles					
Banana	- 1 ^{er} año	0,50	1,10	1,00	3
	- 2 ^{do} año	1,00	1,20	1,10	4
Cacao		1,00	1,05	1,05	3
Café	- suelo sin cobertura	0,90	0,95	0,95	2-3
	- con malezas	1,05	1,10	1,10	2-3

Figura 10. Evapotranspiración del cultivo. Fuente: (FAO,2008)

Anexo 8. Hoja técnica del aspersor a utilizar.

SERIE 25BPJ

Aspersores de impacto en bronce de círculo completo y sectorial

APLICACIONES

Estos aspersores están diseñados para el riego de macizos, de arbustos y parterres de flores.

CARACTERÍSTICAS

- Aspersores de impacto en bronce (mas latón inyectado para el 25BPJ)
- Brazo "PJ"™ anti-salpicadura
- Paleta deflectora en los modelos 25BPJ
- Tornillo de ajuste del chorro en el modelo 25BPJ
- Montaje "TNT" del rodamiento
- Palanca de inversión que permite un riego desde 20° hasta 340° o el riego en círculo completo
- Guía del chorro y toberas cónicas de latón en el 25BPJ

MODELO

25BPJ-FP-ADJ-DA-TNT (Ref: A3440310): ½" (15/21)



ESPECIFICACIONES

SERIE 25BPJ

Alcance: desde 11,6 hasta 12,5 m
 Presión: desde 2,1 hasta 3,5 bares
 Caudal: desde 0,70 hasta 1,14 m³/h
 Toma roscada Macho de ½" (15/21)
 Angulo de trayectoria: 25°

RENDIMIENTOS

25BPJ-FP-ADJ-DA-TNT

Toberas	bar	m	m³/h	■ mm/h	▲ mm/h
09	2,1	11,6	0,70	10	12
	2,5	11,8	0,77	11	13
	3,0	12,0	0,85	12	14
	3,5	12,2	0,91	12	14
10	2,1	11,9	0,86	12	14
	2,5	12,1	0,95	13	15
	3,0	12,3	1,05	14	16
	3,5	12,5	1,14	15	17

■ 50% ▲ 50%

Figura 11. Hoja técnica del aspersor utilizado. Fuente: (Rain Bird, 2018)

Anexo 9. Coeficiente F en función del número de salidas.

Cuadro 31. Coeficiente F en función del número de salidas. Fuente: (Villalobos, 2015)

Número salidas	Plástico (1.760)			Aluminio (1.852)		
	F ₁ ^a	F ₂ ^b	F ₃ ^c	F ₁ ^a	F ₂ ^b	F ₃ ^c
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	0.353	0.350	0.352

Anexo 10. Curva Característica de la bomba.

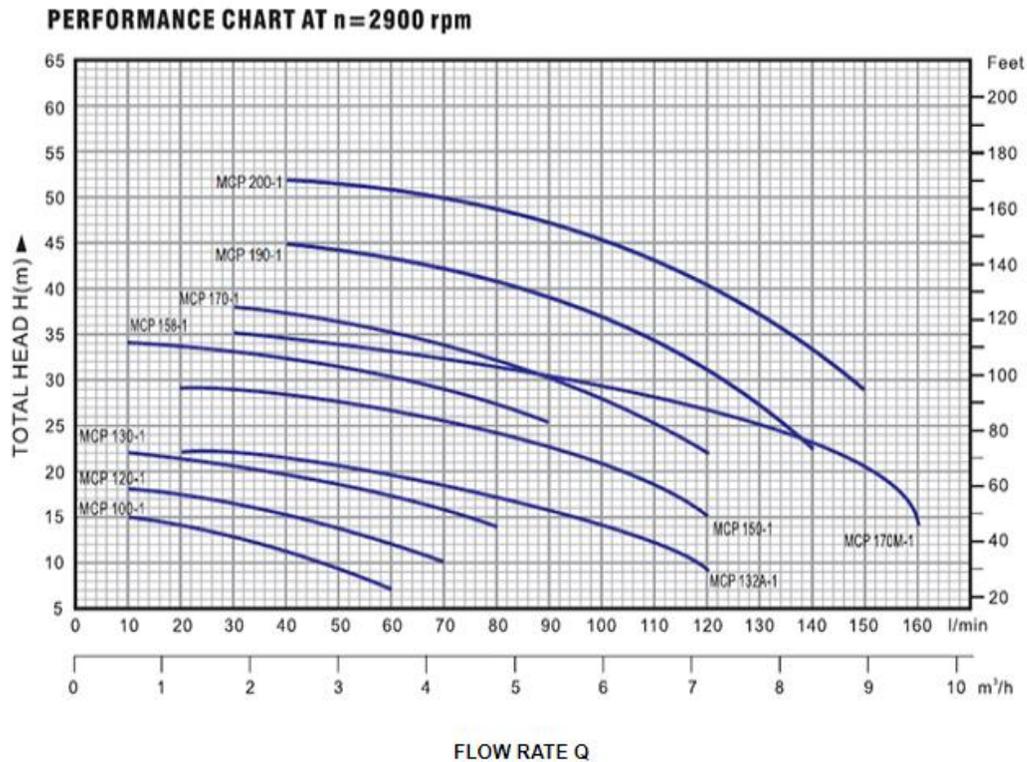


Figura 12. Curva Característica de la bomba. Fuente: (Lucky Pro, 2018)

Anexo 11. CDT en función del caudal.

FLOW RATE Q

PUMP MODEL		POWER		Q	0	0.6	1.2	1.8	2.4	3.0	3.6	4.2	4.8	5.4	6.0	6.6	7.2	7.8	8.4	9.0	9.6		
Single phase	Three phase	KW	HP	m³/h	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160		
MCP 100-1	MC 100-1	0.25	0.33	H M	16	15	14	12.5	11	9	7												
MCP 120-1	MC 120-1	0.30	0.40		19	18	17.5	16.5	15.5	14	12	10											
MCP 130-1	MC 130-1	0.37	0.50		23	22	21	20	19	18	17	16	14										
MCP 132A-1	MC 132A-1	0.60	0.80		23	-	22	21.5	21	20	19	18	17	16	14	12	9						
MCP 150-1	MC 150-1	0.75	1		29.5	-	29	28.5	28	27.5	26.5	26	24.5	23	21	18	15						
MCP 158-1	MC 158-1	0.75	1		36	34	33.5	33	32.5	31.5	30	29	27	25									
MCP 170-1	MC 170-1	1.1	1.5		41	-	-	38	37	36	35	33.5	32	30	28	25	22						
MCP 170M-1	MC 170M-1	1.1	1.5		36	-	-	35	34.5	33.5	33	32	31	30.5	29	28	26.5	25	23	21	19		
MCP 190-1	MC 190-1	1.5	2		48	-	-	45.5	44.5	43.5	42.5	41.5	40.5	39	37	34.5	31	27	22				
MCP 200-1	MC 200-1	2.2	3		55	-	-	53	52.5	51.5	50.5	49.5	48.5	47	45.5	43.5	40	36.5	32.5	28			

H=TOTAL HEAD IN METERS. Q=FLOW RATE

Figura 13. CDT en función del caudal para la bomba utilizada. Fuente: (Lucky Pro, 2018)

Anexo 12. Desglose de los costos del sistema de conducción del proyecto.

Cuadro 32. Desglose total del presupuesto para el sistema de Conducción.

Materiales	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
Movimiento de tierra			
Excavación (m3) (0,40x0,40x774)	123,84	€3,000.00	€371,520.00
Colocación cama de arena (m3)	37	€800.00	€29,600.00
Cama de arena (m3)	37	€18,000.00	€666,000.00
Total movimiento de tierra			€1,067,120.00
Mano de obra			
Fontaneros (1 meses, 16 000 p/j, 5 d/s)	1	€3,200,000.00	€3,200,000.00
Peones (1 meses, 9 663 p/j, 5d/s)	1	€1,449,450.00	€1,449,450.00
Equipo	Total de mano de obra		€4,649,450.00
Tubería (Conducción)			
SDR 41 Diámetro 3" (6 m)	132	€19 785	€2 611,620.00
Pegamento para PVC	5	€8 619	€43,090.00
Válvulas de bola 3" (lavado)	3	€8,104.00	€24,312.00
Válvulas check 3"	3	€25,407.00	€25,410.00
Válvulas de aire 3"	16	€12,500.00	€200,000.00
Manómetros	1	€8,895.00	€8,895.00
Tapones (3")	5	€3.410.00	€17,050.00
Codos de 45 grados (3")	4	€4.462.00	€17,848.00
Tee (3")	5	€4,880.00	€24,400.00
Bomba	Total de materiales		€2,972.625.00
Lucky Pro, serie MC 200-1	1	€294,898	€294,898
Levantamiento Topográfico (16800*i (U/km))	0,70	€490,728.00	€343,509.20
i = 29,21 (inflación)			
Cálculo y dibujo de lo establecido (17900*I)	0,70	€522,859.00	€365,995.00
Inversión inicial total			€ 9,696.597