

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA
VICERRECTORÍA DE DOCENCIA
ESCUELA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



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

DISEÑO DE DOS SISTEMAS DE RIEGO POR GOTEO PARA LOS CULTIVOS DE
CHILE DULCE Y MAÍZ EN FINCA RANCHO EL TECAL Y FINCA EL COYOLITO
EN CAÑAS DULCES, LIBERIA, COSTA RICA

ELIANA PATRICIA CHAVARRÍA SIBAJA

CARTAGO, 2020

DISEÑO DE DOS SISTEMAS DE RIEGO POR GOTEO PARA LOS CULTIVOS DE
CHILE DULCE Y MAÍZ EN FINCA RANCHO EL TECAL Y FINCA EL COYOLITO
EN CAÑAS DULCES, LIBERIA, COSTA RICA

Eliana Patricia Chavarría Sibaja

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

Milton Solórzano Quintana

Asesor

Isabel Guzmán Arias

Directora Escuela
Ingeniería Agrícola

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

CARTAGO, COSTA RICA

2020

Dedicatoria

A mis padres Magally y Elide, por ser mi apoyo incondicional y con su ejemplo enseñarme a no rendirme a pesar de las adversidades, a ser perseverante y a luchar siempre.

A mi hermano que es un pilar fundamental en mi vida.

Y a mis abuelos, Marta y Santos por su amor incondicional.

Agradecimientos

Primeramente, a Dios por darme la sabiduría y las fuerzas para poder sacar adelante mis estudios y por permitirme concluir una etapa más en la vida.

A mis padres por todo el sacrificio que hicieron durante estos años, por acompañarme en este camino y estar para mí siempre.

A mi familia y amistades por las palabras de motivación, su apoyo y su acompañamiento durante este tiempo.

A los profesores y personal administrativo de la Escuela de Ingeniería Agrícola, a mis tutores, el Ing. Milton Solórzano y el Ing. Marvin Villalobos.

A mis amigos de toda la vida, Steven y Fiorella por siempre mantenernos unidos a pesar de la distancia, por el apoyo y las palabras de aliento brindadas.

A mis compañeros de carrera, a los que se convirtieron en amigos y un apoyo durante todo este tiempo en especial a Ana, Dimas y Mónica.

Al personal de la Agencia de Liberia del MAG, Don Óscar, Doña Inés, Arturo y en especial a Doña Xinia por toda la ayuda brindada y por guiarme durante el desarrollo del proyecto.

A mis amigos de residencias, especialmente a mis compañeras de cuarto por siempre acompañarme y por convertirse en mi familia de Cartago.

Y a los que de una u otra manera me ayudaron. Muchísimas gracias.

ÍNDICE DE CONTENIDO

| | |
|--|----|
| RESUMEN | 1 |
| ABSTRACT..... | 2 |
| CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN | 3 |
| 1.1 Antecedentes..... | 4 |
| 1.2 Objetivos..... | 5 |
| 1.2.1 Objetivo general | 5 |
| 1.2.2 Objetivos específicos..... | 5 |
| CAPÍTULO 2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA | 6 |
| 2.1 Chile dulce..... | 7 |
| 2.1.1 Aspectos históricos | 7 |
| 2.1.2 Generalidades del chile dulce | 7 |
| 2.2 Maíz..... | 8 |
| 2.2.1 Aspectos históricos..... | 8 |
| 2.2.2 Generalidades del maíz..... | 8 |
| 2.3 Propiedades físicas del suelo | 9 |
| 2.3.1 Textura..... | 9 |
| 2.3.2 Disponibilidad de agua en el suelo | 10 |
| 2.3.2.1 Capacidad de campo (CC)..... | 10 |
| 2.3.2.2 Punto de marchitez permanente (PMP) | 10 |
| 2.3.3 Densidad aparente..... | 11 |
| 2.4 Riego..... | 12 |
| 2.5 Tipos de riego | 13 |
| 2.5.1 Riego por Gravedad..... | 13 |
| 2.5.2 Riego a presión | 13 |
| 2.6 Riego por goteo | 13 |
| 2.6.1 Ventajas | 14 |
| 2.6.2 Desventajas | 14 |
| 2.6.3 Componentes de un sistema de riego por goteo | 15 |
| 2.6.3.1 Cabezal de riego..... | 15 |

| | | |
|---------|---|----|
| 2.6.3.2 | <i>Red de distribución</i> | 15 |
| 2.6.3.3 | <i>Gotos o emisores</i> | 15 |
| 2.6.3.4 | <i>Dispositivos para estimar necesidades de riego</i> | 16 |
| 2.7 | Diseño agronómico de riego por goteo..... | 16 |
| 2.7.1 | Lámina neta (Ln) | 16 |
| 2.7.1.1 | <i>Porcentaje del área humedecido (PAR)</i> | 17 |
| 2.7.1.2 | <i>Agotamiento permisible (Ag)</i> | 17 |
| 2.7.2 | Evapotranspiración del cultivo (Etc) | 18 |
| 2.7.2.1 | <i>Evapotranspiración potencial (Eto)</i> | 18 |
| 2.7.2.2 | <i>Coefficiente de cultivo (Kc)</i> | 19 |
| 2.7.3 | Frecuencia de riego..... | 19 |
| 2.7.4 | Lámina bruta (Lb)..... | 20 |
| 2.7.4.1 | <i>Eficiencia de riego</i> | 20 |
| 2.7.5 | Tiempo de riego..... | 21 |
| 2.7.6 | Caudal disponible | 21 |
| 2.7.6.1 | <i>Métodos de aforo directo</i> | 21 |
| 2.7.6.2 | <i>Métodos Área-Velocidad</i> | 22 |
| 2.7.7 | Dotaciones para usos pecuarios y agroindustrial..... | 23 |
| 2.8 | Diseño hidráulico..... | 23 |
| 2.8.1 | Componentes de la red de distribución..... | 24 |
| 2.8.1.1 | <i>Tubería primaria o principal</i> | 24 |
| 2.8.1.2 | <i>Tuberías múltiples</i> | 25 |
| 2.8.1.3 | <i>Laterales (cinta de goteo)</i> | 25 |
| 2.8.2 | Accesorios empleados | 25 |
| 2.8.2.1 | <i>Reguladores de presión</i> | 26 |
| 2.8.2.2 | <i>Válvulas de retención</i> | 26 |
| 2.8.2.3 | <i>Válvulas de compuerta</i> | 26 |
| 2.8.2.4 | <i>Válvulas de seguridad</i> | 26 |
| 2.8.2.5 | <i>Válvulas para evacuación de aire</i> | 26 |
| 2.8.2.6 | <i>Manómetros</i> | 27 |
| 2.8.3 | Equipo de bombeo..... | 27 |

| | |
|--|----|
| 2.8.3.1 Caudal Q | 28 |
| 2.8.3.2 Altura H | 28 |
| 2.8.3.3 Potencia N | 28 |
| 2.8.3.4 Velocidad de accionamiento..... | 28 |
| 2.8.3.5 Eficiencia η | 28 |
| 2.8.3.6 Capacidad de aspiración..... | 28 |
| 2.9 Clasificación de uso de suelo..... | 29 |
| 2.9.1 Clases del sistema..... | 29 |
| 2.9.1.1 Clases I, II, III..... | 29 |
| 2.9.1.2 Clases IV, V, VI..... | 29 |
| 2.9.1.3 Clase VII..... | 29 |
| 2.9.1.4 Clase VIII..... | 29 |
| 2.9.2 Parámetros evaluadores de la capacidad de uso..... | 30 |
| 2.9.2.1 Erosión (e):..... | 30 |
| 2.9.2.2 Suelo (s):..... | 31 |
| 2.9.2.3 Drenaje (d):..... | 32 |
| 2.9.2.4 Clima (c)..... | 33 |
| 2.10 Análisis Ambiental..... | 34 |
| 2.10.1 Evaluación Ambiental (Formulario D1-SETENA)..... | 34 |
| 2.10.2 Estudio de Impacto Ambiental..... | 35 |
| 2.11 Análisis Económico..... | 36 |
| 2.11.1 Valor Actual Neto (VAN)..... | 36 |
| 2.11.2 Tasa Interna de Retorno (TIR)..... | 36 |
| 2.12 Análisis Social..... | 37 |
| CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA..... | 39 |
| 3.1 Reconocimiento del lugar..... | 40 |
| 3.1.1 Materiales utilizados..... | 40 |
| 3.2 Levantamiento de GPS..... | 40 |
| 3.2.1 Materiales utilizados..... | 40 |
| 3.3 Levantamiento topográfico..... | 40 |
| 3.3.1 Materiales utilizados..... | 40 |

| | |
|--|----|
| 3.4 Estudio de suelos | 41 |
| 3.4.1. Textura del suelo | 41 |
| 3.4.2 Capacidad y punto de marchitez permanente | 41 |
| 3.4.3 Densidad aparente..... | 42 |
| 3.5 Aforos | 43 |
| 3.6 Clasificación de uso de suelo en Finca Rancho El Tecal | 44 |
| 3.6 Diseño del sistema de riego por goteo | 44 |
| 3.6.1. Diseño agronómico..... | 44 |
| 3.6.1.1 <i>Evapotranspiración del cultivo (Etc)</i> | 45 |
| 3.6.1.2 <i>Frecuencia de riego (Fr)</i> | 46 |
| 3.6.1.3 <i>Lámina bruta (Lb)</i> | 47 |
| 3.6.1.4 <i>Tiempo de riego</i> | 47 |
| 3.6.1.5 <i>Número máximo de operaciones</i> | 48 |
| 3.6.1.6 <i>Horas a regar por día</i> | 48 |
| 3.6.1.7 <i>Área unitaria</i> | 49 |
| 3.6.1.8 <i>Caudal unitario</i> | 49 |
| 3.6.1.9 <i>Caudal de sección</i> | 49 |
| 3.6.1.10 <i>Caudal por unidad lineal</i> | 50 |
| 3.6.1.10 <i>Caudal del sistema</i> | 50 |
| 3.6.2. Diseño hidráulico..... | 52 |
| 3.6.2.1 <i>Laterales</i> | 52 |
| 3.6.2.2 <i>Tubería múltiple</i> | 56 |
| 3.6.2.3 <i>Tubería principal</i> | 60 |
| 3.6.2.4 <i>Cálculo de presiones</i> | 60 |
| 3.6.2.5 <i>Carga dinámica total de la bomba</i> | 61 |
| 3.6.2.6 <i>Cálculo de la potencia de la bomba</i> | 62 |
| 3.6.2.7 <i>Selección de la bomba</i> | 62 |
| 3.7 Clasificación de uso de suelo en Finca Rancho El Tecal | 62 |
| 3.8 Evaluación Ambiental | 63 |
| 3.9 Análisis Económico..... | 65 |
| 3.10 Análisis Social | 66 |

| | |
|---|-----|
| CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... | 67 |
| 4.1 Ubicación de las fincas | 68 |
| 4.2 Planos (curvas de nivel, pendiente y líneas de flujo) | 69 |
| 4.3 Clasificación de uso de suelo de área en Finca Rancho El Tecal..... | 71 |
| 4.4 Textura..... | 75 |
| 4.5 Capacidad de campo y punto de marchitez permanente..... | 75 |
| 4.6 Densidad aparente..... | 76 |
| 4.7 Aforos | 77 |
| 4.7.1 Aforo en Finca Rancho El Tecal | 77 |
| 4.7.2 Aforo en Finca El Coyolito | 78 |
| 4.8 Diseños agronómicos Finca Rancho El Tecal | 78 |
| 4.9 Diseño agronómico Finca El Coyolito | 83 |
| 4.10 Diseños hidráulicos de Finca Rancho El Tecal | 86 |
| 4.10.1 Diseño hidráulico propuesta 1 | 86 |
| 4.10.2 Diseño hidráulico propuesta 2 | 89 |
| 4.11 Selección de bomba (Finca Rancho El Tecal)..... | 91 |
| 4.11.1 Propuesta 1 | 91 |
| 4.11.2 Propuesta 2 | 92 |
| 4.12 Diseño hidráulico de Finca El Coyolito | 93 |
| 4.13 Selección de bomba (Finca El Coyolito)..... | 95 |
| 4.14 Planos de los diseños hidráulicos | 96 |
| 4.14.1 Finca Rancho El Tecal..... | 96 |
| 4.14.1.1 Propuesta 1..... | 96 |
| 4.14.1.2 Propuesta 2..... | 97 |
| 4.14.2 Finca El Coyolito..... | 99 |
| 4.15 Análisis Económico de las propuestas..... | 100 |
| 4.15.1 Finca Rancho El Tecal..... | 100 |
| 4.15.1.1 Propuesta 1..... | 100 |
| 4.15.1.2 Propuesta 2..... | 101 |
| 4.15.2 Finca El Coyolito..... | 103 |
| 4.16 Análisis Ambiental de las propuestas | 104 |

| | |
|--|-----|
| 4.16.1 Finca Rancho El Tecal (Propuestas 1 y 2)..... | 104 |
| 4.16.2 Finca El Coyolito..... | 106 |
| 4.17 Análisis Social | 108 |
| CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 110 |
| 5.1 Conclusiones..... | 111 |
| 5.2 Recomendaciones | 113 |
| CAPÍTULO 6. BIBLIOGRAFÍA | 114 |
| ANEXOS | 120 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|-----|
| FIGURA 2.1 AFORO VOLUMÉTRICO. | 22 |
| FIGURA 2.2 BOMBA CENTRÍFUGA DE RIEGO. | 27 |
| FIGURA 2.3 ZONA DE VIDA DE COSTA RICA. | 33 |
| FIGURA 4.1 MAPA DE UBICACIÓN Y LEVANTAMIENTO DE LOS PUNTOS DE INTERÉS. | 68 |
| FIGURA 4.2 MAPA DE UBICACIÓN Y LEVANTAMIENTO DE LOS PUNTOS DE INTERÉS. | 69 |
| FIGURA 4.3 CURVAS DE NIVEL DEL ÁREA, PENDIENTE Y LÍNEAS DE FLUJO DEL ÁREA EN FINCA EL TECAL. | 70 |
| FIGURA 4.4 CURVAS DE NIVEL DEL ÁREA, PENDIENTE Y LÍNEAS DE FLUJO DEL ÁREA EN FINCA EL COYOLITO..... | 71 |
| FIGURA 4.5 PEDREGOSIDAD PRESENTE EN ÁREA 2, FINCA EL TECAL. | 72 |
| FIGURA 4.6 CURVAS DE NIVEL, LÍNEAS DE FLUJO Y PENDIENTE DEL ÁREA 2 DE FINCA RANCHO EL TECAL. | 74 |
| FIGURA 4.7 ÁREA 1 EN FINCA EL TECAL..... | 75 |
| FIGURA 4.8 DIVISIONES DE LA PROPUESTA 1 FINCA RANCHO EL TECAL. | 81 |
| FIGURA 4.9 DIVISIONES DE LA PROPUESTA 2 FINCA RANCHO EL TECAL. | 83 |
| FIGURA 4.10 NÚMERO DE DIVISIONES DEL ÁREA EN FINCA EL COYOLITO. | 86 |
| FIGURA 4.11 DISTRIBUCIÓN DE LA TUBERÍA DE LA PROPUESTA 1 DE FINCA EL TECAL..... | 97 |
| FIGURA 4.12 DISTRIBUCIÓN DE LA TUBERÍA DE LA PROPUESTA 2 DE FINCA EL TECAL..... | 98 |
| FIGURA 4.13 DISTRIBUCIÓN DE LA TUBERÍA DE LA PROPUESTA DE FINCA RANCHO EL TECAL..... | 99 |
| FIGURA 4.14 PLANTILLA D1 SETENA, FINCA RANCHO EL TECAL..... | 106 |
| FIGURA 4.15 PLANTILLA D1 SETENA, FINCA EL COYOLITO. | 107 |

ÍNDICE DE CUADROS

| | |
|---|----|
| CUADRO 2.1 RANGOS DE TAMAÑO DE PARTÍCULAS..... | 9 |
| CUADRO 2.2 CLASES TEXTURALES..... | 10 |
| CUADRO 2.3 PROPIEDADES FÍSICAS DE DIFERENTES TIPOS DE SUELO..... | 11 |
| CUADRO 2.4 DENSIDAD APARENTE PARA DIFERENTES TEXTURA..... | 12 |
| CUADRO 2.5 VALORES DE KC PARA DIFERENTES CULTIVOS..... | 19 |
| CUADRO 2.6 RELACIÓN DE TRANSPIRACIÓN EN FUNCIÓN DE LA TEXTURA Y LA PROFUNDIDAD DE RAÍCES PARA RIEGO POR GOTEO..... | 20 |
| CUADRO 2.7 DOTACIONES PARA USOS PECUARIOS..... | 23 |
| CUADRO 2.8 RELIEVE CON RESPECTO AL PORCENTAJE DE PENDIENTE..... | 30 |
| CUADRO 3.1 COEFICIENTE F PARA LATERALES DE PLÁSTICO..... | 56 |
| CUADRO 3.2 CLASIFICACIÓN EN FUNCIÓN DE LA CALIFICACIÓN FINAL QUE ESTABLECE EL PROCEDIMIENTO EN SETENA, SEGÚN LA RUTA DE DECISIÓN..... | 63 |
| CUADRO 3.3 CLASIFICACIÓN AMBIENTAL CON RESPECTO A LA IMPORTANCIA DEL IMPACTO..... | 64 |
| CUADRO 4.1 CLASIFICACIÓN DE USO DE SUELO..... | 72 |
| CUADRO 4.2 TEXTURA DE LAS ÁREAS EN ESTUDIO..... | 75 |
| CUADRO 4.3 DATOS DE CC Y PMP DE LAS ÁREAS EN ESTUDIO..... | 76 |
| CUADRO 4.4 DENSIDAD APARENTE DE FINCA EL TECAL..... | 76 |
| CUADRO 4.5 DENSIDAD APARENTE DE FINCA EL COYOLITO..... | 77 |
| CUADRO 4.6 CÁLCULO DEL CAUDAL..... | 77 |
| CUADRO 4.7 DATOS DEL AFORO Y CÁLCULO DEL CAUDAL..... | 77 |
| CUADRO 4.8 DATOS DEL CAUDAL DEL AFORO Y EL CAUDAL DISPONIBLE..... | 78 |
| CUADRO 4.9 DATOS DEL AFORO Y CÁLCULO DEL CAUDAL..... | 78 |
| CUADRO 4.10 DATOS GENERALES DEL CULTIVO DE CHILE DULCE..... | 79 |

| | |
|--|----|
| CUADRO 4.11 RESULTADOS DE ANÁLISIS DE DATOS METEOROLÓGICOS..... | 79 |
| CUADRO 4.12 PARÁMETROS PARA EL DISEÑO AGRONÓMICO DE LA PROPUESTA 1..... | 80 |
| CUADRO 4.13 PARÁMETROS PARA EL DISEÑO AGRONÓMICO DE LA PROPUESTA 2..... | 82 |
| CUADRO 4.14 DATOS GENERALES DEL CULTIVO DE MAÍZ..... | 84 |
| CUADRO 4.15 RESULTADOS DE ANÁLISIS DE DATOS METEOROLÓGICOS Y ESTUDIO GENERAL..... | 84 |
| CUADRO 4.16 PARÁMETROS PARA EL DISEÑO AGRONÓMICO DE LA PROPUESTA DE FINCA EL COYOLITO..... | 85 |
| CUADRO 4.17 DISEÑO DEL LATERAL DE LA PROPUESTA 1 DE FINCA EL TECAL..... | 87 |
| CUADRO 4.18 DISEÑO LA TUBERÍA MÚLTIPLE DE LA PROPUESTA 1 DE FINCA EL TECAL..... | 87 |
| CUADRO 4.19 DISEÑO DE LA TUBERÍA PRINCIPAL DE LA PROPUESTA 1 DE FINCA EL TECAL..... | 88 |
| CUADRO 4.20 PRESIONES DEL SISTEMA, CARGA DINÁMICA TOTAL Y POTENCIA DE LA BOMBA DE LA PROPUESTA 1 DE FINCA EL TECAL..... | 88 |
| CUADRO 4.21 DISEÑO DE LATERAL DE LA PROPUESTA 2 DE FINCA EL TECAL..... | 89 |
| CUADRO 4.22 DISEÑO DE TUBERÍA MÚLTIPLE DE LA PROPUESTA 2 DE FINCA EL TECAL..... | 90 |
| CUADRO 4.23 DISEÑO DE TUBERÍA PRINCIPAL DE LA PROPUESTA 2 DE FINCA EL TECAL..... | 90 |
| CUADRO 4.24 PRESIONES DEL SISTEMA, CARGA DINÁMICA TOTAL Y POTENCIA DE LA BOMBA DE LA PROPUESTA 2 DE FINCA EL TECAL..... | 91 |

| | |
|--|-----|
| CUADRO 4.25 PARÁMETROS UTILIZADOS PARA LA SELECCIÓN DE LA BOMBA DE LA PROPUESTA 1 DE FINCA EL TECAL..... | 91 |
| CUADRO 4.26 DATOS DE LA CURVA DE LA BOMBA..... | 92 |
| CUADRO 4.27 PARÁMETROS UTILIZADOS PARA LA SELECCIÓN DE LA BOMBA DE LA PROPUESTA 2 DE FINCA EL TECAL..... | 92 |
| CUADRO 4.28 DATOS DE LA CURVA DE LA BOMBA..... | 93 |
| CUADRO 4.29 DISEÑO DEL LATERAL DE LA PROPUESTA DE FINCA EL COYOLITO..... | 93 |
| CUADRO 4.30 DISEÑO DE LA TUBERÍA MÚLTIPLE DE LA PROPUESTA DE FINCA EL COYOLITO..... | 94 |
| CUADRO 4.31 DISEÑO DE LA TUBERÍA PRINCIPAL DE LA PROPUESTA DE FINCA EL COYOLITO..... | 94 |
| CUADRO 4.32 PRESIONES DEL SISTEMA, CARGA DINÁMICA TOTAL Y POTENCIA DE LA BOMBA DE LA PROPUESTA DE FINCA EL COYOLITO..... | 95 |
| CUADRO 4.33 PARÁMETROS UTILIZADOS PARA LA SELECCIÓN DE LA BOMBA DE LA PROPUESTA DE FINCA EL COYOLITO..... | 95 |
| CUADRO 4.34 DATOS DE LA CURVA DE LA BOMBA..... | 96 |
| 4.35 CÁLCULO DE LA DEPRECIACIÓN PARA LA PROPUESTA 1, FINCA EL TECAL..... | 10 |
| 0 | |
| CUADRO 4.36 INGRESOS Y EGRESOS DE LA PROPUESTA 1..... | 101 |
| CUADRO 4.37 VAN Y TIR DE LA PROPUESTA 1..... | 101 |
| CUADRO 4.38 CÁLCULO DE LA DEPRECIACIÓN PARA LA PROPUESTA 2, FINCA EL TECAL..... | 102 |
| CUADRO 4.39 INGRESOS Y EGRESOS DE LA PROPUESTA 2..... | 102 |
| CUADRO 4.40 VAN Y TIR DE LA PROPUESTA 2..... | 102 |

| | |
|--|-----|
| CUADRO 4.41 CÁLCULO DE LA DEPRECIACIÓN PARA LA PROPUESTA DE FINCA EL COYOLITO..... | 103 |
| CUADRO 4.42 INGRESOS Y EGRESOS DE FINCA EL COYOLITO..... | 103 |
| CUADRO 4.43 VAN Y TIR DE FINCA EL COYOLITO..... | 104 |

RESUMEN

Debido a la problemática que enfrentan en la actualidad ciertos sectores agrícolas del país con respecto a la disponibilidad del recurso hídrico, es necesario implementar prácticas que contribuyan a su beneficio, por ejemplo, el uso de sistemas de riego por goteo que suministren la dosis adecuada de agua a los cultivos.

Es por esto que se realizan dos propuestas de sistemas de riego por goteo para chile dulce en Finca El Tecal y uno para maíz en Finca El Coyolito en Cañas Dulces, Liberia. Haciendo uso de datos meteorológicos de la zona, requerimientos hídricos de los cultivos, propiedades físicas de suelos y aspectos técnicos.

En el caso de Finca Rancho El Tecal, para regar chile dulce se hace una primera propuesta de diseño a partir del caudal disponible, con el que se determinó un área máxima de riego de 240 m², la segunda propuesta se hace para regar el área total disponible de 1265 m², estableciéndose un caudal requerido para dicha opción.

Para el diseño de Finca El Coyolito se diseñó un sistema de riego por goteo para un área total del 4800 m². Finalmente se realizó el análisis económico, social y ambiental para cada finca.

Palabras claves: Riego por goteo, cultivos, chile dulce, maíz, área.

ABSTRACT

Due to the problems currently faced by certain agricultural sectors in the country with respect to the availability of water resources, it is necessary to implement practices that contribute to their benefit, for example, the use of drip irrigation systems that provide the appropriate dose of water to the crops.

This is why two proposals for drip irrigation systems for sweet chili are being made at Finca El Tecal and one for corn at Finca El Coyolito in Cañas Dulces, Liberia. Using meteorological data of the area, water requirements of crops, physical properties of soils and technical aspects.

In the case of Finca Rancho El Tecal, to irrigate pepper, a first design proposal is made from the available flow with which a maximum irrigation area of 240 m² was determined, the second proposal is made to irrigate the total available area of 1265 m², establishing a required flow for said option.

For the design of Finca El Coyolito, a drip irrigation system was designed for a total area of 4800 m². Finally, the economic, social and environmental analysis was carried out for each farm.

Keywords: Drip irrigation, crops, pepper, corn, area.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

El presente estudio se realizó en dos fincas, las cuales se encuentran ubicadas en Cañas Dulces de Liberia, en la provincia de Guanacaste. En el caso de la Finca Rancho El Tecal es propiedad de la señora Priscilla Blanco Saborío, tiene una extensión de 32 hectáreas; desde hace tres años, esta es dedicada principalmente a la ganadería de engorde, también cuenta con algunos árboles frutales de aguacate, marañón, naranja agria y limón mesino. Debido a los problemas que enfrentan los productores con la venta del ganado de engorde surge la necesidad de incursionarse más a fondo en el tema de la agricultura, en este caso en el cultivo de chile dulce, por lo que la propietaria desea utilizar dos áreas (área 1 y 2) de la finca para este fin.

Por otra parte, la finca toma el agua que utilizan para las actividades diarias de una naciente la cual se encuentra en una finca vecina; al dedicarse Finca Rancho El Tecal a la ganadería, el caudal con que cuenta debe de dividirse entre alimentar las cabezas de ganado y el sistema de riego que se desee implementar. La principal problemática es que varios productores toman agua de la naciente produciendo que el caudal disminuya considerablemente cuando toman el agua al mismo tiempo, siendo más afectados los de las fincas más alejadas. Por la problemática anterior, existe de igual manera la necesidad del uso de sistemas de cosechas de agua (reservorios) en la finca para abastecer de agua permitiendo la continuidad de las actividades agrícolas y ganaderas. La finca tiene la característica que presenta una topografía muy irregular y con muchas piedras, no cuenta con corriente eléctrica, sin embargo, utilizan un panel solar para la generación de electricidad.

En el caso de la Finca El Coyolito es propiedad de la señora Ramona Álvarez Ramírez, tiene alrededor de 22 hectáreas y la finca se dedica principalmente a la ganadería, sin embargo, también es de uso agrícola. Se quiere implementar el riego por goteo para el cultivo del maíz, con el fin de ensilar y así tener materia prima para alimentar el ganado, el suministro de agua de la finca es del río Irigaray, aunque también cuentan con un pozo.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Diseñar dos propuestas para un sistema de riego por goteo para chile dulce (*Capsicum annuum*) y un sistema de riego por goteo para maíz (*Zea mays*) mediante el estudio agronómico, hidráulico, ambiental, social y económico con el fin de satisfacer la demanda de ambos cultivos, localizados en Finca Rancho El Tecal y en Finca El Coyolito, respectivamente, en Cañas Dulces, Liberia.

1.2.2 Objetivos específicos

OE1. Establecer el estudio agronómico en ambas fincas con el fin de conocer los requerimientos hídricos de cada uno de los cultivos.

OE2. Determinar los cálculos hidráulicos necesarios para las dos propuestas de sistemas de riego por goteo que cumplan con la demanda hídrica del cultivo de chile dulce en función del caudal disponible y del área total de riego en Finca Rancho el Tecal.

OE3. Determinar los cálculos hidráulicos necesarios para un sistema de riego por goteo que cumpla con la demanda hídrica del maíz en Finca El Coyolito

OE4. Seleccionar la propuesta más viable para el riego de chile dulce en Finca Rancho El Tecal a partir del análisis ambiental, social y económico.

OE5. Establecer la viabilidad del sistema de riego diseñado para Finca El Coyolito.

CAPÍTULO 2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 Chile dulce

2.1.1 Aspectos históricos

Según Carrillo y Campos (2007), el chile dulce o pimentón pertenece a la familia de las solanáceas (Solanaceae) y es la principal variedad cultivada del género *Capsicum*, el cual tuvo su origen en el continente americano, probablemente en el sur de Brasil, pero la especie *Capsicum annuum* fue domesticada en México pues fue cultivada extensamente desde la época precolombina.

2.1.2 Generalidades del chile dulce

El chile dulce se puede cultivar en zonas donde la temperatura media anual está en el rango de 13 a 24 °C. Dentro de este ámbito, las temperaturas altas aumentan la tasa de crecimiento del cultivo y las bajas lo reducen. Con relación a las necesidades de agua la planta de chile al igual que la mayoría de los vegetales, absorbe el agua que necesita por las raíces junto con los nutrientes minerales disueltos. En condiciones normales de temperatura la planta se desarrolla bien a una humedad relativa del aire entre el 50% y 70%. La humedad relativa más elevada, si bien es beneficiosa para el desarrollo de la planta, tiene el inconveniente de favorecer el desarrollo de enfermedades fungosas. En cuanto a la luz es una planta muy exigente sobre todo en la época de la floración; la sombra en el campo puede ser benéfica para el cultivo, por reducir el estrés de agua y disminuir el efecto de la quema de frutos por el sol; sin embargo, el exceso de sombra reduce la tasa de crecimiento del cultivo y también puede provocar el aborto de flores y frutos. El chile dulce se adapta a altitudes de 0 a 3000 msnm de acuerdo al cultivar sembrado. Las distancias de siembran oscilan entre 70 a 120 cm entre hileras y entre plantas de 40 a 60 cm, para densidades de 15 000 a 25 000 plantas por hectárea. En ambientes protegidos la distancia entre plantas es de 0,25 m y entre hileras de 1,20 m para una densidad aproximada de 20 000 plantas. (Carrillo & Campos, 2007)

Para el cultivo del chile se recomiendan suelos livianos, de textura areno arcillosa, profundos, con un buen drenaje, con un pH de 5,5 a 6,5 ya que el cultivo es moderadamente tolerante a la acidez. El chile dulce tiene una raíz pivotante, que luego desarrolla un sistema radicular lateral muy ramificado que puede llegar a cubrir un diámetro de 0,90 a 1,20 metros, en los primeros 0,60 metros de profundidad del suelo. (Orellana et al., s. f.)

2.2 Maíz

2.2.1 Aspectos históricos

El maíz (*Zea mays* L.) pertenece a la familia de las gramíneas y se cree que se originó en los trópicos de América Latina. (Deras, 2012)

Constituye la base de la alimentación de los latinoamericanos, ocupando el tercer lugar en la producción mundial después del trigo y el arroz. En el caso de Costa Rica, ha sido tradicionalmente sembrado por pequeños productores (85%) cuyas áreas de siembra han oscilado entre 1,5 y 3,0 hectáreas. (Bonilla & Vargas, 2008)

2.2.2 Generalidades del maíz

Según Bonilla y Vargas (2008), algunas de las generalidades del maíz son la temperatura, profundidad radicular, condiciones edáficas, entre otras, las cuales se detallarán a continuación.

La planta requiere un clima relativamente cálido y agua en cantidades adecuadas, por ejemplo, la cantidad de agua durante la temporada de crecimiento no debe ser menor de 300 mm. Este tipo de cultivo requiere suelos profundos, ya que las raíces necesitan entre 0,8 y 1,0 m de profundidad para su desarrollo normal, así como suelos bien drenados. La distancia de siembra mecanizada está entre 75 hasta 90 cm entre surco, para los de porte alto y entre 20 y 25 cm entre plantas. Para la siembra a espeque se recomienda 75 cm entre hileras por 50 cm entre golpes de siembra y tres semillas por sitio de siembra.

La falta de agua es el factor más limitante en la producción de maíz en las zonas tropicales. Cuando hay estrés hídrico o sequía durante las primeras etapas (15 a 30 días) de establecido del cultivo puede ocasionar pérdidas de plantas jóvenes, reduciendo así la densidad poblacional o estancar su crecimiento. El maíz posee buen desarrollo vegetativo que puede alcanzar hasta los 5 metros de altura en altitudes superiores a los 1,000 metros sobre el nivel del mar (msnm). (Deras, 2012)

2.3 Propiedades físicas del suelo

2.3.1 Textura

Está determinada por la conformación granulométrica o composición mecánica del suelo e indica la proporción que existe entre las diferentes fracciones de tamaño de partículas sólidas o fracciones granulométricas: arena, limo y arcilla que corresponden a los siguientes rangos de tamaño de partículas como se muestra en el Cuadro 2.1. (Vasquez, Vasquez, Vasquez, & Cañamero, 2005)

Cuadro 2.1 Rangos de tamaño de partículas.

| Fración granulométrica | Rango de tamaño de partículas (mm) |
|-------------------------------|---|
| Arena gruesa | 2-0,2 |
| Arena fina | 0,2-0,02 |
| Limo | 0,02-0,002 |
| Arcilla | <0,002 |

(Fuente: Vasquez et al., 2005)

Para determinar la clase textural del suelo, es necesario realizar un análisis de laboratorio cuyos resultados se interpretan a través del “Triángulo de Textural” (Anexo 2). Se puede distinguir doce clases texturales. Éstas se pueden agrupar en tres denominaciones de carácter más general:

- a) Suelos de textura gruesa o ligera.
- b) Suelos de textura media.
- c) Suelos de textura fina, pesada o arcillosa.

Según estas agrupaciones corresponden las siguientes clases texturales que se muestran en el Cuadro 2.2.

Cuadro 2.2 Clases texturales.

| Suelos de textura gruesa | Suelos de textura media | Suelos de textura fina |
|---------------------------------|--|---|
| Arenas Arenosos francos | Franco arenosa Franco arcillo arenosa Franco limosa Limosa Franco arcillo limosa | Arcilla Arcillo limoso Arcillo arenoso Franco arcilloso Franco arcillo limoso |

(Fuente: Vasquez et al, 2005)

2.3.2 Disponibilidad de agua en el suelo

Se considera que el agua disponible (o agua útil) para las plantas es la que se encuentra entre los niveles de capacidad de campo y el punto de marchitamiento. (Ibáñez, 2006)

2.3.2.1 Capacidad de campo (CC)

Según EcuRed (s.f.), se denomina capacidad de campo a la cantidad de agua humedad que es capaz de retener el suelo luego de saturación o de haber sido mojado abundantemente y después dejado drenar libremente, evitando perdida por evapotranspiración hasta que el potencial hídrico del suelo se estabilice.

2.3.2.2 Punto de marchitez permanente (PMP)

El mismo autor señala que la tensión máxima que puede realizar un cultivo para extraer el agua del suelo. A partir de allí, esa planta en esas condiciones de humedad no tendrá posibilidades de abastecerse de agua.

En el Cuadro 2.3 se puede observar un resumen de capacidad de campo y punto de marchitez permanente de diferentes tipos de suelos.

Cuadro 2.3 Propiedades físicas de diferentes tipos de suelo.

| Textura del suelo | Capacidad de campo (%) | Punto de marchitez permanente (%) |
|--------------------------|-------------------------------|--|
| Arenoso | 5-16 | 2-6 |
| Franco arenoso | 10-20 | 4-8 |
| Franco | 15-30 | 8-12 |
| Franco arcilloso | 25-35 | 11-15 |
| Arcilloso limoso | 27-40 | 13-17 |
| Arcilloso | 30-70 | 15-19 |

(Fuente: Flores & Alcalá, 2010)

2.3.3 Densidad aparente

La densidad aparente es la característica que en mayor grado influye en sobre la productividad de los cultivos por su relación con otras propiedades del suelo. Cuando la densidad aparente del suelo aumenta, se incrementa la compactación y se afectan las condiciones de retención de humedad, limitando a su vez el crecimiento de las raíces, esta es afectada por las partículas sólidas y por el espacio poroso, el cual está determinado principalmente por la materia orgánica del suelo, a medida que aumenta esta y el espacio poroso disminuye la densidad y viceversa. (Salamanca & Siavosh, 2005)

En el Cuadro 2.4 se presentan los valores representativos de densidad aparente para las diferentes clases texturales.

Cuadro 2.4 Densidad aparente para diferentes texturas.

| Textura | Densidad aparente (Dap) (Mg/cm3) |
|------------------|---|
| Arenoso | 1,55-1,8 |
| Franco Arenoso | 1,40-1,60 |
| Franco | 1,00-1,30 |
| Franco Arcilloso | 1,30-1,40 |
| Arcillo Limoso | 1,30-1,40 |
| Arcilloso | 1,20-1,30 |

(Fuente: Flores & Alcalá, 2010)

La determinación de la densidad aparente se puede efectuar mediante diferentes métodos, por ejemplo, el método del anillo volumétrico, es el más utilizado y consiste en extraer una muestra de suelo no alterada, mediante un cilindro de volumen conocido y a la profundidad deseada, luego se incrusta en el suelo y se saca la muestra de suelo, se lleva al horno y se pesa el suelo seco, el peso obtenido entre el volumen del cilindro da como resultado la densidad aparente. (Vasquez et al., 2005)

Una de las desventajas de tomar la muestra con el cilindro, es que el valor puede variar con el tamaño del cilindro, siendo mayor la densidad cuando menor es el tamaño del cilindro, a causa de que no se captan los poros de mayor diámetro. En general, el método presenta poca variación y su determinación es sencilla. (Rojas, 2012)

2.4 Riego

Es la aplicación oportuna y uniforme de agua a un perfil del suelo para restituir la cantidad consumida por evapotranspiración de los cultivos entre riegos consecutivos (Villalobos, 2008).

En la actualidad existen distintos tipos de riego que facilitan al agricultor compensar el déficit de precipitaciones y los suministros necesarios para el crecimiento de las plantas. (Agroware, 2016)

2.5 Tipos de riego

2.5.1 Riego por Gravedad

Según Agroware (2016), el riego por gravedad, también llamado riego de superficie, consiste en la distribución del agua a través de canales o surcos, que se disponen a lo largo del área de cultivo. Una vez se discurra el agua por los canales, la fuerza de gravedad se encargará de distribuirla a través de la superficie sembrada.

2.5.2 Riego a presión

En el caso del riego a presión el objetivo principal es permitir llevar agua de una zona concreta a otra que, de otra manera no sea posible, se utiliza este tipo de riego para poder solventar diferencias de alturas proporcionando energía potencial y después energía cinética. (Agriculturers, s.f.)

En el riego a presión existen una variedad de tipos entre ellos están, riego por aspersión, microaspersión y goteo, en este apartado le daremos mayor enfoque al riego por goteo.

2.6 Riego por goteo

El riego por goteo es un sistema presurizado donde el agua se conduce y distribuye por conductos cerrados que requieren presión. Desde el punto de vista agronómico, se denominan riegos localizados porque humedecen un sector de volumen de suelo, suficiente para un buen desarrollo del cultivo. También se le denomina de alta frecuencia, lo que permite regar de una a dos veces por día, todos o algunos días, dependiendo del tipo de suelo y las necesidades del cultivo. (Liotta, 2015)

Este tipo de riego presenta algunas ventajas e inconvenientes por encima de otros tipos de riego. A continuación, se mencionarán algunas de estas en comparación con riego por aspersión. (InfoAgro, s. f.)

2.6.1 Ventajas

- a) Supone un ahorro de agua importante, debido a la reducción de la evapotranspiración y, de las pérdidas de agua en las conducciones y durante la aplicación, a la alta uniformidad de riego, siempre que el sistema esté bien diseñado y mantenido.
- b) Es posible mantener el nivel de humedad en el suelo más o menos constante y elevado, sin que lleguen a producirse encharcamientos que provoquen la asfixia radicular o faciliten el desarrollo de enfermedades.
- c) Hace posible la fertirrigación, lo que conlleva un ahorro de fertilizantes y de mano de obra, una mejor distribución de estos en el tiempo y en el espacio.
- d) Permite la aplicación de otros productos, a parte de los fertilizantes, a través del agua de riego.
- e) Facilita el control de malas hierbas, ya que éstas se localizan tan sólo en el área húmeda.
- f) El gasto energético es menor, debido a la reducción de los consumos de agua y a las menores necesidades de presión.
- g) Se reduce la mano de obra necesaria para el manejo del riego.
- h) Se presta a una fácil automatización.

2.6.2 Desventajas

- a) Facilidad de obstrucción de los emisores.
- b) Aumento del costo de las instalaciones respecto a otros sistemas de riego.
- c) Necesidad de presión para su funcionamiento.
- d) Creación de zonas de acumulación salina, debido al lavado localizado de sales, de forma que son necesarios riegos por inundación u otro sistema para el lavado de sales.

2.6.3 Componentes de un sistema de riego por goteo

Según Villalobos (2018), los componentes de un sistema de riego por goteo son los siguientes:

2.6.3.1 Cabezal de riego

Está ubicado próximo al abastecimiento de agua. Comprendido por el conjunto de motobomba, sistema de filtrado, fertilización y control de presiones y caudales.

En el caso de la motobomba es la encargada de suplir el caudal y la presión necesaria, generalmente no forma parte del cabezal de riego. Dependiendo de las diferencias de altura entre el sistema a regar y la fuente de agua en algunos casos esta no es necesaria, en el caso del sistema de filtrado, es el corazón de este tipo de riego, debido a que depende de este el buen funcionamiento del sistema.

2.6.3.2 Red de distribución

Las tuberías más utilizadas son de cloruro de polivinilo (PVC) y de polietileno. El PVC se usa en diámetros superiores a 50 mm para las líneas de distribución primaria, secundaria y terciaria. Las tuberías se clasifican por clases de acuerdo a la presión de trabajo que tienen expresada en kg/cm^2 . (Liotta, 2015)

2.6.3.3 Goteros o emisores

Según Liotta (2015), existe una gran variedad de goteros de diferente forma y configuración para disipar la presión. Los más utilizados operan con caudales entre 1 y 4 l/h. En el caso de las cintas, estas poseen emisores, normalmente espaciados entre 0,20 a 0,60 m. Su uso es más frecuente en cultivos de temporada (hortalizas) y trabajan con presiones inferiores a 10 mca.

Los emisores se clasifican según Liotta (2015) en:

Autocompensados: Estos tienen la particularidad de mantener el mismo caudal, aunque varíe la presión. Su uso es más frecuente en terrenos ondulados, con pendientes pronunciadas y para longitudes extensas.

No compensados: No tiene mecanismo de regulación de caudal y varía en función de la presión. Puede funcionar con menor presión que los autocompensados y son más económicos.

2.6.3.4 Dispositivos para estimar necesidades de riego

La manera que se utilicen estos componentes depende de varias características, por ejemplo, el tamaño del sistema, la fuente de agua, la cosecha y el grado de automatización que se desee. Entre ellos están el manual y el computarizado. (Harper & Jarret, 2016)

2.7 Diseño agronómico de riego por goteo

Todo sistema de riego requiere de un diseño agronómico en el cual se debe tener en cuenta las características del suelo, cultivos a realizar, distancia de plantación. Esta información proporciona datos básicos para el posterior diseño hidráulico como caudal por planta, tiempo de riego, etc. (Liotta, 2015)

A continuación se presentan parámetros para realizar el diseño agronómico de un sistema de riego por goteo.

2.7.1 Lámina neta (L_n)

Según Flores (2011), la lámina neta de aplicación de agua es la cantidad de agua que debe de ser aplicada durante el riego con el fin de cubrir el agua que ha utilizado el cultivo durante la evapotranspiración. Para el cálculo de la lámina neta se toman en consideración otros parámetros, entre estos:

2.7.1.1 Porcentaje del área humedecido (PAR)

Según Villalobos (2015), en riego por goteo no se humedece el 100% del área; sino que un porcentaje. Se ha comprobado que regando el 50% del potencial de raíces se han obtenido excelentes resultados. En espaciamientos largos los valores de PAR no deberían ser muy altos, ya que se perdería una de las ventajas del riego por goteo. El porcentaje de suelo que humedece el gotero depende del caudal de éste, tipo de suelo y tiempo de riego, se dice que debe de estar en un rango entre un 30 y un 70%.

Generalmente se recurre a tablas que dan valores de humedecimiento de acuerdo al caudal del gotero, espaciamiento de este en la línea y espaciamiento entre líneas. Uno de estos cuadros es el propuesto por Kéller y Karmelli el cual será de uso para realizar los diseños. (Anexo 1)

2.7.1.2 Agotamiento permisible (Ag)

Aunque las plantas pueden extraer agua del suelo hasta un nivel de humedad que corresponde con el límite inferior, existe un nivel de humedad entre el límite superior y el inferior a partir del cual las raíces encuentran mayor dificultad para extraer el agua y se produce una disminución en la transpiración, esto se denomina nivel de agotamiento permisible. En programación de riegos suele emplearse muy frecuentemente un valor entre 0,6 y 0,8. Un valor de 0,65 se considera adecuado, pero en cultivos de alto valor económico, no debe usarse un valor de agotamiento mayor de 0,5 para asegurar que el cultivo no sufrirá en ningún momento falta de agua y que esto pueda disminuir la producción. (AgroEs, 2019)

La humedad correspondiente al nivel de agotamiento permisible es la cantidad de agua que el suelo debería tener siempre, como mínimo, para que la producción fuera siempre la máxima posible. (AgroEs,2019)

2.7.2 Evapotranspiración del cultivo (Etc)

Para determinar la evapotranspiración del cultivo (Etc) se multiplica la Eto por el coeficiente de cultivo. (FAO, 2006)

2.7.2.1 Evapotranspiración potencial (Eto)

La estimación de la evapotranspiración potencial (Eto) es importante en el uso del agua con aplicaciones agrícolas, ecológicas y otras actividades de planeación. La Eto es la máxima cantidad de agua capaz de ser perdida por una capa continua de vegetación que cubre todo el terreno, cuando la cantidad de agua suministrada al suelo es ilimitada. (Segura & Ortiz, 2017)

En la actualidad existen Softwares que facilitan el cálculo de estos parámetros, los cuales se mencionarán a continuación.

CLIMWAT

Según la FAO (2019), CLIMWAT es una base de datos climática que se utiliza en combinación con el programa informático CROPWAT y permite el cálculo de las necesidades de agua de los cultivos, el suministro de riego y la programación del riego para varios cultivos para una variedad de estaciones climatológicas en todo el mundo.

CLIMWAT proporciona valores medios mensuales a largo plazo de siete parámetros climáticos, algunos de ellos son: temperatura máxima diaria media, temperatura mínima diaria media, humedad relativa media, velocidad media del viento, evapotranspiración de referencia calculada con el método Penman-Monteith.

CROPWAT

Es un programa que utiliza el método de la FAO Penman-Monteith para determinar la evapotranspiración de los cultivos. CROPWAT es un programa de computación que puede

ser usado para el cálculo de los requerimientos de agua de los cultivos y de sus requerimientos de riego en base a datos climáticos y de cultivo ya sean existentes o nuevos. (Solano, 2016)

2.7.2.2 Coeficiente de cultivo (*K_c*)

El objetivo del uso del *K_c* es la determinación de la Etc que se basa en la información meteorológica medida a nivel local, es decir, en el área cercana y representativa de la zona de cultivo. La Etc obtenida representa el límite máximo de evapotranspiración del cultivo cuando no existen obstáculos al crecimiento de este debido a limitaciones de agua. (Portalfrutícola, 2016)

En el Cuadro 2.5 se pueden apreciar valores de *K_c* para diferentes cultivos, entre ellas el chile dulce y el maíz.

Cuadro 2.5 Valores de K_c para diferentes cultivos.

| Cultivo | K ini | K med | K fin |
|----------------|--------------|--------------|--------------|
| Berenjena | 1,05 | 0,90 | 0,8 |
| Pimiento dulce | 1,05 | 0,90 | 0,7 |
| Tomate | 1,15 | 0,70-0,90 | 0,6 |
| Cebada | 1,15 | 0,25 | 1 |
| Avena | 1,15 | 0,25 | 1 |
| Maíz | 1,20 | 0,6 | 1 |
| Arroz | 1,20 | 0,90-0,60 | 1 |

(Fuente: FAO, 2006)

2.7.3 Frecuencia de riego

La frecuencia de riego debe de variar dependiendo del tipo de suelo, por ejemplo, un suelo arcilloso puede ser regado con una frecuencia menor que un suelo arenoso, ya que el suelo arcilloso retiene más agua que un suelo arenoso, sin embargo, los riesgos no pueden ser muy intensos porque la capacidad de infiltración es baja y hay alto riesgo que ocurra escorrentía. (Hernández, s.f.)

2.7.4 Lámina bruta (Lb)

Cuando se aplica el riego hay pérdidas las cuales se deben a la eficiencia del riego, para los sistemas de riego por goteo se han establecido valores de eficiencias de 90%. Con este dato ajustamos la lámina de riego neta (Ln), este será el valor de la lámina de agua que aplicaremos al suelo mediante el riego, con el fin de restituir la capacidad de campo del mismo. (Chow, s.f.)

2.7.4.1 Eficiencia de riego

La eficiencia en riego por goteo depende de dos factores, el coeficiente de uniformidad de riego y la relación de transpiración. A continuación, se definirán cada uno de los parámetros, según Villalobos (2015).

Relación de transpiración (TR): Es la relación entre el agua necesaria para el cultivo y la aplicada. Los valores se encuentran comprendidos entre 0,80 y 0,90.

Coeficiente de uniformidad (CU): Mide el volumen de descarga de los emisores, con lo cual se puede determinar si el sistema de riego presurizado, se encuentra funcionando de la manera adecuada (Villacencio & Villablanca, 2011). Se puede estimar un valor superior o igual al 80%.

En el Cuadro 2.6 se muestran los valores de TR en función de la profundidad de raíces y textura del suelo.

Cuadro 2.6 Relación de transpiración en función de la textura y la profundidad de raíces para riego por goteo.

| 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 |

(Fuente: Villalobos, 2015)

2.7.5 Tiempo de riego

El tiempo de riego en sistemas localizados está dado por el caudal de los emisores utilizados, el número de emisores que riegan el área y eficiencia de aplicación del método de riego, que es del orden de 80% a 90%. (Uribe & Maldonado, 2015)

Según Villalobos (2015), el tiempo de riego es un volumen sobre un caudal (caudal por hora, que se obtiene mediante la multiplicación del número de goteros de cada unidad por el caudal del gotero.)

2.7.6 Caudal disponible

Según Arias et al. (2016), el aforo es la operación de medición del volumen de agua en un tiempo determinado. La medición o aforo de agua del río o de cualquier curso de agua es importante desde los puntos de vista, como:

- a) Saber la disponibilidad de agua con que se cuenta.
- b) Distribuir el agua a los usuarios en la cantidad deseada.
- c) Saber el volumen de agua con que se riegan los cultivos.
- d) Poder determinar la eficiencia de uso y de manejo del agua de riego.

Los métodos de aforo para medir un caudal de agua se pueden clasificar en tres grupos que son, métodos de aforo directo, métodos de área-velocidad, métodos que utilizan contracciones.

2.7.6.1 Métodos de aforo directo

Expresan el caudal como una función de volumen sobre tiempo. Entre ellos se tienen el aforo gravimétrico, volumétrico, químico y los medidores de hélice. Otro método de aforo directo consiste en medir el descenso en el nivel del agua y el tiempo de vaciado en un depósito con dimensiones conocidas. (Arias et al., 2016)

Aforo volumétrico

El aforo volumétrico consiste en recoger en un tiempo específico una cantidad de material que se está aforando o recoger un volumen específico midiendo el tiempo utilizado en la recolección de este. (UTP, 2006)

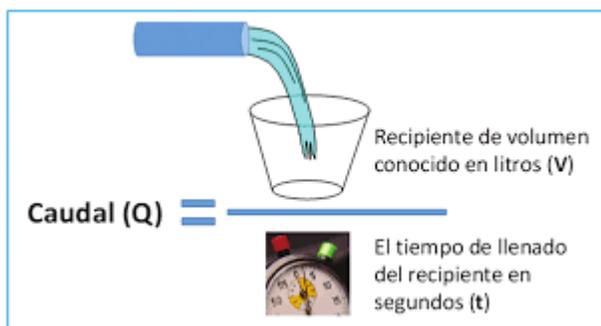


Figura 2.1 Aforo Volumétrico.

(Fuente: Delgadillo, 2014)

Aforo químico o del trazador

Esta técnica se usa en aquellas corrientes que presenten dificultades para la aplicación del método área velocidad o medidas con estructuras hidráulicas, como en corrientes muy anchas en ríos torrenciales. Los trazadores pueden ser de tres tipos, químicos, fluorescentes y materiales radioactivos. (Paz, 2018)

2.7.6.2 Métodos Área-Velocidad

Consiste en determinar el área de una sección transversal de la corriente y la velocidad del agua a través de ésta; la primera por medio de sondeos y la velocidad por cualquiera de los métodos que se describen posteriormente. (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, 1992)

Método del flotador

Con este método se miden caudales de pequeños a grandes con mediana exactitud. Conviene emplearlo más en ríos de agua tranquila porque si hay mucho viento y se altera la superficie del agua, el flotador puede no moverse a la velocidad normal. (FAO, s. f.)

Método del molinete

En este método, la velocidad del agua se mide por medio de un instrumento que recibe el nombre de correntómetro que mide la velocidad en un punto dado de la masa de agua. (Franquet, s. f.)

2.7.7 Dotaciones para usos pecuarios y agroindustrial

En el Cuadro 2.7 se muestra el uso de agua para abrevaderos.

Cuadro 2.7 Dotaciones para usos pecuarios.

| | |
|--------------------------|----------------------|
| Ovejas, cabras, terneros | 40 Litros/día/cabeza |
| Equino y bovino | 70 Litros/día/cabeza |

(Fuente: Phillips et al., 2004)

Este manual tiene como objetivo, contar con un criterio técnico para determinar cuáles son las necesidades o requerimientos de agua, para las diferentes actividades que dependen de este recurso. (Phillips et al., 2004)

2.8 Diseño hidráulico

En este diseño se determina en primer lugar la subunidad de riego, donde se tiene en cuenta la tolerancia de presiones y caudales, pérdidas de carga, diámetros de tubería. Para posteriormente diseñar la unidad de riego, el trazado y diámetro de tuberías primarias y secundarias, así como el cabezal de riego. (Liotta, 2015)

2.8.1 Componentes de la red de distribución

Según Agrológica (2019), los componentes de la red de distribución son:

2.8.1.1 Tubería primaria o principal

Es la encargada de conducir el agua desde el cabezal hasta cada sector de riego de nuestra finca. El material escogido (PVC o PE), dependerá de los resultados de los cálculos que realizaremos más adelante, teniendo en cuenta que a partir de 50 mm normalmente se emplea PVC, por ser más económico.

Existen diversas formas de calcular el diámetro de la tubería principal, por ejemplo, un método que se utiliza para determinar el diámetro de tubería a emplear es el de carga unitaria que consiste en seleccionar un diámetro de tubería de tal forma que las pérdidas por fricción no sobrepasen un límite establecido. Un límite que se utiliza muchas veces es el de decir que se admite como pérdida de carga 2,3 metros / 100 metros de longitud de tubería. Este límite da como resultado que algunas veces se coloquen diámetros un poco grandes, sin embargo, también se debe tener en cuenta el costo del equipo, así como de que no se produzcan velocidades superiores a límites establecidos. Algunos de los tipos de tubería que se utilizan más frecuentemente son de PVC y polietileno. A continuación, se explicará en detalle cada una de estas.(Villalobos, 2018)

PVC (Cloruro de Polivinilo)

Las siglas PVC se refieren a las tuberías de Cloruro de Polivinilo. Normalmente las aplicaciones de este tipo de tuberías van destinadas a conducciones de desagües de aguas grises, para uso de conducción de aire y las de conducción de agua con presión. (Novelec, 2018)

Según Villalobos (2018), siempre que la tubería va a estar permanente en el campo, se recomienda utilizar tubería de PVC; esta se debe enterrar ya que se deteriora con los rayos del sol si se deja expuesta. En los casos que éstas deban quedar expuestas se deben pintar para protegerlas. Cuando las tuberías se entierran, se recomienda como norma general en casos de que pasen vehículos sobre la tubería, enterrarlas a una profundidad mínima de 0,8 metros entre la parte superior del tubo y el piso de rodamiento.

Polietileno (PE)

El polietileno es probablemente el material plástico más utilizado del mundo por su sencilla producción, su precio económico y sus múltiples usos. Las ventajas de las tuberías de polietileno frente a otros materiales se pueden resumir en 4 puntos, primeramente, son muy duraderas, son un buen aislante térmico, son resistentes a agentes químicos (excepto disolventes) y son insípidas y no son tóxicas. (García, 2017)

2.8.1.2 Tuberías múltiples

Conducen el agua que circula por la primaria a cada unidad de riego.

2.8.1.3 Laterales (cinta de goteo)

Son las tuberías sobre las que se insertan los goteros. Se disponen en paralelo a las líneas de cultivo.

2.8.2 Accesorios empleados

Algunos de los principales accesorios empleados en los sistemas de riego por goteo según Villalobos (2018) son:

2.8.2.1 Reguladores de presión

Son dispositivos que provocan altas pérdidas de carga y tienen generalmente dos funciones, garantizar la uniformidad de riego al igualar las presiones de funcionamiento y evitar presiones excesivas en las tuberías. (Universidad de Riego, 2017)

2.8.2.2 Válvulas de retención

Las válvulas de retención, conocidas también como válvulas unidireccionales o válvulas check, cierran completamente el paso de un fluido en circulación al mismo tiempo que permiten el fluido libre en el lado contrario. Su principal uso se da en tuberías que están unidas a sistemas de bombeo para impedir que la bomba trabaje en vacío. (Arco, 2019)

2.8.2.3 Válvulas de compuerta

Las válvulas de compuerta se utilizan principalmente para dejar pasar o no un fluido. Las válvulas de compuerta son usadas muy a menudo debido a su fácil accesibilidad, además de que son una opción económica entre otras para cubrir servicios generales. (ABP, s. f.)

2.8.2.4 Válvulas de seguridad

Se trata de una válvula reductora de presión, que se abre y expulsa el exceso de agua cuando la presión supere cierto nivel. (Tuandco, 2015)

2.8.2.5 Válvulas para evacuación de aire

Las ventosas son válvulas encargadas de sacar e introducir aire en las instalaciones de conducción de agua a presión, muy especialmente en sistemas de riego. La presencia de aire acumulado en los sistemas de tuberías, filtrado y bombes puede reducir su rendimiento. El

control del aire dentro de estos sistemas se debe realizar mediante la instalación de ventosas.
(Saleplas, 2018)

2.8.2.6 Manómetros

Los manómetros son dispositivos que miden la presión de trabajo del sistema de riego. Los sistemas de riego tienen que operar con una presión tal que, luego de producirse las pérdidas de presión por conducción del agua, los goteros o emisores deben operar con la presión de trabajo que indican los fabricantes. (Riego, 2013)

2.8.3 Equipo de bombeo

Según Liotta (2015), está constituido por una o más bombas cuyo tamaño y potencia depende de la superficie a regar. El dimensionamiento de la bomba debe ser tal que la presión requerida sea la suficiente para vencer las diferencias de cotas y las pérdidas de carga de todo el sistema. Las más usadas son del tipo centrífuga abastecidas por energía eléctrica como se puede ver en la Figura 2.2



Figura 2.2 Bomba centrífuga de riego.

(Fuente: Liotta, 2015)

Las bombas se caracterizan por los parámetros de funcionamiento (Barsallo, s.f.):

2.8.3.1 Caudal Q

Flujo volumétrico del fluido que se transporta en el sistema de bombeo, se mide en unidades de volumen por unidades de tiempo.

2.8.3.2 Altura H

Cabeza que requiere el sistema de bombeo, es la presión adicional que debe suministrar la bomba para transportar el fluido a través del sistema.

2.8.3.3 Potencia N

Potencia requerida por la bomba de manera que se alcance el cambio de presión para transportar el fluido, generalmente es suministrado por un motor eléctrico.

2.8.3.4 Velocidad de accionamiento

Velocidad de rotación del impulsor de la bomba que está en contacto con el fluido a transportar.

2.8.3.5 Eficiencia η

Eficiencia de la bomba con respecto al motor eléctrico y la cabeza y caudal que exigen el sistema de bombeo.

2.8.3.6 Capacidad de aspiración

El NPSH requerido o depresión crítica, es un indicador de la capacidad de aspiración de una bomba, y es la presión absoluta mínima que debe haber a la entrada de la bomba para que no se evapore el líquido.

La capacidad de aspiración es tanto mejor cuanto menor es el NPSH requerido de la bomba. La capacidad de aspiración de la bomba disminuye al aumentar el caudal, es decir, el NPSH requerido aumenta con el aumento del caudal. (Barsallo, s.f.)

2.9 Clasificación de uso de suelo

2.9.1 Clases del sistema

Según Nuñez (2001), las clases de la clasificación de uso de suelo son las siguientes:

2.9.1.1 Clases I, II, III

Permiten el desarrollo de cualquier actividad incluyendo la producción de cultivos anuales.

2.9.1.2 Clases IV, V, VI

Su uso se restringe al desarrollo de cultivos semipermanentes y permanentes.

2.9.1.3 Clase VII

Tiene limitaciones tan severas que solo permite el manejo del bosque natural primario o secundario. En tierras desnudas se debe de procurar el establecimiento de vegetación natural.

2.9.1.4 Clase VIII

Está compuesta de terrenos que no permite ninguna actividad productiva agrícola, pecuaria o forestal, siendo, adecuada únicamente para la protección de recursos hídricos y forestales, forestales, de vida silvestre o recreación.

2.9.2 Parámetros evaluadores de la capacidad de uso

Los parámetros para subclases de capacidad de uso según Jiménez (1995) son: erosión (e), suelo (s), drenaje (d) y clima (c).

2.9.2.1 Erosión (e):

Pendiente (e1): La pendiente de un terreno se expresa como el grado de declive. O sea, una relación entre las distancias vertical y horizontal de dos puntos, en términos porcentuales. En el Cuadro 2.8 se puede observar una clasificación del relieve con respecto a la pendiente.

Cuadro 2.8 Relieve con respecto al porcentaje de pendiente.

| Relieve | Pendiente (%) |
|------------------------|---------------|
| Plano o casi ondulado | 0-3 |
| Ligeramente ondulado | 3-8 |
| Moderadamente ondulado | 8-15 |
| Ondulado | 15-30 |
| Fuertemente ondulado | 30-50 |
| Escarpado | 50-75 |
| Fuertemente escarpado | Mayor 75 |

(Fuente: Jiménez, 1995)

Erosión sufrida (e2): Daño visible causado a los suelos por la erosión acelerada. Se mide por observación de pedestales, raíces desnudas, formación de pequeños canales, surcos, cárcavas, deslizamientos, remoción de masas, y acumulación de sedimentos al pie de pendientes y vías de desagüe. Las diferentes categorías de erosión:

Nula: Sin síntomas de erosión.

Ligera o leve: Erosión laminar y/o en surcos ligera.

Moderada: Erosión laminar o en surcos, moderada.

Severa: Erosión laminar o en surcos fuertes; o cárcavas incipientes.

Muy severa: Cárcavas profundas o densas.

2.9.2.2 Suelo (s):

Profundidad efectiva (s1): La profundidad efectiva es el espesor de las capas de suelo y del subsuelo que las raíces pueden penetrar sin dificultad, en busca de agua, nutrientes y sostén.

Las categorías de profundidad son:

Muy profundo: Más de 120 cm

Profundo: 90 a 120 cm

Moderadamente profundo: 60 a 90 cm

Poco profundo: 30 a 60 cm

Superficial: Menos de 30 cm

Textura del suelo (s2): La textura se refiere a la proporción porcentual de los tamaños de las partículas de la fracción fina del suelo, menor de dos milímetros de diámetro: arcillas, limos y arenas. Su clasificación se realiza según el triángulo de textura. Las categorías son las siguientes:

Gruesas: arenosa, arenosa franco gruesa y media.

Moderadamente gruesa: arenosa franco fina, franco arenosa media y gruesa.

Medias: franco arenosa fina, franco limosa y limosa

Moderadamente finas: franco arcillosa, franco arcillo limosas, franco arcillo arenosa.

Finas: arcillosa (40 a 60% de arcilla), arcillo arenosa, arcillo limosa

Muy finas: arcillosas (más del 60% de arcilla)

Pedregosidad o rocosidad (s3): Es el contenido de piedras y rocas que interfieren en las labores de labranza, crecimiento radical y movimiento del agua. Las diferentes categorías de pedregosidad o rocosidad son:

Sin pedregosidad: No hay piedras ni rocas, o son tan pocas que no interfieren en la preparación del suelo.

Ligeramente pedregoso: El contenido de piedras o rocas interfiere con la preparación del terreno, pero sin impedir esta labor.

Moderadamente pedregoso: El contenido de piedra o rocas es suficiente para dificultar la preparación del terreno, por lo que la labor se debe desarrollar con cuidado.

Pedregoso: El contenido de piedras y rocas sólo permite la utilización de maquinaria liviana o herramientas de mano para preparar el terreno.

Muy pedregoso: El contenido de piedras o rocas es suficiente para impedir cualquier uso de maquinaria agrícola en la preparación de terrenos.

Fuertemente pedregoso: La superficie se encuentra cubierta de piedras y rocas, las cuales ocupan entre 2000 a 5000 m² / ha. Sólo se podrán usar implementos manuales ocasionalmente.

Extremadamente pedregoso: La superficie se encuentra prácticamente cubierta de piedras y rocas, con más del 50 % cubierta. Se acepta más de 75 % del volumen del suelo con grava.

2.9.2.3 Drenaje (d):

Drenaje (d1): Es la rapidez con que el agua se desplaza, ya sea por escurrimiento superficial o por su movimiento a través del perfil hacia espacios subterráneos. Las diferentes categorías de drenaje son:

Excesivo: El agua se elimina rápidamente del suelo, porque posee texturas muy livianas o pendientes escarpadas y expuestas (sin apreciable cobertura vegetal).

Moderadamente excesivo: El agua se elimina en forma moderadamente rápida por texturas moderadamente gruesas y / o relieve ondulado.

Bueno: El agua se elimina del suelo con facilidad, pero no con rapidez por texturas medias o por suelos arcillosos con buena estructura.

Moderadamente lento: El agua se elimina del suelo con cierta lentitud, de modo que el perfil permanece saturado (humedad excesiva) durante periodos cortos.

Lento: El agua se elimina del suelo con lentitud suficiente para mantenerlo saturado durante periodos muy apreciables de tiempo (3 a 6 meses al año).

Muy lento: El agua se elimina tan lentamente que el suelo permanece saturado por largos períodos de tiempo (6 a 9 meses al año).

Nulo: El agua se elimina del suelo tan lentamente que el nivel freático permanece en la superficie (o sobre ésta) la mayor parte del tiempo (más de 9 meses al año). Presenta gleización a través de todo el perfil.

2.9.2.4 Clima (c)

Zonas de vida (c1): En la Figura 2.3 se muestran las zonas de vida que hay en nuestro país.

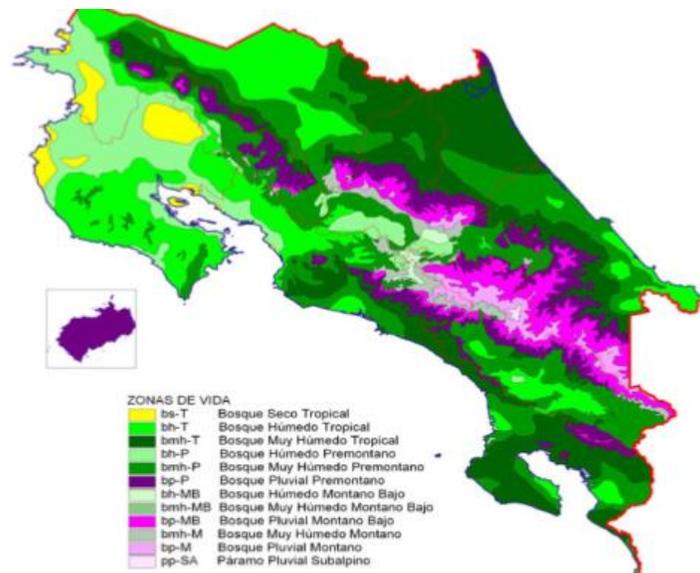


Figura 2.3 Zona de vida de Costa Rica.

(Fuente: Picado, s. f.)

Periodo seco (c2): Periodo seco es el número de meses secos consecutivos. Se consideran meses secos aquellos donde la precipitación es inferior a la mitad de la evapotranspiración potencial. Las categorías de periodos secos son:

Ausente: menor de 1 mes.

Moderado: de 1 a 3 meses.

Fuerte: mayor de 3 meses.

Viento (c4): El viento ejerce un efecto mecánico directo sobre las plantas y desecamiento del ambiente. Las siguientes son las categorías de viento:

Ausente: velocidades promedias inferiores a 15 km por hora. En estas condiciones los árboles crecen verticalmente y expanden sus ramas en todas direcciones.

Moderado: Comprende el viento constante o muy frecuente, con velocidades entre los 15 y 30 km/h que causa problemas moderados en la agricultura, pero con instalaciones de cortinas rompevientos se pueden solventar.

Fuerte: Corresponde al viento que alcanza velocidades superiores a 30 kilómetros por hora, y que tiene frecuencias mayores al 50 % del tiempo.

2.10 Análisis Ambiental

2.10.1 Evaluación Ambiental (Formulario D1-SETENA)

Este proceso consiste en una valoración previa de la actividad, obra o proyecto y el espacio geográfico donde se desarrollará, a fin de determinar, primero, la viabilidad ambiental potencial (VAP) del proyecto respecto a éste, y en caso de que la obtenga, el tipo de evaluación de impacto ambiental que deberá efectuarse. La valoración de viabilidad ambiental, define, que el espacio geográfico donde se implantará la actividad presenta la condición de aptitud natural suficiente para soportar el desarrollo de la actividad, obra o proyecto. Seguidamente, en el caso requerido, el instrumento de impacto ambiental deberá demostrar la capacidad de inserción de la actividad, de forma tal que mantenga un equilibrio ambiental adecuado, y cumpla el objetivo fundamental de armonizar el impacto ambiental con el proceso productivo. (MINAE, 2005)

Según el MINAE (2005), para llenar el formulario ambiental el consultor ambiental responsable y el desarrollador deberán seguir la guía básica, que la SETENA pone a disposición de los usuarios por medio del Manual de Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) de Costa Rica. De conformidad con lo establecido en el Artículo 20 del Reglamento General sobre los Procedimientos de EIA vigente, la actividad, obra o proyecto es potencialmente viable desde el punto de vista ambiental, y en virtud del puntaje de SIA obtenida y fiscalizado por la SETENA, existen tres posibles rutas de decisión en función de la calificación final.

Baja Significancia de Impacto Ambiental (SIA): Declaración Jurada de Compromisos Ambientales

Moderada SIA: Plan de Gestión Ambiental, para lo cual la SETENA brinda al usuario los lineamientos para su elaboración.

Alta SIA: Estudio de Impacto Ambiental (EsIA), para el cual la SETENA brindará los términos de referencia para su confección.

2.10.2 Estudio de Impacto Ambiental

Según la FAO la evaluación de impacto ambiental (EIA) es una herramienta que identifica los posibles impactos ambientales de los proyectos propuestos, con el objetivo de evaluar los enfoques alternativos, y de diseñar e incorporar medidas adecuadas de prevención, mitigación, gestión y monitoreo.

Existen diferentes metodologías para realizar el análisis de impacto ambiental, como por ejemplo métodos de listas, métodos directos, redes de interrelaciones, matrices de interacciones, entre otras. (Viloria, 2015)

Por ejemplo, el método de Arboleda, el cual se encuentra dentro de los métodos directos, este método permite identificar las acciones que generan mayor impacto, mediante la cuantificación de estas. (Villagra, 1993)

2.11 Análisis Económico

Una de las fases más importantes antes de comenzar cualquier proyecto, con independencia de cuáles sean sus características, es realizar un estudio de viabilidad, con el propósito de analizar si su puesta en marcha es factible o no. Sin embargo, la eficacia del estudio dependerá de si se han tenido en cuenta todos los factores que intervienen en el proceso y que pueden suponer un grave riesgo para el éxito del mismo. (Universidad de Barcelona, 2020) Los principales conceptos que abarca una evaluación económica, son los siguientes:

2.11.1 Valor Actual Neto (VAN)

El VAN hace referencia a las ganancias que tiene un proyecto, teniendo siempre en cuenta tanto la inversión inicial, como la previsión de ingresos y gastos futuros. (Gascó, 2019)

El VAN sirve para generar dos tipos de decisiones, ver si las inversiones son efectuales y ver qué inversión es mejor que otra en términos absolutos. (Velayos, s. f.)

Los criterios de decisión según Velayos (s.f.), son los siguientes:

Si el VAN > 0: El valor actualizado de los cobros y pagos futuros de la inversión, a la tasa de descuento elegida generará beneficios.

Si el VAN = 0: El proyecto de inversión no generará ni beneficios ni pérdidas, siendo su realización, en principio indiferente.

Si el VAN < 0: El proyecto de inversión generará pérdidas, por lo que deberá ser rechazado.

2.11.2 Tasa Interna de Retorno (TIR)

La tasa interna de retorno mide la rentabilidad de un determinado proyecto o negocio, además permite compararlo con la de otros proyectos en pro de conocer cuál sería una mejor

inversión para la empresa y sus accionistas. Cuanto mayor sea la TIR, más probable debe ser llevar a cabo dicho proyecto. (Riquelme, 2018)

Según Sabalza (2006), cuanto más alta sea el TIR más alta será la rentabilidad esperada del negocio y, al revés, cuanto más baja la TIR más riesgo corremos al realizar la inversión. Si el TIR es mayor que el costo de oportunidad del capital, entonces el capital del proyecto evaluado genera una rentabilidad mayor que la que puede ser generada por la mejor alternativa de inversión. En ese caso es recomendable apostar por el proyecto.

La TIR se analiza de la siguiente manera:

$TIR > K$ (capital) $VAN > 0$: Se elige el proyecto

$TIR < K$ (capital) $VAN < 0$: No se elige el proyecto

$TIR = K$ (capital) $VAN = 0$: No se elige el proyecto

2.12 Análisis Social

La evaluación de impacto social (EIS) es un proceso que incluye metas específicas, etapas, resultados contrastables, tales como informes y planes. La EIS, al igual que la EIA, pasó de definirse como un estudio o un informe a considerarse un proceso, con múltiples etapas y productos, que deben coordinarse e integrarse en el ciclo del proyecto. Se define la EIS como los procesos de análisis, seguimiento y gestión de las consecuencias sociales previstas y no previstas, tanto positivas como negativas, de las intervenciones planificadas (políticas, programas, planes y proyectos) y de cualquier proceso de cambio social invocado por dichas intervenciones. (BID, s.f.)

Según el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) la EIS mejora la calidad del diseño y la ejecución de los proyectos de muchas maneras. Algunas de ellas son las siguientes:

Evaluación y gestión de los riesgos y beneficios relacionados con el proyecto: Uno de los principales objetivos de la EIS es identificar y gestionar los posibles impactos adversos y maximizar los beneficios del proyecto para las comunidades locales y otros grupos.

Comprensión y apoyo local: Al tratar las necesidades y prioridades locales, el proceso de la EIS ayuda a fortalecer la comprensión y el apoyo local al proyecto.

Eficiencia y eficacia en la ejecución de los proyectos: Durante la ejecución, la EIS proporciona información y establece un marco para la participación continua de las partes interesadas, lo cual permite una gestión de proyectos flexible, con diálogo constante y más económicamente efectiva.

Evaluación de los resultados e impactos del proyecto: El proceso de elaboración de una EIS incluye el levantamiento de datos de referencia sólidos, que proporcionen la base y los medios para evaluar los resultados e impactos sociales de un proyecto.

CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA

3.1 Reconocimiento del lugar

3.1.1 Materiales utilizados

- a) Libreta de campo.

3.2 Levantamiento de GPS

3.2.1 Materiales utilizados

- a) Libreta de campo.
- b) 1 GPS.

Se recolectó información dentro de las fincas en diferentes lugares, con la finalidad de conocer las coordenadas de algunos puntos para así georreferenciarlos en las coordenadas CRTM05.

3.3 Levantamiento topográfico

3.3.1 Materiales utilizados

- a) Estación total.
- b) Prisma y brújula.
- c) Libreta de campo.
- d) Cinta métrica.
- e) Estacas y clavos.

Los datos obtenidos se procesarán mediante algunos softwares (QGIS, AutoCAD, CivilCAD) para los diseños topográficos y la georreferenciación de los lugares.

3.4 Estudio de suelos

3.4.1. Textura del suelo

- a) Tamiz de 2 mm.
- b) Balanza digital.
- c) Suelo seco del lugar de estudio
- d) Probeta.
- e) Beaker.
- f) Termómetro.
- g) Batidora eléctrica.
- h) Hidrómetro.
- i) Piseta.
- j) Agitador.

Se recolectó suelo en diferentes sitios de los terrenos en estudio, para determinar la textura presente en las áreas utilizando el método de Bouyoucos (Anexo 20), este método se desarrolló en el laboratorio de la Escuela de Ingeniería Agrícola.

Finalmente, se determinó la textura del suelo de cada una de las áreas, utilizando el triángulo textural (Anexo 1).

3.4.2 Capacidad y punto de marchitez permanente

Para el valor de capacidad de campo (CC) y punto de marchitez permanente (PMP), estos fueron determinados mediante las Cámaras de Richards en el laboratorio de suelos de la Escuela de Ingeniería Agrícola. Se utilizaron dos muestras de suelo de cada finca tanto para obtener el valor de capacidad de campo como para el punto de marchitez permanente. Dichas muestras fueron colocadas en la Cámaras de Richards a 0,33 atmósferas (CC) y 15 atmósferas (PMP), durante un tiempo establecido (alrededor de tres semanas), luego fueron pesadas y llevadas al horno a 105 °C durante 24 horas, y finalmente fueron pesadas nuevamente, y por diferencia de pesos se estableció el porcentaje de ambos, se utilizaron la Ecuación 5 y 6.

$$CC = \frac{Psh - Pss}{Pss} \quad \text{Ecuación 5}$$

$$PMP = \frac{Psh - Pss}{Pss} \quad \text{Ecuación 6}$$

Donde

CC: Capacidad de campo (%)

PMP: Punto de marchitez permanente (%)

Psh: Peso de suelo húmedo (g)

Pss: Peso de suelo seco (g)

3.4.3 Densidad aparente

Para obtener el peso específico se saturó una muestra cilíndrica de suelo, luego se colocó al horno a 105°C durante 24 horas, una vez transcurrido dicho tiempo se pesó la muestra y se midió el volumen del cilindro, el valor obtenido se multiplicó por la densidad del agua, se utilizó la Ecuación 7.

$$Dap = \frac{Pss}{Vol} \quad \text{Ecuación 7}$$

Donde

Pss: Peso de suelo seco (g)

Psh: Peso del suelo húmedo (g)

Vol: Volumen del cilindro (cm³)

Dap: Peso específico aparente del suelo (g/cm³)

3.5 Aforos

Para determinar el caudal disponible en la Finca Rancho El Tecal primero se utilizó el manual de dotaciones para determinar el consumo de agua en abrevaderos para el ganado (Cuadro 2.7) usando el consumo equino y bovino, con la Ecuación 8 se calculó el caudal consumido por los animales. En el caso de que se varíe el número de animales de la finca se variará el caudal consumido por lo que el caudal disponible para el sistema de riego también cambiaría.

$$Q_{cons} = \frac{Q_{animal} \times \text{cabezasdeganado}}{24} \quad \text{Ecuación 8}$$

Donde

Q_{cons} : Caudal consumido por los animales (L/h)

Q_{animal} : Caudal de ganado (L/día/cabeza)

Para ambas fincas se realizó un aforo volumétrico en donde se tomó durante un tiempo cierta cantidad de agua en un recipiente con un volumen establecido. En el caso de Finca Rancho El Tecal se tomaron dos mediciones el mismo día mientras que para El Coyolito fueron tres, de igual manera el mismo día. En el mes de agosto se realizaron las mediciones de Finca El Tecal y en octubre para Finca El Coyolito, ambos meses dentro de la época lluviosa, sin embargo, como es característico de Guanacaste durante este periodo las lluvias fueron escasas. Se calculó el caudal con la Ecuación 9.

$$Q = \frac{V}{t} \quad \text{Ecuación 9}$$

Donde

Q : Caudal (L/h)

V : Volumen (L)

t : Tiempo (h)

En el caso de Finca Rancho El Tecal el caudal disponible se calculó con la Ecuación 10.

$$Q_{disp} = Q - Q_{cons} \quad \text{Ecuación 10}$$

Donde

Q_{disp} : Caudal disponible (L/h)

Q_{cons} : Caudal consumido (L/h)

Q : Caudal aforo (L/h)

3.6 Clasificación de uso de suelo en Finca Rancho El Tecal

En Finca Rancho El Tecal el diseño de sistema de riego por goteo se pretendía implementar en dos áreas, sin embargo, al realizar la inspección de campo, en uno de los terrenos se logró observar que existía un porcentaje considerable de pedregosidad, por lo que se realizó una calicata con el fin de conocer la profundidad efectiva del suelo y así determinar si era posible implementar el cultivo de chile dulce en el área.

Se utilizó la clave de bolsillo de Diógenes Cubero para determinar la capacidad de uso de suelo en esta área. Es importante acotar que esta área no era utilizada para fines agrícolas. Con la inspección de campo se establecieron algunos de los parámetros de la clasificación con el fin de determinar la clase en la que se encuentra utilizando el Anexo 5, entre los parámetros que se consideraron están, pendiente, profundidad efectiva, textura del suelo, pedregosidad, zonas de vida y período seco.

3.6 Diseño del sistema de riego por goteo

3.6.1. Diseño agronómico

Inicialmente se determinó el porcentaje de área bajo riego (PAR) utilizando el Anexo 1, para esto fue necesario establecer el caudal del gotero a utilizar, tomando en cuenta

parámetros como la textura del suelo y el espaciamiento entre laterales, los cuales permitieron establecer un espaciamiento entre gotero y posteriormente obtener el PAR.

Se calculó la lámina neta con la Ecuación 11, tomando los valores obtenidos de capacidad de campo, punto de marchitez permanente y densidad aparente del suelo mediante las ecuaciones 5, 6, y 7.

$$Ln = \left(\frac{CC-PMP}{100}\right) * Prof * Dap * Agot * PAR \quad \text{Ecuación 11}$$

Donde

Ln: Lámina neta (cm)

CC: Capacidad de campo (%)

PMP: Punto de marchitez permanente (%)

Prof: Profundidad radicular del cultivo (cm)

Dap: Densidad aparente

Ag: Agotamiento (%)

3.6.1.1 Evapotranspiración del cultivo (Etc)

Primeramente, se obtuvo la evapotranspiración potencial (Eto) a través del programa CROPWAT que utiliza la metodología de Penman-Monteith. Este programa usa una base de datos llamada CLIMWAT con el cual se obtuvieron los datos meteorológicos que utiliza CROPWAT con la finalidad de obtener el valor mayor de la Eto en la zona, temperaturas mínimas y máximas, radiación solar, velocidad del viento, entre otras.

Para determinar el valor del coeficiente de cultivo (Kc) se utilizó el Cuadro 2.5, es importante mencionar que en los cuadros que aparecen en la literatura existe un coeficiente de cultivo inicial, medio y final, esto es con respecto a la etapa en que se encuentra la planta, sin embargo, se usará el valor mayor debido a que si se satisface para esta etapa, las otras

también. Finalmente, a través de la Ecuación 12 se obtiene el valor de la evapotranspiración real.

$$Etc = Eto * Kc \qquad \qquad \qquad \text{Ecuación 12}$$

Donde

Etc: Evapotranspiración del cultivo (mm/día)

Eto: Evapotranspiración potencial (mm/día)

Kc: Coeficiente del cultivo

3.6.1.2 Frecuencia de riego (Fr)

Con la evapotranspiración del cultivo (Etc) y lámina neta se determinó la Frecuencia de riego (Fr) utilizando la Ecuación 13.

$$Fr = \frac{Ln}{Etc} \qquad \qquad \qquad \text{Ecuación 13}$$

Donde

Fr: Frecuencia de riego (días)

Ln: Lámina neta (mm)

Etc: Evapotranspiración de cultivo (mm/día)

Cuando la frecuencia de riego genera un número diferente a un número entero este se debe de redondear al valor más bajo cercano y recalculer nuevamente la lámina neta (Lnc) mediante la Ecuación 14.

$$Lnc = Fr * Etc \qquad \qquad \qquad \text{Ecuación 14}$$

Donde

Lnc: Lámina neta recalculada (mm)

Fr: Frecuencia de riego (día)

Etc: Evapotranspiración del cultivo (mm/día)

3.6.1.3 Lámina bruta (Lb)

Con el valor corregido de la lámina neta (Lnc) se determinó la lámina bruta mediante la Ecuación 15.

$$Lb = \frac{Lnc}{Ef} \quad \text{Ecuación 15}$$

Donde

Lb: Lámina bruta (mm)

Lnc: Lámina neta recalculada (mm)

Ef: Eficiencia de aplicación (%)

Para calcular la eficiencia de riego se utilizó la Ecuación 16.

$$Ef = Cu * Tr \quad \text{Ecuación 16}$$

Donde

Cu: Coeficiente de uniformidad

Tr: Relación de transpiración

Para determinar la relación de transpiración se utilizó el Cuadro 2.6 con la textura y la profundidad radicular determinada de cada cultivo.

3.6.1.4 Tiempo de riego

Para determinar el tiempo de riego se utilizó la Ecuación 17.

$$Tr = \frac{Lb * A * 10}{qgot} \quad \text{Ecuación 17}$$

Donde

Tr: Tiempo de riego (h)

A: Área de cultivo que se está regando, es decir el espaciamiento entre plantas e hileras (m²)

Lb: Lámina bruta (mm)

qgot: Caudal del gotero a utilizar (l/h)

3.6.1.5 Número máximo de operaciones

Para calcular el número máximo de operaciones se utilizó la Ecuación 18.

$$N = \frac{Fr * horas\ disponibles}{Tr} \quad \text{Ecuación 18}$$

Donde

Fr: Frecuencia de riego (días)

Tr: Tiempo de riego (horas)

Es importante mencionar que el número de secciones puede ser igual o menor al número máximo de operaciones.

3.6.1.6 Horas a regar por día

Para el cálculo de horas a regar por día se utilizó la Ecuación 19.

$$\frac{Horas}{día} = N \times Tr \quad \text{Ecuación 19}$$

Donde

N: Número de divisiones

Tr: Tiempo de riego

3.6.1.7 Área unitaria

Para determinar el área por sección se determinó con la Ecuación 20.

$$Au = \frac{At}{N} \quad \text{Ecuación 20}$$

Donde

Au: Área unitaria (m²)

At: Área total (m²)

N: Número de secciones

3.6.1.8 Caudal unitario

Se calculó el caudal unitario con la Ecuación 21.

$$qu = \frac{qgot}{Eshileras * Espgoteros} \quad \text{Ecuación 21}$$

Donde

qu: Caudal unitario (l/h/m²)

Eshileras: Espaciamiento entre hileras (m²)

Espgoteros: Espaciamiento entre goteros (m²)

3.6.1.9 Caudal de sección

Con la Ecuación 22 se determinó el caudal del sistema.

$$Qsec = qu * Au \quad \text{Ecuación 22}$$

Donde

Qsec: Caudal de sección (m³/h)

Au: Área unitaria (m²)

qu: Caudal unitario (m³/h/m²)

3.6.1.10 Caudal por unidad lineal

Con la Ecuación 23 se determinó el caudal por unidad lineal.

$$\frac{Q}{m} = \left(\frac{1}{E_g}\right) \times q_{got} \quad \text{Ecuación 23}$$

Donde

Q/m: Caudal por unidad lineal (l/h/m)

Eg: Espaciamiento entre goteros (m)

qgot: Caudal del gotero (l/h)

3.6.1.10 Caudal del sistema

Con la Ecuación 24 se calculó el caudal del sistema.

$$Q_{sist} = \frac{A_u}{E_h} \times Q/m \quad \text{Ecuación 24}$$

Donde

Qsist: Caudal del sistema (l/h)

Au: Área unitaria (m²)

Eh: Espaciamiento entre hileras (m)

Q/m: Caudal unidad lineal (l/h/m)

En el caso de que el alguno de las propuestas se realice con el caudal disponible, se realizó de la siguiente manera; primeramente, con la Ecuación 25 se calculó la longitud de la manguera.

$$L = \frac{Q_{sis}}{Q/m}$$

Ecuación 25

Donde

L: Longitud de la manguera (m)

Q_{sis}: Caudal del sistema o caudal disponible (l/h)

Q/m: Caudal unidad lineal (l/h/m)

Seguido se calculó el área de cada sección mediante la Ecuación 26.

$$a_u = L \times E_h$$

Ecuación 26

Donde

a_u: Área unitaria (m²)

L: Longitud de la manguera (m)

E_h: Espaciamiento entre hileras (m)

Por último, para determinar el área total de diseño se utilizó la Ecuación 27.

$$A_T = A_u \times N$$

Ecuación 27

Donde

A_T: Área total (m²)

A_u: Área unitaria (m²)

N: Número de divisiones

3.6.2. Diseño hidráulico

3.6.2.1 Laterales

Se seleccionó la cinta de goteo utilizando diferentes catálogos comerciales, con algunos parámetros como la diferencia de altura donde van colocados los laterales, el caudal a utilizar, presiones de trabajo, distancia entre goteros, entre otros.

Seguidamente al determinar la cinta de goteo a emplear se calcularon las pérdidas admisibles con la Ecuación 28.

$$H_f = 0,2 * P_o \quad \text{Ecuación 28}$$

Donde

H_f: Pérdidas admisibles (m)

P_o: Presión de operación de la cinta de goteo (mca)

Usando el largo máximo de la cinta de goteo que vienen en los catálogos, el cual se determinó con una pendiente de cero y un espaciamiento entre goteros ya establecido, se calculó el coeficiente “C” mediante la Ecuación 31. Para esto se calculó el número de goteros total (Ecuación 29) que se va tener en esa longitud máxima y el caudal correspondiente (Ecuación 30). Para el factor de salidas (F) se interpoló este valor utilizando el Anexo 8, en el caso de que el número de salidas sea mayor al número máximo de salidas que viene en este se utilizó el valor de 0,3.

$$\#got = \frac{L_{max}}{esp} \quad \text{Ecuación 29}$$

Donde

#got= Número de goteros

L_{max}= Largo máximo (m)

esp= Espaciamiento entre goteros

$$Q = \#got * qgot \quad \text{Ecuación 30}$$

Donde

Q= Caudal del largo máximo o lateral (m³/h)

#got= Número de goteros

qgot= Caudal del gotero (m³/h)

$$C = \left(\frac{1,131 \times 10^9 \times Q^{1,852} \times D^{-4,872} \times L \times F}{Hf} \right)^{1/1,852} \quad \text{Ecuación 31}$$

Donde

C: Coeficiente de material

F: Factor de salidas de la cinta

Hf: Pérdidas admisibles (m)

Q: Caudal (m³/h)

D: Diámetro (mm)

L: Longitud (m)

Luego se recalculó nuevamente el número de goteros con la Ecuación 29, en este caso se utiliza la longitud de mayor medida en campo en donde se colocarán los laterales, debido a que si satisface esta condición, también cumple con las demás. Al tener el número de goteros se procedió a calcular el caudal del lateral con la Ecuación 30.

Para calcular la longitud del lateral se utilizan las Ecuaciones 32, 33 y 34, es importante tener en cuenta la posición del primer gotero, este puede estar en la cabecera del lateral, a la mitad del espaciamiento usado o al espaciamiento completo.

Primer gotero ubicado en la cabecera.

$$Llat = Eg \times (\#got - 1) \quad \text{Ecuación 32}$$

Donde

L: Longitud del lateral (m)

Eg: Espaciamiento entre goteros (m)

#got: Número de goteros

Primer gotero ubicado a Eg/2.

$$Llat = Eg \times (\#got - 0,5) \qquad \text{Ecuación 33}$$

Donde

Llat: Longitud del lateral (m)

Eg: Espaciamiento entre goteros (m)

#got: Número de goteros

Primer gotero a Eg.

$$Llat = Eg \times \#got \qquad \text{Ecuación 34}$$

Donde

Llat: Longitud del lateral (m)

Eg: Espaciamiento entre goteros (m)

#got: Número de goteros

Posteriormente se calcularon las pérdidas reales con la Ecuación 35, utilizando el coeficiente “C” calculado y demás parámetros.

$$Hf = 1,131 * 10^9 * \left(\frac{Q}{C}\right)^{1,852} * D^{-4,872} * L * F \qquad \text{Ecuación 35}$$

Donde

Hf: Pérdidas admisibles (m)

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

C: Coeficiente de material

F: Factor de número de salidas (Cuadro 3.1 o Ecuación 36)

El factor de número de salidas (F) se calculó con la Ecuación 36.

$$F = \frac{1}{m+1} + \frac{1}{2N} + \frac{\sqrt{m-1}}{6N^2} \quad \text{Ecuación 36}$$

Donde

m: Coeficiente que depende del material (1,76 para plástico)

N: Número de salidas

Otra manera de determinar el coeficiente F (factor de número de salidas) es con el uso del Cuadro 3.1, Se determina este valor con respecto a la posición de la primera salida.

- (a) Cuando la distancia desde la entrada del lateral a la primera salida es Ea .
- (b) Cuando la primera salida está en la entrada del lateral.
- (c) Cuando la distancia desde la entrada del lateral a la primera salida es $Ea/2$.

Cuadro 3.1 Coeficiente *F* para laterales de plástico.

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

(Fuente: Villalobos, 2015)

3.6.2.2 Tubería múltiple

Para determinar el diámetro de la múltiple primeramente se calcularon las pérdidas admisibles en la múltiple con la Ecuación 37.

$$Hf_{adm} = 0,2 * P_o \pm \Delta Z \quad \text{Ecuación 37}$$

Donde

Hf_{adm} : Pérdidas admisibles (m)

P_o : Presión de operación (m)

ΔZ : Diferencia de altura (m)

Cuando el terreno presenta algún desnivel se contempla la diferencia de alturas. Por ejemplo, cuando el terreno va subiendo el ΔZ es negativo, caso contrario cuando el terreno va en descenso.

Para calcular el ΔZ total se utilizó la Ecuación 38 y las pérdidas en el múltiple la Ecuación 39.

$$\Delta Z_{total} = \Delta Z_{lat} + \Delta Z_{mul} \quad \text{Ecuación 38}$$

Donde

ΔZ_{total} : Diferencia de altura total (m)

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

ΔZ_{mul} : Diferencia de altura en el múltiple (m)

$$H_{f_{mul}} = H_{f_{adm}} - H_{f_{lat}} \quad \text{Ecuación 39}$$

Donde

$H_{f_{mul}}$: Pérdidas en el múltiple (m)

$H_{f_{adm}}$: Pérdidas admisibles (m)

$H_{f_{lat}}$: Pérdidas en el lateral (m)

Luego se determinó la cantidad de salidas de la tubería con la Ecuación 40.

$$\#lat = \frac{L_m}{E_{sphil}} \quad \text{Ecuación 40}$$

Donde

$\#lat$: Número de laterales

L_m : Longitud de la múltiple

E_{sphil} : Espaciamiento entre hileras

Igualmente, como se calculó la longitud anteriormente para el lateral se recalculó para la múltiple. Considerando que se debe de tener en cuenta la posición del primer lateral, ya sea que esté en la cabecera, a la mitad del espaciamiento usado o al espaciamiento completo.

Primer lateral ubicado en la cabecera.

$$L_m = E_{lat} \times (\#lat - 1) \quad \text{Ecuación 41}$$

Donde

Lm: Longitud de la múltiple (m)
Elat: Espaciamiento entre laterales (m)
#lat: Número de laterales

Primer lateral ubicado a Elat/2.

$$Lm = Elat \times (\#lat - 0,5) \qquad \text{Ecuación 42}$$

Donde

Lm: Longitud de la múltiple (m)
Elat: Espaciamiento entre laterales (m)
#lat: Número de laterales

Primer lateral a Elat.

$$Lm = Elat \times \#lat \qquad \text{Ecuación 43}$$

Donde

Lm: Longitud del lateral (m)
Elat: Espaciamiento entre laterales (m)
#lat: Número de laterales

Seguido se calculó el caudal de la múltiple con la Ecuación 44.

$$Q_{mult} = \#salidas * Q_{lateral} \qquad \text{Ecuación 44}$$

Donde

Qmul: Caudal múltiple (m³/h)
#salidas: Número de salidas de la tubería
Qlateral: Caudal lateral (m³/h)

Con los parámetros anteriormente calculados y con la Ecuación 45 se determinó el diámetro de la tubería.

$$D = \left(\frac{1,131 \cdot 10^9 \cdot Q^{1,852} \cdot L \cdot F}{h_f \cdot C^{1,852}} \right)^{1/4,872} \quad \text{Ecuación 45}$$

Donde

D: Diámetro (mm)

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

Hf: Pérdidas admisibles (m)

C: Coeficiente de material (PVC, 150)

F: Factor de número de salidas (Cuadro 3.1 o Ecuación 36)

L: Longitud de la tubería (m)

Con el diámetro calculado se estableció un diámetro real usando el Anexo 3 y se recalcularon las pérdidas con la Ecuación 35.

Por otra parte, se determinó la velocidad del agua en la tubería con la Ecuación 46.

$$V = \frac{Q}{\pi D^2 / 4} \quad \text{Ecuación 46}$$

Donde

V: Velocidad (m/s)

Q: Caudal (m)

D: Diámetro (m)

Al final se calcularon las pérdidas totales con la Ecuación 47.

$$H_{ftot} = H_{fmul} + H_{flat} \quad \text{Ecuación 47}$$

Donde

Hftot: Pérdidas totales (m)

H_fmul: Pérdidas en el múltiple (m)

H_flat: Pérdidas en el lateral (m)

3.6.2.3 Tubería principal

Para calcular el diámetro de la tubería principal se utilizó el método de carga unitaria, este cálculo se realizó utilizando la Ecuación 48.

$$D = \left[\frac{1,131 \times 10^9 \times Q^{1,852}}{hf \times C^{1,852}} \right] \quad \text{Ecuación 48}$$

Donde

hf: 0,023 (m/m)

Q: Caudal del lateral (m³/h)

C: Coeficiente de material (Pe, 140-PVC, 150)

Con el diámetro calculado se estableció un diámetro real usando el Anexo 4 y se recalcularon las pérdidas con la Ecuación 35.

3.6.2.4 Cálculo de presiones

Se calculó la presión en la entrada del lateral con la Ecuación 49.

$$Pe = Po + 0,77hf_{lat} \pm 0,23\Delta Z \quad \text{Ecuación 49}$$

Donde

Pe: Presión en la entrada del lateral (mca)

Po: Presión de operación (mca)

h_flat: Pérdidas en el lateral (m)

ΔZ: Diferencia de alturas en el lateral (positivo terreno subiendo, negativo bajando)
(m)

Seguido se calculó la presión en la múltiple con la Ecuación 50.

$$P_m = P_o + 0,77h_{fmult} \pm 0,23\Delta Z \quad \text{Ecuación 50}$$

Donde

P_m : Presión en la múltiple (mca)

P_o : Presión de operación (mca)

h_{fmult} : Pérdidas en la múltiple (m)

ΔZ : Diferencia de alturas en el lateral (positivo terreno subiendo, negativo bajando)
(m)

Se determinó la presión distal con la Ecuación 51.

$$P_d = P_o - 0,023 h_{flat} \pm 0,5\Delta Z \quad \text{Ecuación 51}$$

Donde

P_d : Presión distal (mca)

P_o : Presión de operación (mca)

h_{flat} : Pérdidas en el lateral (m)

ΔZ : Diferencia de alturas en el lateral (positivo terreno subiendo, negativo bajando)
(m)

Finalmente se corroboró que el diseño estuviera bien, calculando la diferencia de presiones (presión en la entrada del lateral menos la presión distal) y que este fuera menor a 0,2 de la presión de operación.

3.6.2.5 Carga dinámica total de la bomba

Se calculó la carga dinámica total de la bomba con la Ecuación 52, donde también se contemplaron las pérdidas del filtro de malla.

$$CDT = P_m + H_{fp} + H_{f \text{ filtro}} \quad \text{Ecuación 52}$$

Donde

CDT: Carga dinámica total (mca)

Pm: Presión en la múltiple (mca)

Hfp: Pérdidas en la tubería principal (m)

Hf filtro: Pérdidas por el filtro de malla (m)

3.6.2.6 Cálculo de la potencia de la bomba

Para determinar la potencia de la bomba se utilizó la Ecuación 53 haciendo uso de una eficiencia de la bomba del 55%.

$$HP = \frac{(Q * CDT)}{(Ef * 270)} \quad \text{Ecuación 53}$$

Donde

HP: Potencia de la bomba

Q: Caudal (m³/h)

CDT: Carga dinámica total (mca)

Ef: Eficiencia de la bomba (%)

3.6.2.7 Selección de la bomba

Para la selección de la bomba se utilizaron parámetros que se ya se han explicado anteriormente, entre ellos: la carga dinámica total, potencia (HP) y el caudal del sistema.

3.7 Clasificación de uso de suelo en Finca Rancho El Tecal

En la Finca Rancho El Tecal el diseño de sistema de riego por goteo se pretendía implementar en dos áreas, sin embargo, al realizar la inspección de campo, en uno de los terrenos se logró observar que existía un porcentaje considerable de pedregosidad, por lo que se realizó una calicata con el fin de conocer la profundidad efectiva del suelo y así determinar si era posible implementar el cultivo de chile dulce en el área.

Se utilizó la clave de bolsillo de Diógenes Cubero para determinar la capacidad de uso de suelo en esta área, es importante acotar que esta área no era utilizada para fines agrícolas. Al realizar la inspección de campo se establecieron algunos de los parámetros de la clasificación con el fin de determinar la clase en la que se encuentra utilizando el Anexo 5, entre los parámetros que se consideraron están, pendiente, profundidad efectiva, textura del suelo, pedregosidad, zonas de vida y período seco.

3.8 Evaluación Ambiental

Para determinar el impacto ambiental que tiene la realización del proyecto se utilizó la plantilla de D1 de SETENA. Este nos indica cual es el procedimiento a realizar según la calificación final.

En esta plantilla se utilizan parámetros como consumo/afectación, impacto humano, en suelo, en aire, así como otros riegos. Al darle una calificación a cada uno de estos, lo que se realiza seguidamente es un criterio de ponderación y la obtención de la calificación final. En el Cuadro 3.2 se puede observar las tres posibles rutas de decisión en función de esta.

Cuadro 3.2 Clasificación en función de la calificación final que establece el procedimiento en SETENA, según la ruta de decisión.

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

(Fuente: SETENA, 2005)

En el caso que se deba de realizar un estudio de impacto ambiental, el procedimiento es el siguiente. Se deben de determinar los principales factores ambientales que se van a ver

involucrados en el proyecto, utilizando la metodología de Arboleda. Primero se debe de realizar la caracterización del proyecto y del ambiente, donde se clasificó este en etapas, subetapas, acciones y aspectos ambientales relacionados a cada una de las actividades que se realizarán.

Con lo anterior se obtiene una calificación ambiental (Ca) utilizando la Ecuación 54, con respecto a esta se determina si el impacto ambiental es irrelevante, moderado o severo.

$$Ca = C * [P(7 * E * M + 3D)] \quad \text{Ecuación 54}$$

Donde

C: Clase

P: Presencia

E: Evolución

M: Magnitud

D: Duración

Al clasificar los impactos se tomaron medidas de corrección para los más significativos y que pudieran generar un daño al ambiente, como se logra visualizar en el Cuadro 3.3 se le asigna a cada impacto una calificación que determina la relevancia del impacto ambiental.

Cuadro 3.3 Clasificación ambiental con respecto a la importancia del impacto

| Calificación ambiental (puntos) | Importancia del impacto ambiental |
|--|--|
| ≤ 2,5 | Poco significativo o irrelevante |
| > 2,5 y ≤ 5,0 | Moderadamente significativo o moderado |
| > 5,0 y ≤ 7,5 | Significativo o relevante |
| > 7,5 | Muy significativo o grave |

Fuente: (Villagra, 2018)

Por último, al analizar cada etapa se creó un plan de manejo para prevenir, mitigar o compensar los impactos negativos que cause el desarrollo del proyecto.

3.9 Análisis Económico

Se cotizaron los materiales para los diseños propuestos, y con esto se creó un presupuesto de cada diseño. Los materiales utilizados se cotizaron en diferentes empresas, con el fin de realizarse el cálculo total de la inversión de los diseños.

Se realizó un balance económico, utilizando una plantilla en Excel en donde se tomó la inversión inicial como el egreso del primer año, y partir del año 1 egresos constantes basados en la suma de costos de producción y salarios de las personas laborando, el saldo anual se calcula restándole a los ingresos los egresos. Para este análisis se obtuvieron los siguientes parámetros.

Inversión inicial: es el desembolso que se realiza al inicio del proyecto.

Flujo de caja: son los flujos que resultan de restar los egresos de los ingresos generados en cada periodo.

Horizonte de planeamiento: Es el número de años para el cual se proyectan el flujo de caja realizado.

El indicador de factibilidad de Valor Actual Neto (VAN) se calculó mediante la Ecuación 55.

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{Cf_t}{(1+k)^t} - Cf_0 \quad \text{Ecuación 55}$$

Donde

Cf_t : Valor presente de las entradas de efectivo

Cf_0 : Inversión inicial

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

t : Tiempo (años)

Mientras que la Tasa Interna de Retorno (TIR), fue calculada con la siguiente Ecuación 56.

$$TIR = \sum_{t=1}^n \frac{Cf_t}{(1+TIR)^t} - Cf_0 \quad \text{Ecuación 56}$$

Donde

Cf_t: Valor presente de las entradas de efectivo

Cf₀: Inversión inicial

t: Tiempo (años)

3.10 Análisis Social

Para realizar el análisis social se utilizó la metodología basada en encuestas aplicadas a los productores del sector de Cañas Dulces, Liberia, así como trabajadores de las fincas. La encuesta está basada en los siguientes parámetros establecidos por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), evaluación y gestión de los riesgos y beneficios relacionados con el proyecto, comprensión y apoyo local, eficiencia y eficacia en la ejecución de los proyectos, evaluación de los resultados e impactos del proyecto.

CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Ubicación de las fincas

La finca Rancho el Tecal cuenta con alrededor de 32 hectáreas dedicadas principalmente a la ganadería de engorde. En la Figura 4.1 se muestra el mapa de ubicación de la finca, en el cual se pueden observar las áreas 1 y 2 las cuales corresponden a las áreas en estudio, también se distinguen algunos puntos de interés como la toma de agua (abrevaderos), puntos tomados en la parte alta y baja de la finca.

En el caso del área a regar 2 se realizó una clasificación de uso de suelo (clave de bolsillo) en el apartado 4.3, esto para determinar si era posible la implementación de cultivos debido a las condiciones particulares que se presentaban en este terreno.

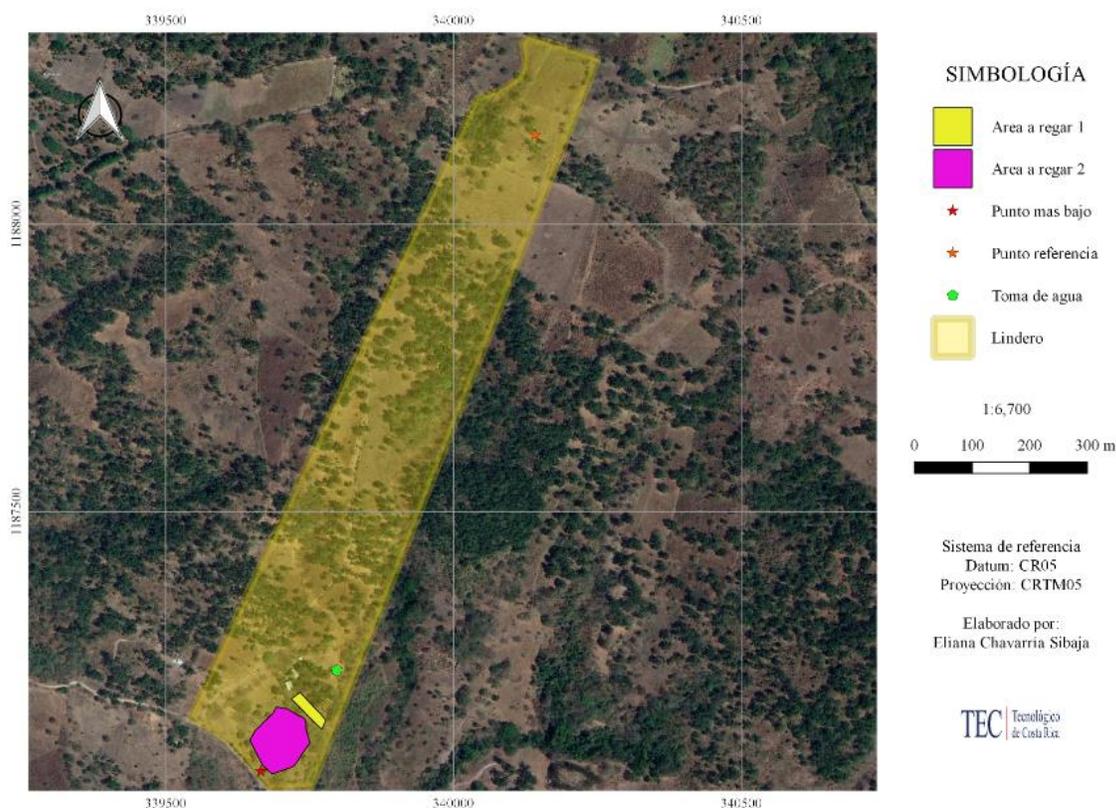


Figura 4.1 Mapa de ubicación y levantamiento de los puntos de interés.

En la Figura 4.2 se muestra el mapa de ubicación de la Finca El Coyolito la cual tiene una extensión de 23 hectáreas dedicadas al ganado y agricultura, esta finca cuenta con un

invernadero en el cual los principales cultivos son el tomate, lechuga, entre otros. En esta figura se pueden observar algunos puntos representativos de la finca, como la toma de agua del río Irigaray, el invernadero y el área donde se desea instalar el sistema de riego, que en este caso se utilizaría para la siembra de maíz para ensilar y así poder alimentar al ganado.



Figura 4.2 Mapa de ubicación y levantamiento de los puntos de interés.

4.2 Planos (curvas de nivel, pendiente y líneas de flujo)

En la Figura 4.3 se observan las curvas de nivel, la pendiente a lo largo y ancho del terreno y las líneas de flujo del área 1 de la Finca El Tecal. En esta se puede observar que la diferencia de altura en el terreno es de 50 cm, lo que significa que este es relativamente plano.

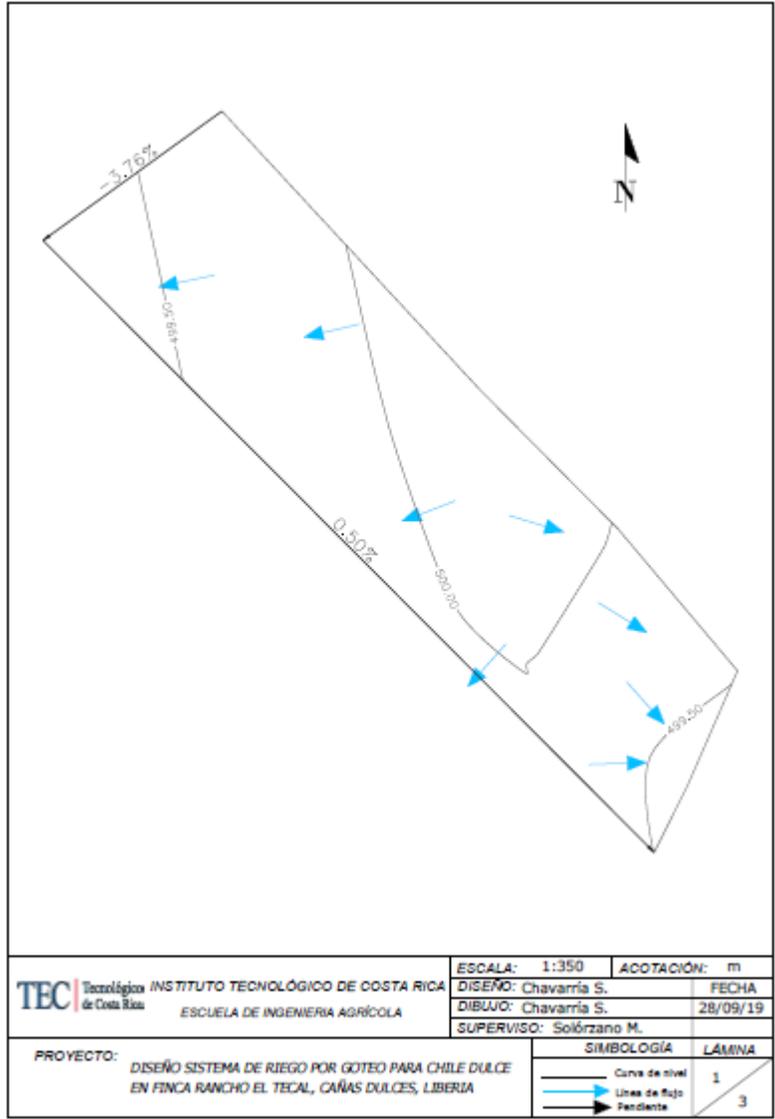


Figura 4.3 Curvas de nivel del área, pendiente y líneas de flujo del área en Finca El Tecal.

En la Figura 4.4 se presentan las curvas de nivel, las pendientes a lo largo y ancho del terreno y las líneas de flujo del terreno de Finca El Coyolito, de igual manera la diferencia de altura entre el punto más bajo y el más alto es de menos de 1 m.

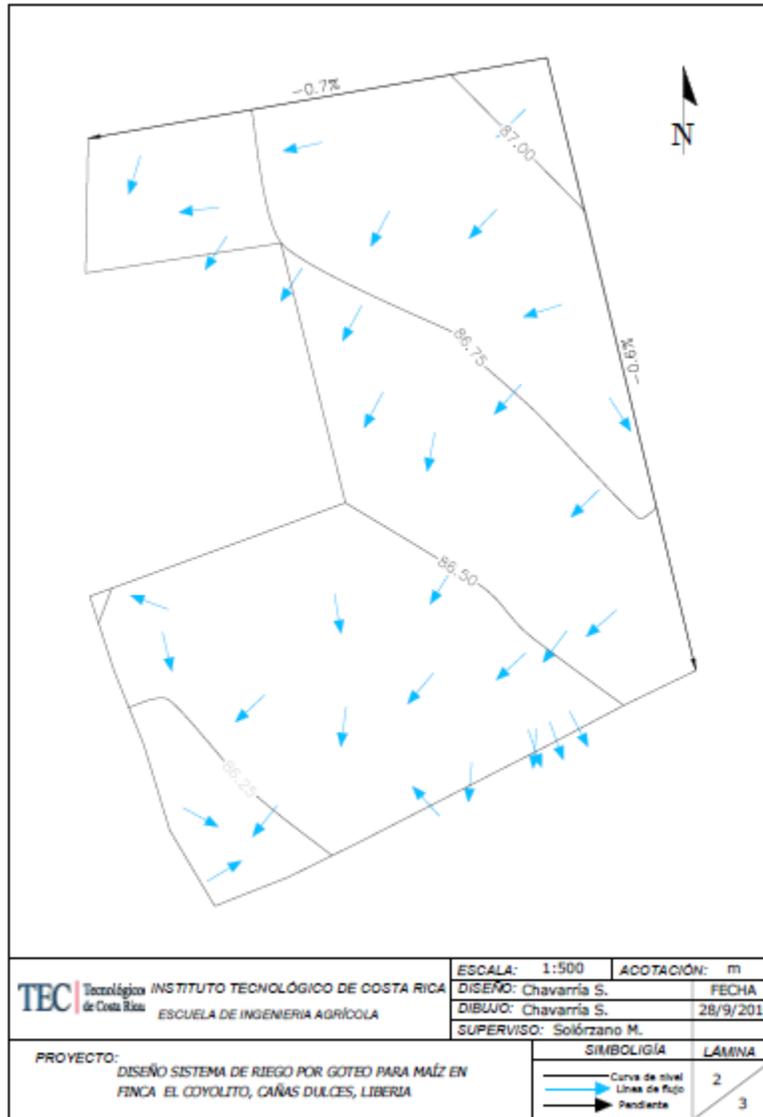


Figura 4.4 Curvas de nivel del área, pendiente y líneas de flujo del área en Finca El Coyolito.

4.3 Clasificación de uso de suelo de área en Finca Rancho El Tecal

Como se mencionó al inicio, en la Finca Rancho El Tecal la propietaria sugirió dos áreas para implementar el sistema de riego para el cultivo de chile dulce, sin embargo, al realizar la inspección de los terrenos, uno de estos (área 2) presentaba una condición particular, debido a que gran parte del área total estaba cubierta por piedras (Figura 4.5), por lo que se procedió a determinar la profundidad efectiva del suelo mediante calicatas, obteniendo una

profundidad alrededor de 10 cm. Por lo anterior se realizó la clasificación de uso de suelo; en el Cuadro 4.34 se presentan los resultados obtenidos, el área del terreno es de 7836 m² y la pendiente es de 17%, en la clasificación realizada los parámetros contemplados fueron erosión, suelo y clima.



Figura 4.5 Pedregosidad presente en área 2, Finca El Tecal.

La profundidad efectiva del suelo es la limitante que indica que el terreno es considerado Clase VIII (estos terrenos no reúnen las condiciones mínimas para actividades de producción agropecuaria) por lo que el terreno no es apto para la producción del cultivo de chile dulce.

Cuadro 4.1 Clasificación de uso de suelo.

| Parámetro | Limitante | Categoría | Clase |
|------------------|------------------------|----------------------|--------------|
| Erosión | Pendiente (e1) | Ondulado (17%) | IV |
| | Erosión sufrida (e2) | Leve | II |
| Suelo | Prof efectiva (s1) | Superficial (10cm) | VIII |
| | Textura del suelo (s2) | Moderadamente finas | II |
| Clima | Pedregosidad (s3) | Muy pedregoso | IV |
| | Zona de vida (c1) | Bosque seco tropical | I |
| | Periodo seco (c2) | Moderado | I |

Según Nuñez (2001), estos terrenos no permiten ninguna actividad productiva agrícola o forestal, siendo utilizados únicamente para la protección de recursos hídricos y forestales, de vida silvestre (zonas de preservación de flora y fauna).

En la Figura 4.6 se muestra el área en estudio en la que se observa que la topografía del terreno y las líneas de flujo.

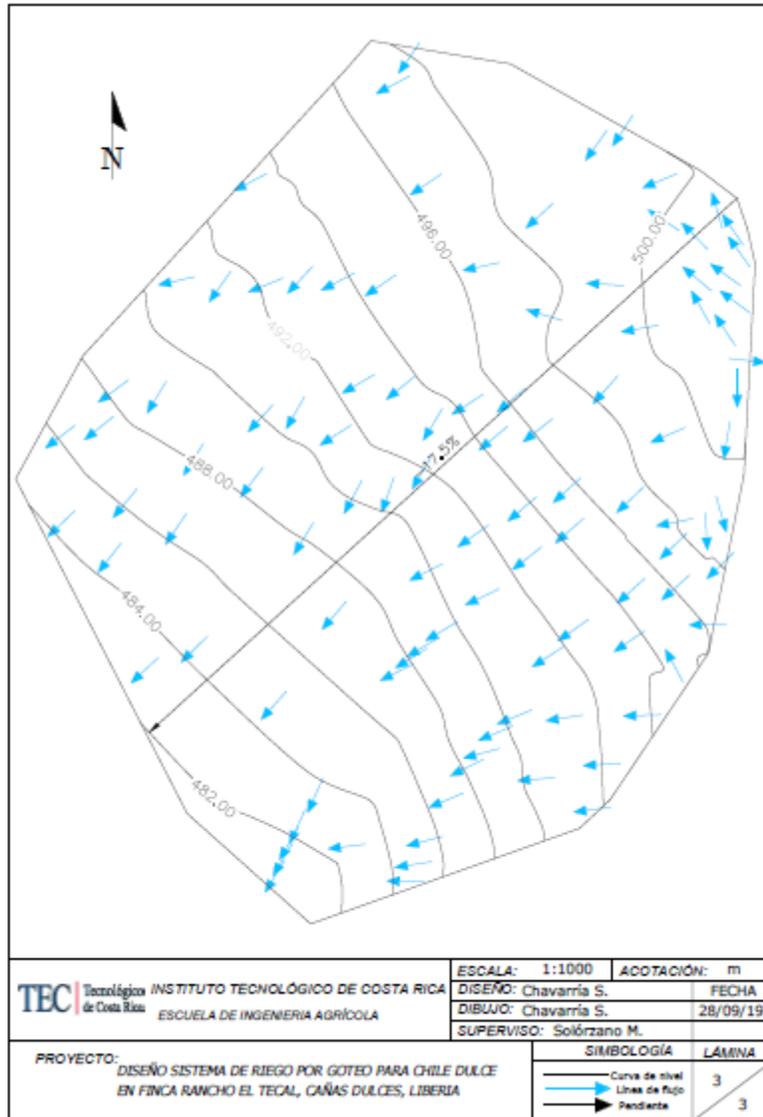


Figura 4.6 Curvas de nivel, líneas de flujo y pendiente del área 2 de Finca Rancho El Tecal.

El área 1 de Finca Rancho El Tecal tenía características muy diferentes al área 2, pues no contaba con pedregosidad y estaba cubierta de zacate y algunas plantas, como se muestra en la Figura 4.7. Al realizar las calicatas se estableció una profundidad efectiva del suelo de más de 80 cm, por lo que, por las condiciones presentes, es un terreno apto para actividades productivas agrícolas, por lo anterior, se realiza el diseño de riego únicamente para esta área.



Figura 4.7 Área 1 en Finca El Tecal.

4.4 Textura

En el Cuadro 4.2 se pueden observar las texturas obtenidas mediante la metodología de Bouyoucos. Utilizando las Ecuaciones 2, 3 y 4 se determinaron los porcentajes de arena, limo y arcilla para para las áreas en estudio de ambas fincas, obteniendo como resultado según el Cuadro 2.2 suelos de textura fina.

Cuadro 4.2 Textura de las áreas en estudio.

| Muestra | Finca El Tecal | Finca El Coyolito |
|------------------|------------------|-------------------|
| % Arena | 48 | 36,75 |
| % Arcilla | 28,25 | 28,75 |
| % Limo | 23,75 | 34,5 |
| Textura | Franco arcillosa | Franco arcillosa |

4.5 Capacidad de campo (CC) y Punto de marchitez permanente (PMP)

En el Cuadro 4.3 se pueden observar los datos obtenidos de capacidad de campo y punto de marchitez permanente mediante el uso de las Ecuaciones 5 y 6.

Cuadro 4.3 Datos de CC y PMP de las áreas en estudio.

| Muestra | CC (%) | PMP (%) |
|-------------------|---------------|----------------|
| Finca El Tecal | 27,75 | 13,22 |
| Finca El Coyolito | 39,04 | 18,59 |

4.6 Densidad aparente

En el Cuadro 4.4 se muestra los datos de densidad aparente del suelo obtenidos en Finca El Tecal, utilizando la Ecuación 7. Según el Cuadro 2.4 los valores obtenidos están entre el rango en que se encuentran establecidos los suelos de textura fina. Para términos del proyecto, estableciendo condiciones críticas y por cuestiones de seguridad se utilizó el valor menor obtenido.

Cuadro 4.4 Densidad aparente de Finca El Tecal.

| Muestra | 1 | 2 |
|----------------------------|----------|----------|
| Pss (g) | 43,90 | 112,9 |
| Volumen (cm ³) | 37,71 | 95,68 |
| Dap (g/cm ³) | 1,16 | 1,18 |

En el Cuadro 4.5 se presentan los datos de densidad aparente de Finca El Coyolito. Cuando se realizó la inspección en campo y se tomaron las muestras del terreno, no presentaba condiciones de haber sido mecanizado recientemente, al contrario, se encontraba cubierto de pasto, por esta situación se procedió a limpiar la superficie del terreno para la extracción de las muestras a una profundidad de 0-5 cm, obtenido un promedio de 0,90 g/cm³ de los valores mostrados. Según Salamanca & Siavosh (2005), un incremento de materia orgánica disminuye el valor de densidad aparente, por lo que esto podría ser un factor en la variación de los valores obtenidos con respecto a la textura del suelo.

Cuadro 4.5 Densidad aparente de Finca El Coyolito.

| Muestra | 1 | 2 |
|----------------|-------|-------|
| Pss (g) | 36,7 | 30,10 |
| Volumen (cm3) | 37,71 | 36,19 |
| Dap (g/cm3) | 0,97 | 0,83 |

4.7 Aforos

4.7.1 Aforo en Finca Rancho El Tecal

En el Cuadro 4.6 se muestra los datos necesarios para el cálculo del caudal consumido por el ganado usando la Ecuación 8.

Cuadro 4.6 Cálculo del caudal.

| | |
|------------------------------|-------|
| Equino y bovino (L/d/cabeza) | 70 |
| Cabezas de ganado | 54 |
| Caudal (L/día) | 3780 |
| Caudal (L/h) | 157,5 |

El aforo se realizó en los abrevaderos de la finca, este es el punto donde llega el agua proveniente de una naciente que se encuentra en una finca vecina, de aquí adquieren el agua varios productores de la zona. Se realizaron dos mediciones el mismo día en el mes de agosto. En el Cuadro 4.7 se observan los datos obtenidos del aforo y el cálculo del caudal usando la Ecuación 9, se utilizó el valor del caudal menor debido a que al realizarse únicamente dos aforos se debe trabajar con el más bajo como una condición de seguridad.

Cuadro 4.7 Datos del aforo y cálculo del caudal.

| Aforo | Volumen (L) | Tiempo (min) | Caudal (L/min) | Caudal (L/h) | Caudal (m3/h) |
|-------|-------------|--------------|----------------|--------------|---------------|
| 1 | 11,03 | 2 | 5,52 | 330,90 | 0,3309 |
| 2 | 11,18 | 2 | 5,59 | 335,40 | 0,3354 |

En el Cuadro 4.8 se muestra el dato de caudal utilizado y del caudal disponible que se calculó con la Ecuación 10.

Cuadro 4.8 Datos del caudal del aforo y el caudal disponible.

| | |
|--------------|-------------------------|
| Caudal (L/h) | Caudal disponible (L/h) |
| 330,90 | 173,40 |

4.7.2 Aforo en Finca El Coyolito

El aforo se realizó en el río Irigaray que pasa por la finca, se tomaron tres mediciones el mismo día en el mes de octubre, en el Cuadro 4.9 se muestran los datos obtenidos de este.

Cuadro 4.9 Datos del aforo y cálculo del caudal.

| Aforo | Volumen (L) | Tiempo (min) | Caudal (L/min) | Caudal (L/h) | Caudal (m ³ /h) |
|-------|-------------|--------------|----------------|--------------|----------------------------|
| 1 | 18 | 0,25 | 71,05 | 4263,16 | 4,26 |
| 2 | 18 | 0,26 | 70,13 | 4207,79 | 4,21 |
| 3 | 18 | 0,25 | 71,05 | 4263,16 | 4,26 |

Por último, se calculó el promedio de los caudales obtenidos mediante el aforo, dando como resultado un caudal disponible de 4244, 70 L/h.

Aunque los aforos de las dos fincas se realizaron en la época lluviosa, las lluvias fueron escasas como se mencionó anteriormente, una de las razones podría ser la influencia del fenómeno de ENOS (El Niño) que según Sanabria (2019), uno de sus efectos sería el déficit de lluvias en el Pacífico.

4.8 Diseños agronómicos Finca Rancho El Tecal

En el Cuadro 4.10 se pueden observar datos generales del cultivo de chile dulce, así como el espaciamiento entre goteros que se seleccionó y el porcentaje de área regada (PAR) que se determinó utilizando el Anexo 1.

Cuadro 4.10 Datos generales del cultivo de chile dulce.

| | |
|-----------------------------------|-----|
| Profundidad de raíces (mm) | 400 |
| Porcentaje de agotamiento (%) | 30 |
| Espaciamiento entre hileras (m) | 1,2 |
| Espaciamiento entre plantas (m) | 0,4 |
| Espaciamiento entre goteros (m) | 0,4 |
| Porcentaje de área regada PAR (%) | 47 |

En el Cuadro 4.11 se presentan los resultados que se obtuvieron al realizar el análisis de los datos meteorológicos. Mediante la Ecuación 12 se calculó la evapotranspiración del cultivo (Etc).

Cuadro 4.11 Resultados de análisis de datos meteorológicos.

| | |
|---|------|
| Coefficiente de cultivo (Kc) | 1,05 |
| Evapotranspiración potencial (mm/día) | 6,28 |
| Evapotranspiración del cultivo (mm/día) | 6,59 |

En el Anexo 7 se presentan las especificaciones de la cinta de goteo seleccionada la cual es Minitody (17/120) de marca Regaber y casa comercial Netafim con un caudal de 1,05 l/h y una presión de operación de 10 mca.

En el Cuadro 4.12 se observan los resultados obtenidos de realizar el diseño agronómico de la propuesta 1 de Finca Rancho El Tecal. En la columna derecha se presenta el número de ecuación, anexo o cuadro utilizado.

Cuadro 4.12 Parámetros para el diseño agronómico de la propuesta 1.

| Parámetro de diseño | Valor | Fuente |
|---|--------------|----------------------|
| Caudal cinta de goteo (l/h) | 1,05 | Anexo 7 |
| Lámina neta (mm) | 9,51 | Ecuación 12 |
| Coefficiente de uniformidad | 85% | Datos del fabricante |
| Relación de transpiración | 0,95 | Cuadro 2.6 |
| Caudal por unidad lineal (l/h por cada metro) | 2,625 | Ecuación 23 |
| Eficiencia de riego (%) | 0,81 | Ecuación 16 |
| Horas disponibles para riego por día | 12,0 | Laboradas en finca |
| Frecuencia de riego calculada (días) | 1,44 | Ecuación 13 |
| Frecuencia de riego real (días) | 1 | Redondeo |
| Lámina neta real recalculada (mm) | 6,59 | Ecuación 14 |
| Lámina bruta (mm) | 8,17 | Ecuación 15 |
| Tiempo de riego (horas) | 3,73 | Ecuación 17 |
| Número de divisiones | 3 | Ecuación 18 |
| Divisiones a regar por día | 3 | Propuesta |
| Horas requeridas de riego por día | 11,12 | Ecuación 19 |
| Caudal del sistema (m ³ /hr) | 0,173 | Ecuación 24 |

Para el diseño de la propuesta 2 que contempla el área completa (1265 m²), es necesario garantizar un caudal disponible que sea suficiente para alimentar el ganado y regar toda el área, debido a que el actual no es suficiente.

Es por esta situación que se realizan dos propuestas de diseño, en el caso de la propuesta 1 el área a regar es menor a los 1265 m² debido a que se utiliza el caudal disponible de la finca que es de 0,173 m³/hr, con este caudal se realizaron los cálculos correspondientes para determinar el área que se podría regar. Utilizando la Ecuación 26 se determinó el área de cada lote, el cual dio un resultado de 80 m², seguidamente, con la Ecuación 27 se calculó el total que se puede regar, obteniendo un área total de 240 m².

En la Figura 4.8 se presenta el número de divisiones (N) realizadas en la propuesta 1 así como sus respectivas áreas.

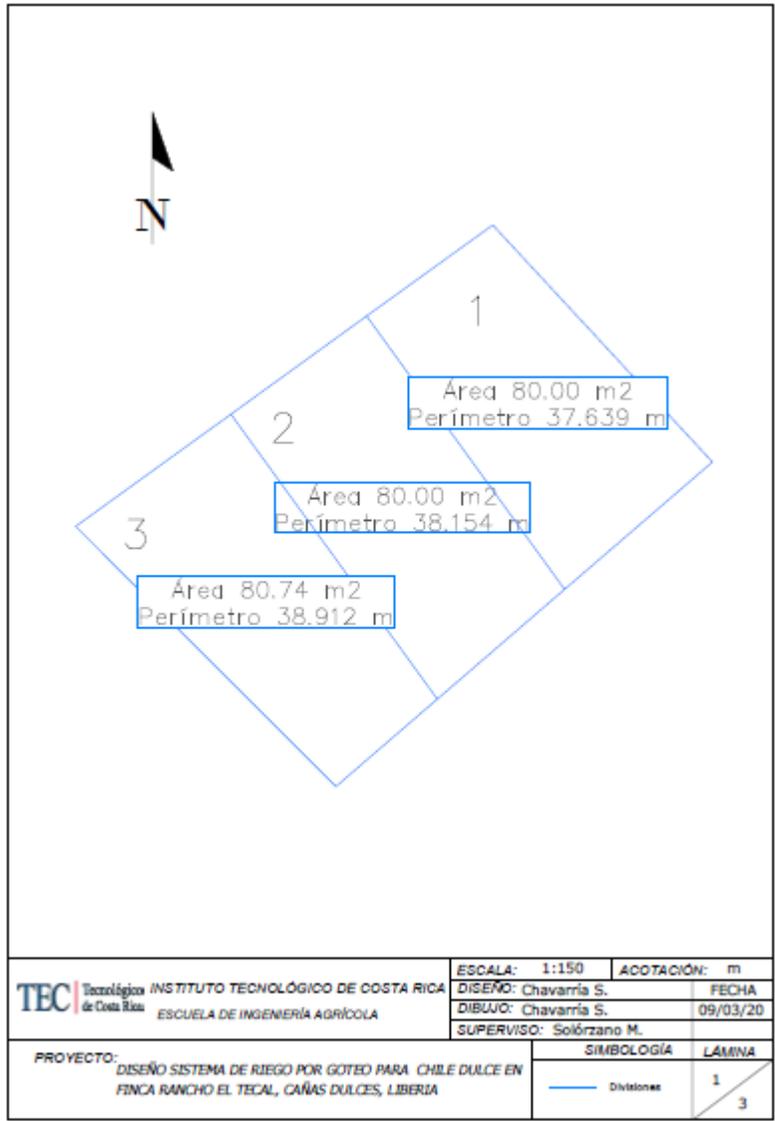


Figura 4.8 Divisiones de la propuesta 1 Finca Rancho El Tecal.

En el caso del diseño agronómico de la propuesta 2 se utilizó la misma cinta (Anexo 7) que en la propuesta 1. En el Cuadro 4.13 se presentan los resultados obtenidos del diseño agronómico 2.

Cuadro 4.13 Parámetros para el diseño agronómico de la propuesta 2.

| Parámetro de diseño | Valor | Fuente |
|---|--------------|----------------------|
| Caudal cinta de goteo (l/h) | 1,05 | Anexo 7 |
| Lámina neta (mm) | 9,51 | Ecuación 12 |
| Coefficiente de uniformidad | 85% | Datos del fabricante |
| Relación de transpiración | 0,95 | Cuadro 2.6 |
| Caudal por unidad lineal (l/h por cada metro) | 2,625 | Ecuación 23 |
| Eficiencia de riego (%) | 81 | Ecuación 16 |
| Horas disponibles para riego por día | 12,0 | Laboradas en finca |
| Frecuencia de riego calculada (días) | 1,44 | Ecuación 13 |
| Frecuencia de riego real (días) | 1 | Redondeo |
| Lámina neta real recalculada (mm) | 6,59 | Ecuación 14 |
| Lámina bruta (mm) | 8,17 | Ecuación 15 |
| Tiempo de riego (horas) | 3,73 | Ecuación 17 |
| Número de divisiones | 3 | Ecuación 18 |
| Divisiones a regar por día | 4 | Propuesta |
| Horas requeridas de riego por día | 14,9 | Ecuación 19 |
| Caudal del sistema (m ³ /hr) | 0,69 | Ecuación 24 |

Para la propuesta 2, en el área completa (1265 m²) se realizaron cuatro divisiones de igual tamaño cada una, para un caudal del sistema de 0,69 m³/hr, en el caso anterior (Propuesta 1) se mencionaba que el caudal disponible de la finca es de 0,173 m³/hr, por lo que, implementando el uso de un reservorio, el volumen de agua necesario para el consumo del ganado y el sistema de riego es de 21, 6 m³ con un suministro de agua al reservorio durante todo el día.

La frecuencia de riego es igual de un día por lo que las cuatro divisiones se regarían consecutivamente. En la Figura 4.9 se presentan el número de divisiones (N) de la propuesta 2.

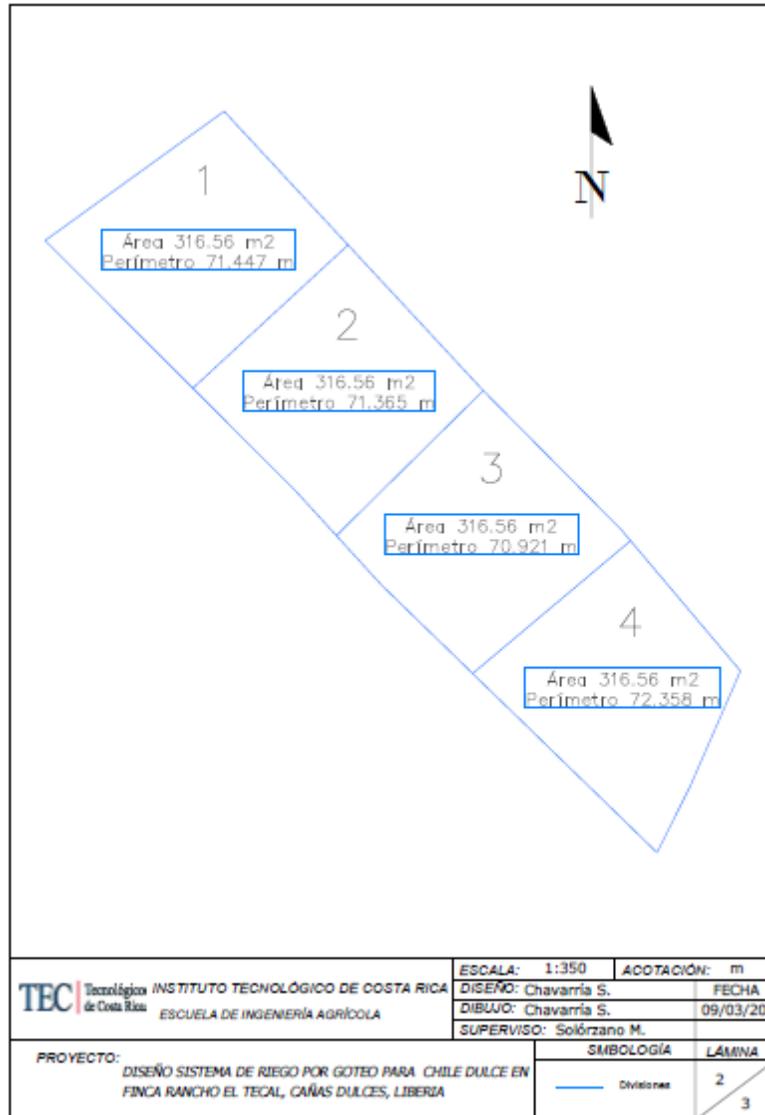


Figura 4.9 Divisiones de la propuesta 2 Finca Rancho El Tecal.

4.9 Diseño agronómico Finca El Coyolito

En el Cuadro 4.14 se pueden observar datos generales del cultivo de maíz, así como el espaciamiento entre goteros que se seleccionó. Utilizando el Anexo 1 se determinó el porcentaje de área regada (PAR).

Cuadro 4.14 Datos generales del cultivo de maíz.

| | |
|-----------------------------------|-------|
| Profundidad de raíces (mm) | 400 |
| Porcentaje de agotamiento (%) | 30 |
| Espaciamiento entre hileras (m) | 1 |
| Espaciamiento entre goteros (m) | 0,4 |
| Espaciamiento entre plantas (m) | 0,3 |
| Porcentaje de área regada PAR (%) | 57,67 |

En el Cuadro 4.15 se presentan los resultados que se obtuvieron al realizar el análisis de los datos meteorológicos y estudio general de la finca.

Cuadro 4.15 Resultados de análisis de datos meteorológicos y estudio general.

| | |
|---|--------|
| Coefficiente de cultivo (Kc) | 1,2 |
| Área bruta a cultivar (hectáreas) | 0,4778 |
| Evapotranspiración potencial (mm/día) | 6,28 |
| Evapotranspiración del cultivo (mm/día) | 7,54 |

En el Anexo 7 se presentan las especificaciones de la cinta de goteo seleccionada igual que los diseños anteriores es la Minitody (17/120) de marca Regaber y casa comercial Netafim con un caudal de 1,05 l/h y una presión de operación de 10 mca.

En el Cuadro 4.16 se observan los resultados obtenidos del diseño agronómico de Finca El Coyolito. En la columna de la derecha se muestran las ecuaciones, anexos o cuadros que se usaron para determinar cada parámetro.

Cuadro 4.16 Parámetros para el diseño agronómico de la propuesta de Finca El Coyalito.

| Parámetro de diseño | Valor | Fuente |
|---|--------------|--------------------|
| Caudal cinta de goteo (l/h) | 1,05 | Anexo 7 |
| Lámina neta (mm) | 23,35 | Ecuación 12 |
| Coefficiente de uniformidad | 85% | Cinta |
| Relación de transpiración | 0,95 | Cuadro 2.6 |
| Caudal por unidad lineal (l/h por cada metro) | 2,63 | Ecuación 23 |
| Eficiencia de riego (%) | 81 | Ecuación 16 |
| Horas disponibles para riego por día | 10,00 | Laboradas en finca |
| Frecuencia de riego calculada (días) | 3,10 | Ecuación 13 |
| Frecuencia de riego real (días) | 3 | Redondeo |
| Lámina neta real recalculada (mm) | 22,61 | Ecuación 14 |
| Lámina bruta (mm) | 28,00 | Ecuación 15 |
| Tiempo de riego (horas) | 10,70 | Ecuación 17 |
| Número de divisiones | 3 | Ecuación 18 |
| Divisiones a regar por día | 1 | Propuesta |
| Horas requeridas de riego por día | 10,7 | Ecuación 19 |
| Caudal del sistema (m ³ /hr) | 4,18 | Ecuación 24 |

En la Figura 4.10 se muestra el número de divisiones (N) del terreno, al obtener una frecuencia de riego de tres días y que la cantidad de divisiones sea igual, se podría regar un lote por día.



Figura 4.10 Número de divisiones del área en Finca El Coyolito.

4.10 Diseños hidráulicos de Finca Rancho El Tecal

4.10.1 Diseño hidráulico propuesta 1

En el Cuadro 4.17 se presentan los resultados obtenidos en el diseño de los laterales de la propuesta 1, el primer gotero está colocado en la cabecera de la tubería y el largo máximo en el terreno es de 13,7 m, en el Anexo 7 se observa la longitud máxima de tubería (cinta de

goteo) para el espaciamiento y caudal utilizado. La diferencia de altura mayor se encuentra en el lote 3 (Figura 4.5).

Cuadro 4.17 Diseño del lateral de la propuesta 1 de Finca El Tecal.

| Parámetro | Valor | Fuente |
|------------------------------------|--------------|--------------------------|
| Presión de operación (mca) | 10 | Anexo 7 |
| Longitud (m) | 13,60 | Ecuación 32 |
| Número goteros | 35 | Ecuación 29 |
| Caudal lateral (m ³ /h) | 0,04 | Ecuación 30 |
| Material (Plástico) | 1,76 | Cuadro 3.1 o Ecuación 36 |
| F | 0,3000 | |
| C (PE) | 137,6864 | Ecuación 31 |
| Pérdidas calculadas (mca) | 0,0014 | Ecuación 35 |
| Diferencia de alturas (m) | 0,3 | Lote 3 (subiendo) |

En el Cuadro 4.18 se pueden observar los resultados obtenidos del diseño de la tubería múltiple, el material es de polietileno (blando) y la diferencia de altura con la que se trabajó es del lote 2. El largo máximo del terreno es de 7,078 m, así que el diseño se realizó con esta longitud.

Cuadro 4.18 Diseño la tubería múltiple de la propuesta 1 de Finca El Tecal.

| Parámetro | Valor | Fuente |
|--|--------------|--------------------------|
| Longitud (m) | 6,60 | Ecuación 42 |
| Número laterales | 6 | Ecuación 40 |
| Caudal del sistema (m ³ /h) | 0,2205 | Ecuación 44 |
| Pérdidas admisibles (mca) | 2,0700 | Ecuación 37 |
| Diferencia de altura múltiple (m) | 0,23 | Lote 2 (bajando) |
| Diferencia de altura total (m) | 0,0700 | Ecuación 38 |
| Pérdidas en múltiple (mca) | 2,0686 | Ecuación 39 |
| C (PE) | 140 | Material |
| F | 0,4048 | Cuadro 3.1 o Ecuación 36 |
| Diámetro teórico (mm) | 6,5414 | |
| Diámetro real (mm) | 13,1 | Anexo 4 |
| Presión de trabajo (mca) | 25 | |
| Velocidad (m/s) | 0,4544 | Ecuación 46 |
| Pérdidas recalculadas (mca) | 0,0702 | Ecuación 35 |
| Pérdidas total final (mca) | 0,0716 | Ecuación 47 |

El material de la tubería principal es de polietileno (blando), en el Cuadro 4.19 se muestran los resultados obtenidos del diseño. Como se mencionó se utilizó el método de carga unitaria para determinar el diámetro de la tubería a utilizar.

Cuadro 4.19 Diseño de la tubería principal de la propuesta 1 de Finca El Tecal.

| Parámetro | Valor | Fuente |
|-----------------------------|--------------|----------------|
| Pérdidas (m/m) | 0,023 | Carga unitaria |
| Caudal (m3/h) | 0,2205 | Ecuación 44 |
| Longitud (m) | 86,3530 | En el terreno |
| C (PE) | 140 | Material |
| Diámetro teórico (mm) | 13,46 | Ecuación 48 |
| Diámetro real (mm) | 16,9 | Anexo 4 |
| Presión de trabajo (mca) | 25 | |
| Pérdidas recalculadas (mca) | 0,66 | Ecuación 35 |
| Diferencia de alturas (m) | 21,72 | En el terreno |

En el Cuadro 4.20 se presentan los resultados obtenidos de las presiones del sistema, así como la carga dinámica total de la bomba y la potencia calculadas con las Ecuaciones 52 y 53, respectivamente.

Con las Ecuaciones 49, 50 y 51 se calcularon la presión a la entrada del lateral, la presión en el múltiple y la presión distal. Tomando en cuenta la diferencia de altura en el lateral que es de 0,3 m. Luego se calculó el delta de presiones (lateral menos distal) y como es menor a 0,2 de la presión de operación se corroboró que el diseño estuviera correcto.

Cuadro 4.20 Presiones del sistema, carga dinámica total y potencia de la bomba de la propuesta 1 de Finca El Tecal.

| Parámetro | Valor |
|-------------------------------|--------------|
| Presión entrada lateral (mca) | 10,070 |
| Presión múltiple (mca) | 10,001 |
| Presión distal (mca) | 10,150 |
| Diferencia de presiones | 0,080 |
| Pérdidas filtro malla (m) | 10 |
| Carga dinámica total (mca) | 42,3770 |
| HP | 0,0629 |

4.10.2 Diseño hidráulico propuesta 2

Con respecto al diseño hidráulico de la propuesta 2 en el Cuadro 4.21 se pueden observar los resultados obtenidos del diseño del lateral, el primer gotero estará colocado en la cabecera del sistema. En la columna de la derecha se presentan los anexos, ecuaciones y cuadros utilizados.

Cuadro 4.21 Diseño de lateral de la propuesta 2 de Finca El Tecal.

| Parámetro | Valor | Fuente |
|--|--------------|--------------------------|
| Presión de operación (mca) | 10 | Anexo 7 |
| Longitud (m) | 18,8 | Ecuación 32 |
| Número goteros | 48 | Ecuación 29 |
| Caudal del lateral (m ³ /h) | 0,0504 | Ecuación 30 |
| Material (Plástico) | 1,76 | Cuadro 3.1 o Ecuación 36 |
| F | 0,3672 | |
| C (PE) | 137,6864 | Ecuación 31 |
| Pérdidas calculadas (mca) | 0,0043 | Ecuación 35 |
| Diferencia de alturas (m) | 0,72 | Lote 1 (bajando) |

Para el diseño de la tubería múltiple se muestran los resultados en el Cuadro 4.22, el material sería también de polietileno (blando).

Cuadro 4.22 Diseño de tubería múltiple de la propuesta 2 de Finca El Tecal.

| Parámetro | Valor | Fuente |
|--|--------------|--------------------------|
| Longitud (m) | 17,4000 | Ecuación 42 |
| Número laterales | 15 | Ecuación 40 |
| Caudal del sistema (m ³ /h) | 0,7560 | Ecuación 44 |
| Pérdidas admisible (mca) | 2,5400 | Ecuación 37 |
| Diferencia de altura múltiple (m) | 0,18 | Lote 2 (subiendo) |
| Diferencia de altura total (m) | 0,5400 | Ecuación 38 |
| Pérdidas en múltiple (m) | 2,5357 | Ecuación 39 |
| C (PE) | 140 | Material |
| F | 0,377 | Cuadro 3.1 o Ecuación 36 |
| Diámetro teórico (mm) | 12,0505 | Ecuación 45 |
| Diámetro real (mm) | 13,1 | Anexo 4 |
| Presión de trabajo (mca) | 25 | |
| Velocidad (m/s) | 1,5581 | Ecuación 46 |
| Pérdidas recalculadas (mca) | 1,6881 | Ecuación 35 |
| Pérdidas total final (mca) | 1,6924 | Ecuación 47 |

En el Cuadro 4.23 se presenta el diseño de la tubería principal, el material de la tubería es de PVC con un SDR de 41.

Cuadro 4.23 Diseño de tubería principal de la propuesta 2 de Finca El Tecal.

| Parámetro | Valor | Fuente |
|-----------------------------|--------------|----------------|
| Pérdidas (m/m) | 0,023 | Carga unitaria |
| Caudal (m ³ /h) | 3,024 | Ecuación 44 |
| Longitud (m) | 137,427 | En el terreno |
| C (PE) | 150 | Material |
| Diámetro teórico (mm) | 35,48 | Ecuación 48 |
| Diámetro real (mm) | 39,8 | Anexo 4 |
| SDR | 41 | |
| Pérdidas recalculadas (mca) | 1,81 | Ecuación 35 |
| Diferencia de altura (m) | 21,84 | En el terreno |

En el Cuadro 4.24 se presentan los resultados obtenidos de las presiones del sistema, así como la carga dinámica total de la bomba y la potencia calculadas con las Ecuaciones 52 y 53, respectivamente.

Con las Ecuaciones 49, 50 y 51 se calcularon la presión a la entrada del lateral, la presión en el múltiple y la presión distal. Para esta propuesta la diferencia de altura en el lateral es de 0,72 m bajando mientras que en el múltiple es de 0,18 subiendo. Luego se calculó el delta de presiones (lateral menos distal) y como es menor a 0,2 de la presión de operación se corroboró que el diseño estuviera correcto.

Cuadro 4.24 Presiones del sistema, carga dinámica total y potencia de la bomba de la propuesta 2 de Finca El Tecal.

| Parámetro | Valor |
|-------------------------------|--------------|
| Presión entrada lateral (mca) | 9,838 |
| Presión múltiple (mca) | 11,341 |
| Presión distal (mca) | 9,639 |
| Diferencia de presiones | 0,199 |
| Pérdidas filtro malla (m) | 10 |
| Carga dinámica total (mca) | 44,988 |
| HP | 0,9161 |

4.11 Selección de bomba (Finca Rancho El Tecal)

4.11.1 Propuesta 1

Con los datos de carga dinámica total (CDT), potencia (HP) y caudal del sistema se procedió a la selección de la bomba para la propuesta 1, en el Cuadro 4.25 se muestran los resultados de los parámetros mencionados anteriormente.

Cuadro 4.25 Parámetros utilizados para la selección de la bomba de la propuesta 1 de Finca El Tecal.

| Parámetro | Valor |
|------------------------------------|--------------|
| Caudal sistema (m ³ /h) | 0,173 |
| Carga dinámica total (mca) | 42,3770 |
| Potencia (HP) | 0,0629 |

Se seleccionó una bomba centrífuga marca Foras modelo PE 70 con una potencia de 0,7 HP. En el Cuadro 4.26 se presentan los datos de la curva característica de la bomba, mientras

que en el Anexo 8 se presenta la ficha técnica de la bomba. El punto de operación es con respecto al caudal del sistema mencionado anteriormente.

Cuadro 4.26 Datos de la curva de la bomba.

| Q (m3/h) | CDT (mca) |
|-----------------|------------------|
| 0 | 53,1 |
| 0,173 | 50,62 |
| 0,3 | 48,8 |
| 0,6 | 44,1 |
| 1,2 | 33,8 |
| 1,8 | 24,7 |
| 2,4 | 15,5 |

(Fuente: FORAS, 2019)

4.11.2 Propuesta 2

Con los datos de carga dinámica total (CDT), potencia (HP) y caudal del sistema se procedió a la selección de la bomba para la propuesta 2, en el Cuadro 4.27 se muestran los resultados de los parámetros mencionados anteriormente.

Cuadro 4.27 Parámetros utilizados para la selección de la bomba de la propuesta 2 de Finca El Tecal.

| Parámetro | Valor |
|----------------------------|--------------|
| Caudal sistema (m3/h) | 0,69 |
| Carga dinámica total (mca) | 44,9877 |
| Potencia (HP) | 0,9161 |

Por lo tanto, se seleccionó una bomba centrífuga de marca EVERGUSH ECM2-60 (T) con una potencia de 1 HP. En el Cuadro 4.28 se presentan los datos de la curva característica, el punto de operación sería con el caudal del sistema mostrado anteriormente. En el Anexo 9 se presenta la ficha técnica de la bomba.

Cuadro 4.28 Datos de la curva de la bomba.

| Q (m³/h) | CDT (mca) |
|----------------------------|------------------|
| 0,6 | 53 |
| 0,69 | 52,55 |
| 1,2 | 50 |
| 1,6 | 47,5 |
| 2 | 43,5 |
| 2,4 | 39 |
| 2,8 | 34 |
| 3,2 | 29,5 |

(Fuente: Evergush, 2018)

4.12 Diseño hidráulico de Finca El Coyolito

En el Cuadro 4.29 se presentan los resultados obtenidos en el diseño de los laterales, el primer gotero está colocado a la mitad del espaciamiento usado ($Eg/2$) y el largo máximo en el terreno es de 71,032 m, en el Anexo 7 se observa la longitud máxima de tubería (cinta de goteo) para el espaciamiento y caudal utilizado. La diferencia de altura mayor se encuentra en el lote 3.

Cuadro 4.29 Diseño del lateral de la propuesta de Finca El Coyolito.

| Parámetro | Valor | Fuente |
|--|--------------|--------------------------|
| Presión de operación (mca) | 10 | Anexo 7 |
| Longitud (m) | 70,60 | Ecuación 32 |
| Número goteros | 177 | Ecuación 29 |
| Caudal del lateral (m ³ /h) | 0,19 | Ecuación 30 |
| Material (Plástico) | 1,76 | Cuadro 3.1 o Ecuación 42 |
| F | 0,3650 | |
| C (PE) | 137,69 | Ecuación 31 |
| Pérdidas (mca) | 0,18 | Ecuación 35 |
| Diferencia de alturas (m) | 0,54 | Lote 3 (bajando) |

En el Cuadro 4.30 se muestran los resultados del diseño de la tubería múltiple igualmente el material es de PVC y la diferencia de altura con la que se trabajó es del lote 2. El largo máximo del terreno es de 31,42 m, utilizando este dato para el diseño.

Cuadro 4.30 Diseño de la tubería múltiple de la propuesta de Finca El Coyolito.

| Parámetro | Valor | Fuente |
|--|--------------|--------------------------|
| Longitud (m) | 31 | Ecuación 43 |
| Número laterales | 31 | Ecuación 40 |
| Caudal del sistema (m ³ /h) | 5,76 | Ecuación 44 |
| Pérdidas admisibles (mca) | 2,76 | Ecuación 37 |
| Diferencia de alturas múltiple (m) | 0,22 | Lote 2 (bajando) |
| Diferencia de alturas total (m) | 0,76 | Ecuación 38 |
| Pérdidas en múltiple (mca) | 2,58 | Ecuación 39 |
| C (PVC) | 150 | Material |
| F | 0,381 | Cuadro 3.1 o Ecuación 42 |
| Diámetro teórico(mm) | 28,56 | Ecuación 45 |
| Diámetro real (mm) | 39,8 | Anexo 3 |
| SDR | 41 | |
| Velocidad (m/s) | 1,29 | Ecuación 46 |
| Pérdidas recalculadas (mca) | 0,51 | Ecuación 35 |
| Pérdidas total (mca) | 0,69 | Ecuación 47 |

En el Cuadro 4.31 se presenta los datos obtenidos del cálculo de la tubería principal, la cual es de PVC.

Cuadro 4.31 Diseño de la tubería principal de la propuesta de Finca El Coyolito.

| Parámetro | Valor | Fuente |
|-----------------------------|--------------|----------------|
| Pérdidas (m/m) | 0,023 | Carga unitaria |
| Caudal (m ³ /h) | 5,76 | Ecuación 44 |
| Longitud (m) | 199,62 | En el terreno |
| C (PVC) | 150 | Material |
| Diámetro teórico (mm) | 45,33 | Ecuación 48 |
| Diámetro real (mm) | 45,90 | Anexo 4 |
| SDR | 41 | Anexo 4 |
| Pérdidas recalculadas (mca) | 4,32 | Ecuación 35 |
| Diferencia de alturas (m) | 2,84 | En el terreno |

En el Cuadro 4.32 se presentan los resultados obtenidos de las presiones del sistema, así como la carga dinámica total de la bomba y la potencia calculadas con las Ecuaciones 52 y 53, respectivamente.

Con las Ecuaciones 49, 50 y 51 se calcularon la presión a la entrada del lateral, la presión en el múltiple y la presión distal. Luego se calculó el delta de presiones (lateral menos distal) y como es menor a 0,2 de la presión de operación se corroboró que el diseño estuviera correcto.

Cuadro 4.32 Presiones del sistema, carga dinámica total y potencia de la bomba de la propuesta de Finca El Coyolito.

| Parámetro | Valor |
|---------------------------|--------------|
| Presión entrada lateral | 10,015 |
| Presión múltiple | 10,344 |
| Presión distal | 9,688 |
| Diferencia de presiones | 0,327 |
| Pérdidas Filtro malla (m) | 10 |
| Carga dinámica total | 27,506 |
| HP | 0,800 |

4.13 Selección de bomba (Finca El Coyolito)

Con los datos de carga dinámica total (CDT), potencia (HP) y caudal del sistema se procedió a la selección de la bomba para Finca El Coyolito, en el Cuadro 4.33 se muestran los resultados de los parámetros mencionados anteriormente.

Cuadro 4.33 Parámetros utilizados para la selección de la bomba de la propuesta de Finca El Coyolito.

| Parámetro | Valor |
|------------------------------------|--------------|
| Caudal sistema (m ³ /h) | 4,181 |
| Carga dinámica total (mca) | 27,506 |
| Potencia (HP) | 0,800 |

Por lo tanto, se seleccionó una bomba centrífuga de marca EVERGUSH ECM4-40 (T) con una potencia de 1 HP. En el Cuadro 4.34 se presentan los datos de la curva característica, el punto de operación sería con el caudal del sistema mostrado anteriormente. En el Anexo 10 se presenta la ficha técnica de la bomba.

Cuadro 4.34 Datos de la curva de la bomba.

| Q (m³/h) | CDT (mca) |
|----------------------------|------------------|
| 1 | 37,5 |
| 2 | 36 |
| 3 | 34 |
| 4 | 31 |
| 4,18 | 30,28 |
| 5 | 27 |
| 6 | 23 |
| 7 | 19 |

(Fuente: Evergush, 2018)

4.14 Planos de los diseños hidráulicos

4.14.1 Finca Rancho El Tecal

4.14.1.1 Propuesta 1

En el caso del diseño hidráulico de la propuesta 1 al realizar los cálculos correspondientes, el área que puede ser regada con el caudal disponible que cuenta la finca es alrededor de 240 m² dividida en tres secciones iguales (Figura 4.11). El agua proveniente de una naciente llega a los abrevaderos, a partir de estos empieza la distribución de la tubería comenzando con la principal que es de 86 m, mientras que la múltiple es de 7 m. En cuanto a los laterales estos se encuentran ubicados a El/2 y la longitud de diseño que se utilizó es de alrededor de 14 m.

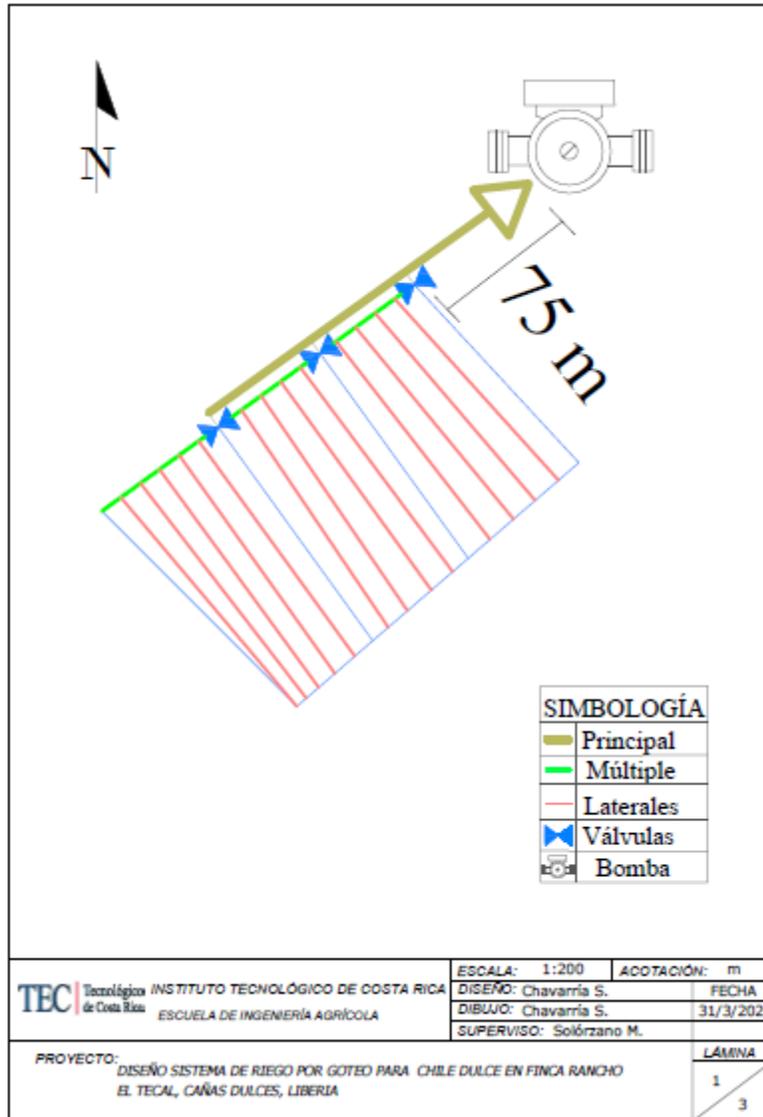


Figura 4.11 Distribución de la tubería de la propuesta 1 de Finca El Tecal.

4.14.1.2 Propuesta 2

Para la propuesta 2 se utiliza el área total del terreno que es de 1265 m², sin embargo, para implementar dicho sistema es necesario un caudal de 690 L/h. En este caso la longitud de la tubería principal es de 137 m, la longitud de diseño de la múltiple es de 17 m y los laterales están colocados igualmente a El/2, la longitud de diseño empleada fue de 19 m.

El número de divisiones(N) es de 4 (Figura 4.12), las válvulas están al inicio de cada lote. La frecuencia de riego es de 1 día y el tiempo de riego por lote es de alrededor de 3 hr por lo que alcanza bien el día para regar todo el terreno.

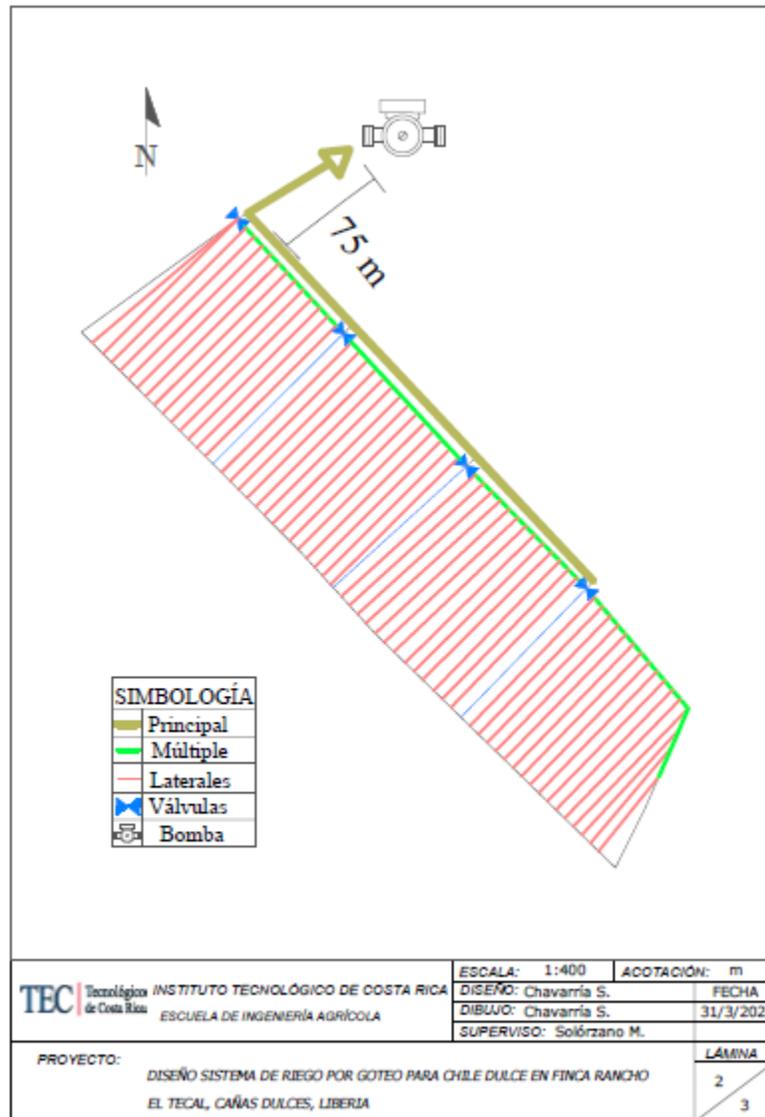


Figura 4.12 Distribución de la tubería de la propuesta 2 de Finca El Tecal.

4.14.2 Finca El Coyolito

En la propuesta realizada para la Finca El Coyolito se dividió el terreno en 3 secciones iguales. Las válvulas se colocaron al inicio de cada lote (Figura 4.13) y se regará un lote por día debido a que la frecuencia de riego es de 3 días.

La longitud de la tubería principal es de 199,62 m, mientras que la longitud de diseño de la tubería múltiple es de 31,42 m. Cada lateral estará colocado a un distanciamiento de El y la longitud con la que se trabajó fue de 71 m.

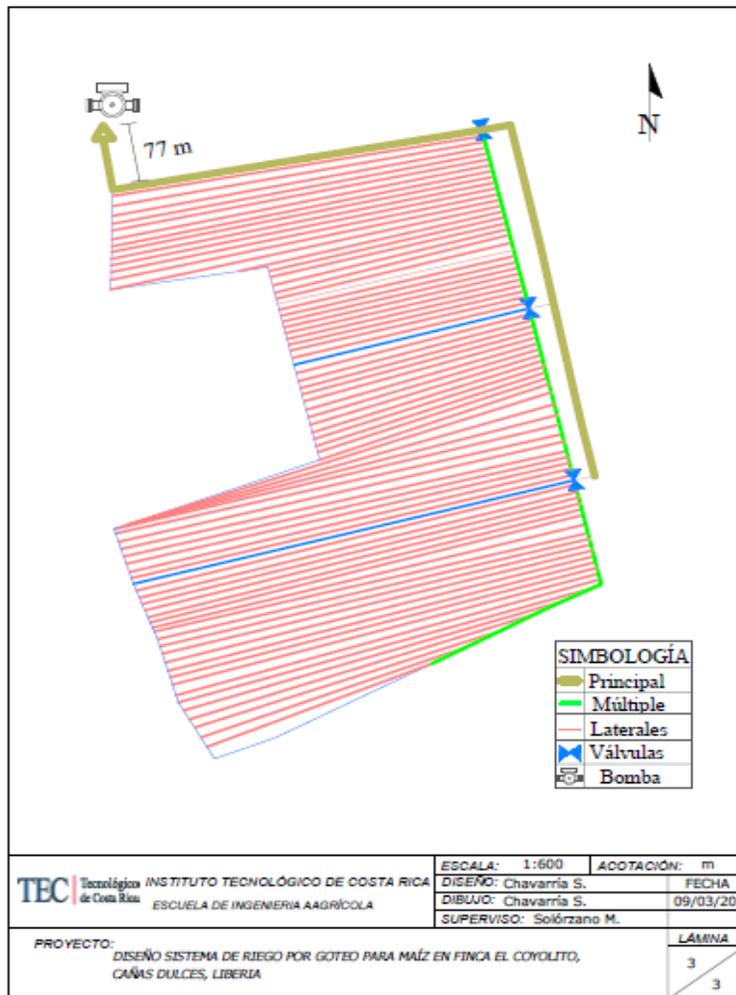


Figura 4.13 Distribución de la tubería de la propuesta de Finca Rancho El Tecal.

4.15 Análisis Económico de las propuestas

Para las propuestas realizadas se manejó una amortización de la inversión de 5 años, debido a que esta es la vida útil de los materiales que se utilizan, sin embargo, para la tubería empleada la vida útil puede ser hasta de 10 años. Por otra parte, se omite la inflación utilizando la hipótesis de colones constantes para todas las propuestas, en el caso del capital para la inversión inicial son utilizados fondos propios de las Fincas.

4.15.1 Finca Rancho El Tecal

4.15.1.1 Propuesta 1

Las cotizaciones se realizaron en diferentes empresas entre ellas, Construplaza, Amanco y Netafim. En el Anexo 13 se presentan los costos de la inversión inicial del diseño de sistema de riego para la propuesta 1. En cuanto a la cantidad de los materiales es importante mencionar que es recomendable tener una cantidad extra en caso de algún inconveniente. Se determinó el costo por depreciación de las bombas a usar, tuberías y algunos accesorios, en el Cuadro 4.35 se presentan estos gastos.

4.35 Cálculo de la depreciación para la propuesta 1, Finca El Tecal.

| Depreciación | Años vida útil | Costo | % de depreciación | Valor de depreciación |
|---------------------------------|----------------|------------|-------------------|-----------------------|
| Depreciación Bomba | 7 | ¢47.135,69 | 14 | ¢6.599,00 |
| Depreciación Tubería | 10 | ¢86.330,65 | 10 | ¢8.633,07 |
| Depreciación válvulas y filtros | 5 | ¢14.681,77 | 20 | ¢2.936,35 |

En el Cuadro 4.36 se presentan un resumen con el costo de la inversión inicial, el costo a partir del año uno en insumos, mano de obra, mantenimiento, entre otros, que se muestran en el Anexo 11 y los ingresos que se producen por año, los cuales se estimaron con respecto al área de cultivo (Anexo 12).

Cuadro 4.36 Ingresos y egresos de la propuesta 1.

| | |
|-------------------------------|-------------|
| Costo de la inversión inicial | €810.402,40 |
| Egreso anual | €425.000,00 |
| Ingreso anual | €625.000,00 |

Con los datos del cuadro anterior, se calcularon los valores de VAN y TIR que se presentan en el Cuadro 4.37, en conjunto con el saldo anual de cada año.

Cuadro 4.37 VAN y TIR de la propuesta 1.

| Año | Saldo Anual |
|------------|--------------------|
| 0 | -810402,40 |
| 1 | 200000,00 |
| 2 | 200000,00 |
| 3 | 200000,00 |
| 4 | 200000,00 |
| 5 | 200000,00 |
| TIR | 7,44% |
| VAN | -€52.245,04 |

Al ser el VAN menor que cero, indica que el valor presente de los flujos futuros que se obtendrán es menor al costo inicial. En el caso de la TIR positiva pero el VAN negativo existe un riesgo al realizar la inversión por lo que igual no se recomienda. Esto se debe a que la inversión inicial de un sistema de riego por goteo es alta y el área a producir en este caso es pequeña, por lo que las ganancias obtenidas no van a saldar esta inversión en el tiempo de amortización manejado.

4.15.1.2 Propuesta 2

En el caso de la propuesta 2 el costo total de la inversión inicial es de €1 526 159, en el Cuadro 4.39 se presenta este dato, también se muestra el dato estimado de costo de producción (insumos, mano de obra, mantenimiento del sistema) que se presentan en el Anexo 14 y que se contemplaron a partir del año uno. En el Anexo 16 se muestra un desglose de los materiales a utilizar en el costo inicial de la obra.

Por otra parte, se presentan los ingresos de la producción de Chile que se calcularon utilizando la referencia de precio del Consejo Nacional de Producción (CNP) por lo que es un estimado, esto podría variar dependiendo de las cosechas que se realicen al año y otros ingresos que tengan extras (Anexo 15).

Se determinó el costo por depreciación de las bombas a usar, tuberías y algunos accesorios, en el Cuadro 4.38 se presentan estos gastos.

Cuadro 4.38 Cálculo de la depreciación para la propuesta 2, Finca El Tecal.

| Depreciación | Años vida útil | Costo | % de depreciación | Valor de depreciación |
|---------------------------------|----------------|-------------|-------------------|-----------------------|
| Depreciación Bomba | 7 | ₡157.251,93 | 14 | ₡22.015,27 |
| Depreciación Tubería | 10 | ₡140.965,91 | 10 | ₡14.096,59 |
| Depreciación válvulas y filtros | 5 | ₡18.084,00 | 20 | ₡3.616,80 |

Cuadro 4.39 Ingresos y egresos de la propuesta 2.

| | |
|-------------------------------|---------------|
| Costo de la inversión inicial | ₡1.526.159,46 |
| Egreso anual | ₡1.850.000,00 |
| Ingreso anual | ₡2.614.583,33 |

Con los datos del cuadro anterior se calcularon los valores de TIR y VAN que se presentan en el Cuadro 4.40, en conjunto con el saldo anual de cada año.

Cuadro 4.40 VAN Y TIR de la propuesta 2.

| Año | Saldo Anual |
|------------|----------------------|
| 0 | -1526159,46 |
| 1 | 764583,33 |
| 2 | 1164583,33 |
| 3 | 1164583,33 |
| 4 | 1164583,33 |
| 5 | 1164583,33 |
| TIR | 59,08% |
| VAN | ₡2.524.891,27 |

En el caso de esta propuesta al ser el VAN mayor que cero se puede interpretar esto como una inversión rentable la cual podría generar ganancias en un futuro, en este caso a partir del año dos se recupera la inversión realizada al inicio.

4.15.2 Finca El Coyolito

Como se mencionó anteriormente las cotizaciones se realizaron Construplaza, Amanco y Netafim. En el Anexo 18 se presentan los costos de la inversión inicial del diseño de sistema de riego.

En el Cuadro 4.41 se muestran las depreciaciones determinadas para la bomba, sistema de tubería y válvulas y filtro utilizado.

Cuadro 4.41 Cálculo de la depreciación para la propuesta de Finca El Coyolito.

| Depreciación | Años vida útil | Costo | % de depreciación | Valor de depreciación |
|---------------------------------|----------------|-------------|-------------------|-----------------------|
| Depreciación Bomba | 7 | ¢157.251,93 | 14 | ¢22.015,27 |
| Depreciación Tubería | 10 | ¢197.698,00 | 10 | ¢19.769,80 |
| Depreciación válvulas y filtros | 5 | ¢38.084,00 | 20 | ¢7.616,80 |

En el Cuadro 4.42 se muestran el costo total de la inversión que es de ¢2 027 306, los ingresos de la finca según la propietaria son de ¢320 000 por mes, que al multiplicarlo por los 12 meses y considerando que son constantes a lo largo del año se obtiene como resultado ¢3 840 000. En los egresos anuales se consideran parámetros como la mano de obra, insumos, infraestructura, mantenimiento del sistema, otros, que se muestran en el Anexo 17.

Cuadro 4.42 Ingresos y egresos de Finca El Coyolito.

| | |
|-------------------------------|---------------|
| Costo de la inversión inicial | ¢2.027.306,00 |
| Egreso anual | ¢2.300.000,00 |
| Ingreso anual | ¢3.840.000,00 |

Con los datos del cuadro anterior se calcularon los valores de VAN y TIR que se presentan en el Cuadro 4.43, en conjunto con el saldo anual de cada año.

Cuadro 4.43 VAN Y TIR de Finca El Coyolito.

| Año | Saldo Anual |
|------------|----------------------|
| 0 | -2027306,00 |
| 1 | 1540000,00 |
| 2 | 1540000,00 |
| 3 | 1540000,00 |
| 4 | 1540000,00 |
| 5 | 1540000,00 |
| TIR | 70,73% |
| VAN | ₡3.810.505,62 |

Por consiguiente, en este caso al ser el VAN mayor a cero se puede establecer que el proyecto es rentable y la inversión inicial es recuperada. En este caso a partir del año dos se recupera la inversión realizada; en el caso de la TIR es un porcentaje alto por lo que nos indica la rentabilidad del proyecto.

4.16 Análisis Ambiental de las propuestas

4.16.1 Finca Rancho El Tecal (Propuestas 1 y 2)

Para ambas fincas se realizó el llenado de la plantilla D1 de SETENA. En el caso de la Finca Rancho el Tecal para la plantilla D1 se obtuvo como calificación final de la SIA un valor de 36,8 lo que corresponde según el Cuadro 3.1 a una declaración jurada de compromisos ambientales, es decir completar el formulario D2 (Anexo 19) establecido por la SETENA donde se consideran los aspectos más relevantes del proyecto en materia ambiental.

Según los parámetros establecidos por el MINAE en la plantilla D1 “otros riesgos” fue el parámetro que obtuvo un valor mayor comparado con los demás debido al manejo de agroquímicos se realizaría en el lugar. Por otro lado, otro aspecto determinante en el valor obtenido es que esta finca cuenta con un peón de tiempo completo por lo que el proyecto no generaría una cantidad relevante de empleo en la zona.

Según las regulaciones aplicables a la operación del proyecto en este caso el desarrollador tiene el compromiso de adherirse voluntariamente a una guía ambiental de construcción y operación. Esta guía ambiental será de acatamiento obligatorio para el desarrollador, desde el momento en que la SETENA le otorga la viabilidad ambiental. En este caso al tener que llevarse a cabo una declaración jurada de compromisos ambientales, esta guía se basaría en un principio de acción proactiva, de conciencia ambiental. Además, se compromete con el mejoramiento continuo, de forma que la revisión, seguimiento y control de las acciones de gestión ambiental conlleven a su corrección.

En la Figura 4.14 se puede apreciar el criterio de ponderación, así como la calificación final.

5. CRITERIOS DE PONDERACIÓN



requeridos para obtener la calificación final que servirá de criterio para la clarificación según la Significancia del Impacto Ambiental

| | | | | |
|--|-------------|--|--|---|
| 1. Valor preliminar de SIA, es decir la sumatoria de todos los valores individuales (Σ) | | 98.00 | | |
| Según las regulaciones aplicables a la operación de la actividad, abra un | | | | |
| 2. Con Reglamentación específica en materia ambiental que requiera la actividad, abra proyecto (p). Se multiplica la sumatoria de SIA (Σ) | 1 | tem Ejecutiv No. | 3. Sin Reglamentación específica en materia ambiental (n) que requiera la operación, se multiplica la sumatoria (Σ) de SIA por un | 2 |
| 2.1. Con compromiso de desarrollarla o adherirse voluntariamente a una norma técnica ambiental de construcción y operación, según corresponda que exista para la actividad, abra proyecto que se plantea en el DI(p). Dicha norma técnica ambiental será de acatamiento obligatorio para el desarrollador, en la que corresponda, | 0.75 | | | |
| | | (p) | 0.75 | |
| 4. Valor de SIA ajustado por regulaciones | 73.5 | | | |
| Clarificación del área según la zona de ubicación del proyecto (Z) | | | | |
| 5. Localización autorizada por Plan Regulador u otra planificación ambiental de una del zona, aprobada por la SETENA, incluyendo la variable ambiental según la metodología | 0.5 | 6. Localización autorizada por Plan Regulador NO aprobada por SETENA. Se multiplica el valor de SIA_{aj} por un valor de 1,0 - | | 1 |
| 7. Localización en área sin Plan Regulador. Se multiplica el valor de SIA_{aj} por un valor de 1,5 - | 1.5 | 8. Localización en área ambientalmente frágil, excepta que este contemplada en el numeral 5. Se multiplica el valor de SIA_{aj} por | | 2 |
| Nota: Deberá brindarse la cita correcta del Plan Regulador u del Plan | | | | |
| | | (E) | 0.5 | |
| 9. Calificación final de la SIA: | 36.8 | | | |

Figura 4.14 Plantilla DI Setena, Finca Rancho El Tecal.

(Fuente: MINAE, 2005)

4.16.2 Finca El Coyolito

Para la Finca El Coyolito se obtuvo una calificación final de 31,9 (Figura 4.15), por lo que el procedimiento a realizar es una declaración jurada de compromisos ambientales como en el caso anterior, esto quiere decir que el impacto ambiental que el proyecto puede generar es muy poco. Los parámetros que tuvieron un mayor valor en la plantilla fueron los de impacto en agua, suelo y humano, sin embargo, no existe un impacto considerable que ponga

en riesgo el ambiente. Con la declaración jurada de compromisos ambientales se busca que se mantenga un equilibrio ambiental adecuado por lo que el desarrollador deberá seguir las medidas ambientales que se establezcan.

5. CRITERIOS DE PONDERACION 

requerido para obtener la calificación final que servirá de criterio para la clarificación según la Significancia del Impacto Ambiental

| | | | |
|--|--|--------------|--|
| 1. Valor preliminar de SIA, es decir la sumatoria de todos los valores individuales (Σ) | | 85.00 | |
|--|--|--------------|--|

Según las regulaciones aplicables a la operación de la actividad, abra un

| | | | | |
|---|------|---------------------|--|---|
| 2. a Con Reglamentación específica en materia ambiental que regula la actividad, obra o proyecto (p). Se multiplica la sumatoria de SIA (Σ) | 1 | En Ejecución | 3. Sin Reglamentación específica en materia ambiental (p) que regula la operación, se multiplica la sumatoria (Σ) de SIA por un | 2 |
| 2. b Con compromiso del desarrollador a adherirse voluntariamente a una norma técnica ambiental de construcción y operación, según corresponda que exista para la actividad, obra o proyecto que se plantea en el DI (p). Dicha norma técnica ambiental será de carácter obligatorio para el desarrollador, en la que corresponda, (p) | 0.75 | | | |
| | | (p) | 0.75 | |

| | |
|--|--------------|
| 4. Valor de SIA ajustada por regulaciones | 63.75 |
|--|--------------|

Clasificación del área según la zona de ubicación del proyecto (p)

| | | | |
|--|-----|--|---|
| 5. Localización autorizada por Plan Regulador u otra planificación ambiental de una del zócalo, aprobada por la SETENA, incluyendo la variable ambiental según la metodología | 0.5 | 6. Localización autorizada por Plan Regulador NO aprobada por SETENA. Se multiplica el valor de SIA por un valor de 1,0 - | 1 |
| 7. Localización en área sin Plan Regulador. Se multiplica el valor de SIA por un valor de 1,5 - | 1.5 | 8. Localización en área ambientalmente fríasil, excepto que este contemplada en el numeral 5. Se multiplica el valor de SIA por | 2 |

Nota: Deberá brindarse la cita correcta del Plan Regulador u del Plan

| | |
|-----|-----|
| (p) | 0.5 |
|-----|-----|

| | |
|---|-------------|
| 9. Calificación final de la SIA: | 31.9 |
|---|-------------|

Figura 4.15 Plantilla D1 Setena, Finca El Coyolito.

(Fuente: MINAE, 2005)

4.17 Análisis Social

Evaluación y gestión de los riesgos y beneficios relacionados con el proyecto: Al evaluar los beneficios del proyecto, las personas a las que se les aplicó la encuesta coincidieron en que el principal beneficio es un mayor aprovechamiento y un uso eficiente del recurso hídrico; gracias a esto se pretende aumentar la producción considerablemente suministrando correctamente el agua adecuada a los cultivos. Por otra parte, existen problemas con los que se debe trabajar al desarrollar posibles proyectos de riego en la comunidad, por ejemplo, la limitante de agua que hay en la provincia de Guanacaste debido a los veranos prolongados por lo que se tiene que buscar soluciones que beneficien a los productores, por otra parte, los pocos recursos económicos con los que cuentan los productores pasa a ser un factor de importancia.

Comprensión y apoyo local: Al haber necesidades económicas por parte de los productores para el desarrollo de posibles proyectos relacionados con sistemas de riego, el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) se encarga de darles seguimiento y asesoramiento técnico, así como ir de la mano con instituciones públicas que brinden apoyo económico en estos casos, siendo de gran ayuda y beneficio para ellos.

Eficiencia y eficacia en la ejecución de los proyectos: Como se mencionó en el punto anterior, una de las ventajas que brindan algunas instituciones del estado es la ayuda a los sectores más vulnerables del país. Por ejemplo, en este caso la principal fuente de agua para abastecer los sistemas de riego son ríos, quebradas, pozos, etc., por lo que se necesita proporcionar información y asesoramiento para la inscripción de los pozos, así como para concesionar el agua que se utilice de los ríos; gracias a esto la ejecución del proyecto sería más eficiente. En el caso de la parte económica el MAG trabaja con entidades como el Instituto de Desarrollo Rural (INDER), el cual es el que proporciona la ayuda financiera por lo que el Ministerio de Agricultura y Ganadería serviría de intermediario en pro de los productores.

Evaluación de los resultados e impactos del proyecto: Al obtener el resultado de la encuesta aplicada, se puede tener una base y datos de referencia para evaluar el impacto social que puede generar el proyecto. Haciendo un resumen de las respuestas obtenidas por parte de los productores de la zona de Cañas Dulces, el tipo de riego más utilizado es goteo, en el caso de los sistemas de riego en las diferentes fincas generalmente son instalados de manera empírica.

CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- a) Para el cultivo de chile dulce se requiere de una lámina neta real de 6,59 mm, mientras que para el maíz es de 22,6 mm. En cuanto a la textura, ambas fincas tienen suelos francos arcillosos, en el caso de Finca El Tecal los porcentajes de capacidad de campo y punto de marchitez permanente son 27 y 13 % respectivamente, que están dentro del rango de este tipo de suelo, con una densidad aparente de 1,16 g/cm³. Para Finca El Coyolito, el porcentaje de capacidad de campo es de 39 y punto de marchitez permanente es de 18%, con una densidad aparente de 0,9 g/cm³.
- b) Al realizar la clasificación de uso de suelo para el área 2 en Finca El Tecal se obtiene como resultado clase VIII, que lo determinan las condiciones de profundidad efectiva del suelo y la pedregosidad presente, por lo tanto, se concluye que no es apta para actividades productivas agrícolas. En el caso del área 1 al presentar características diferentes se determina que se puede implementar el cultivo de chile dulce debido a que no presenta ninguna condición limitante que lo impida, por lo que se realizan las propuestas de riego para esta área.
- c) Se realizaron dos propuestas para Finca El Tecal, para la propuesta 1 se utilizó el caudal que tiene la finca por lo tanto el área a regar es de 240 m² únicamente. En la propuesta 2 se utiliza el área disponible total (1265 m²), determinando un caudal de 0,69 m³/hr, por lo que es necesario algún sistema para almacenamiento de agua que tenga un volumen de 21,6 m³ con un tiempo de llenado de 24 h, con este volumen se satisface suministrar agua al ganado y al sistema de riego.
- d) Para la propuesta en Finca El Coyolito se realizaron tres divisiones de igual tamaño cada una, la válvula estaría al inicio de cada lote y la frecuencia de riego es de 3 días por lo que se podría regar una división por día.

- e) Las propuestas realizadas son viables desde el punto de vista ambiental, esto porque las áreas son usadas para fines agrícolas o cuentan con algunas plantas, por lo que no hay un cambio abrupto de las condiciones del suelo. Parámetros como el aire, suelo, biotipos no presentan ningún tipo de alteración en la ejecución del proyecto.
- f) Según el análisis social de las propuestas, los productores tendrían un beneficio directo debido a que los estudios realizados permiten conocer la cantidad de agua que se le debe de suministrar a cada cultivo, principalmente por los problemas de limitación del recurso hídrico que existe en la zona de Guanacaste. Por otra parte, son necesarias soluciones para mejorar la disponibilidad de agua en las fincas de la zona de Cañas Dulces.
- g) Al comparar las propuestas realizadas para Finca Rancho El Tecal según el análisis económico, la propuesta dos en la que se considera el área disponible total (1265 m²), es la que presenta rentabilidad debido a que la propuesta uno no es factible porque en el tiempo de amortización establecido la inversión inicial no es recuperada.
- h) Según el análisis económico realizado para Finca El Coyolito a partir del año uno se recupera la inversión inicial, obteniendo valores de VAN y TIR positivos, por lo que la propuesta es considerada viable.

5.2 Recomendaciones

- a) Se recomienda en Finca Rancho El Tecal utilizar algún sistema de cosecha de agua, pozo, etc., para poder implementar sistemas de riego eficientes e incursionarse más a fondo en el tema de la agricultura.
- b) Se recomienda limpiar periódicamente el sistema con el fin de evitar obstrucciones en las tuberías.
- c) En Finca Rancho El Tecal se recomienda la instalación de cableado eléctrico a partir del panel solar de la finca para el uso de la bomba eléctrica debido al alto costo que podría generar una bomba de combustión.
- d) En la parte ambiental se recomienda al realizar la declaración jurada revisar detalladamente todo lo que se le solicite con el fin de que la ejecución del proyecto no se vea perjudicada.
- e) Tener un uso adecuado de los desechos cuando los componentes de los sistemas de riego cumplan su vida útil.

CAPÍTULO 6. BIBLIOGRAFÍA

- ABP. (s. f.). Valvulas de Compuerta - Riegos Agrícolas e Industriales Precios. Recuperado 18 de junio de 2020, de <https://www.materialesriegos.com/Materiales-de-Riegos/Valvulas/Valvulas-de-Compuerta>
- AgroEs. (2019). Intervalo de Humedad Disponible IHD - Nivel de Agotamiento Permisible NAP- Déficit de Agua en el Suelo DAS - El agua del suelo en relación con el riego. Recuperado 16 de agosto de 2019, de <http://www.agroes.es/agricultura/agua-riegos-regadios/330-el-agua-del-suelo-en-relacion-con-el-riego-agricultura>
- Arco. (2019). Válvula de retención: cómo funcionan y dónde se colocan. Recuperado 18 de junio de 2020, de <http://blog.valvulasarco.com/valvula-de-retencion-como-funcionan-donde-se-colocan>
- Arias, N., CEVALLOS, B., GUERRA, X., GARCIA, EDUARDO CEVALLO, M., TUMBACO, DANIEL MOREIRA, J., SIMÓN, WITTONG ZAMBRANO, D., & CESAR, ZAMBRANO CEDEÑO, J. (2016). Tipos de Aforos. Recuperado 20 de enero de 2020, de <http://jorge-tumbaco.blogspot.com/>
- Barsallo, N. (s. f.). Parámetros de funcionamiento - Selección de bombas. Recuperado 16 de agosto de 2019, de <https://sites.google.com/site/selecciondebombas/home/parametros-de-funcionamiento>
- BID. (s. f.). *Evaluación del impacto social*.
- Bonilla, N., & Vargas, A. (2008). *Cultivo de maíz*.
- Carrillo, Campos, R. (2007). Chile dulce. *Ministerio de agricultura y ganaderia*, 1-76.
- Chow, J. (s. f.). Fto2 Requerimientos de Riego. Recuperado 16 de agosto de 2019, de http://www.riego.elesteliano.com/ayuda/Fto2_Requerimientos_de_riego.htm
- Delgadillo, O. (2014). *Aforo de agua volumétrico*. 55.
- Deras, H. (2012). *Redsicta*.
- EcuRed. (s. f.). Capacidad de campo y Punto de marchitez - EcuRed. Recuperado 16 de agosto de 2019, de https://www.ecured.cu/Capacidad_de_campo_y_Punto_de_marchitez
- Evergush. (2018). *EVERGUSH-ECM-EN(50HZ)-201808.pdf*.
- FAO. (s. f.-a). 6. TEXTURA DEL SUELO. Recuperado 2 de abril de 2020, de http://www.fao.org/tempref/FI/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6706s/x6706s06.htm

- FAO. (s. f.-b). Estimaciones del Caudal de Agua. Recuperado 18 de junio de 2020, de http://www.fao.org/tempref/Fl/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/General/x6705s/x6705s03.htm
- FAO. (2006). Documento 56. *FAO:Estudios FAO Riego y Drenaje 56*, 297. <https://doi.org/10.1590/1983-40632015v4529143>
- FAO. (2019). CLIMWAT | Tierras y Aguas | Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura | Land & Water | Food and Agriculture Organization of the United Nations. Recuperado 16 de agosto de 2019, de <http://www.fao.org/land-water/databases-and-software/climwat-for-cropwat/es/>
- Flores, L., & Alcalá, J. (2010). Manual de Procedimientos Analíticos Física de Suelos. *Instituto de Geología (UNAM)*, 56. <https://doi.org/10.1007/s00431-003-1251-6>
- FORAS. (2019). www.foras-pumps.it.
- Franquet, J. (s. f.). Mtodo del correntmetro o molinete. Recuperado 19 de junio de 2020, de [https://www.eumed.net/libros-gratis/2009b/564/Metodo del correntometro o molinete.htm](https://www.eumed.net/libros-gratis/2009b/564/Metodo_del_correntometro_o_molinete.htm)
- García, A. (2017). Tuberías de polietileno para uso agrario y alimentario - Gardeneas. Recuperado 18 de junio de 2020, de <https://gardeneas.com/tuberias-de-polietileno/>
- Gascó, T. (2019). VAN | ¿Qué es el VAN? | Definición de VAN | Valor actual neto. Recuperado 30 de abril de 2020, de <https://numdea.com/van.html>
- Harper, J., & Jarret, A. (2016). Riego por Goteo para la Producción Vegetal. Recuperado 2 de marzo de 2020, de <https://extension.psu.edu/riego-por-goteo-para-la-produccion-vegetal>
- Hernández, F. (s. f.). La frecuencia de riego en cultivos en invernadero y campo abierto. Recuperado 16 de agosto de 2019, de http://www.agro-tecnologia-tropical.com/frecuencia_de_riego.html
- Ibáñez, J. (2006). Niveles de Humedad del Suelo y Agua disponible: El Agua en El Suelo 3 | Un Universo invisible bajo nuestros pies. Recuperado 15 de junio de 2020, de <https://www.madrimasd.org/blogs/universo/2006/06/26/33002>
- InfoAgro. (s. f.). Ventajas y desventajas del riego por goteo | Revista Infoagro México. Recuperado 25 de febrero de 2020, de <https://mexico.infoagro.com/ventajas-y-desventajas-del-riego-por-goteo/>

- Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. (1992). Manual de aforos. *Manual*, 145.
- Jiménez, R. (1995). *Manual para la determinación de la capacidad de uso de las tierras de Costa Rica*. 1-72.
- Liotta, M. (2015). Manual de capacitación. Riego por goteo. *Inta*, 15.
- Lo que debes saber sobre el riego a presión – Agriculturers.com | Red de Especialistas en Agricultura. (s. f.). Recuperado 17 de octubre de 2019, de <http://agriculturers.com/lo-que-debes-saber-sobre-el-riego-presion/>
- Los Tipos de Riego y sus ventajas: ¿Cuál es el adecuado? | ERP Agrícola - Software ERP Agrícola: Gestión integral de Ranchos Agrícolas. (2016). Recuperado 17 de octubre de 2019, de <http://sistemaagricola.com.mx/blog/tipos-de-riego-en-la-agricultura-y-ventajas/>
- MINAE. (2005). [5]_Plantilla-Formulario_D1-SETENA-Version_Oficial.
- Netafim. (s. f.). *Catálogo de productos Regaber*.
- Novelec. (2018). Tipos de tubería de PVC y características - Grupo Novelec. Recuperado 18 de junio de 2020, de <https://blog.gruponovelec.com/fontaneria-y-gas/tipos-de-tuberia-de-pvc-y-caracteristicas/>
- Núñez, J. (2001). Clasificación de Tierras. *Manejo y conservación del Suelo.*, 139-166.
- Núñez, J. (1996). Manual de Laboratorio de Edafología - Google Libros. Recuperado 18 de mayo de 2020, de https://books.google.co.cr/books?id=s10PtCozrpwC&pg=PA18&lpg=PA18&dq=bouyoucos+jorge+núñez&source=bl&ots=fdwmbQVkJJS&sig=ACfU3U3SIN1fns_dkJvAzNbV432Tf-nMlw&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwiSvrPUlr7pAhUMd98KHZdeCCEQ6AEwAnoECAoQAQ#v=onepage&q=bouyoucos jorge núñez&f=false
- Orellana, F., Escobar, J., Morales, A., Méndez, I., Cruz, R., & Castellón, M. (s. f.). *Chile Dulce*.
- Panamá, U. T. de. (2006). *Universidad Tecnológica de Panamá Universidad Tecnológica de Panamá Centro de Investigaciones Hidráulicas e*.
- Paz, E. (2018). Aforo Químico o Del Trazador | Concentración | sal | Prueba gratuita de 30 días | Scribd. Recuperado 18 de junio de 2020, de <https://es.scribd.com/document/381671259/Aforo-Quimico-o-Del-Trazador>

- Phillips, A., Vargas, V., Rojas, N., Alvarado, D., Porras, Á., Chacón, J., & Zeledón, J. (2004). *Manual técnico*.
- Picado, K. (s. f.). ZONAS DE VIDA DE COSTA RICA - Presentaciones de Google. Recuperado 22 de junio de 2020, de <https://docs.google.com/presentation/d/1pRX-DpKIehE2gMdnE0CQQLMJFq2WunUNX2upDeXZIZQ/htmlpresent>
- Portalfrutícola. (2016). ¿Que es le coeficiente de cultivo (Kc) en riego? Valores por especie -. Recuperado 18 de junio de 2020, de <https://www.portalfruticola.com/noticias/2016/08/14/que-es-le-coeficiente-de-cultivo-kc-en-riego-valores-por-especie/>
- Riego. (2013). HORTALIZAS AL AIRE LIBRE Y EN INVERNADEROS: Manómetros en sistemas de riego. Recuperado 19 de junio de 2020, de <http://hortalizas-invernaderos-riego.blogspot.com/2013/08/uso-de-manometros-en-sistemas-de-riego.html>
- Riquelme, M. (2018). ¿Qué mide la tasa interna de retorno? - Web y Empresas. Recuperado 30 de abril de 2020, de <https://www.webyempresas.com/que-mide-la-tasa-interna-de-retorno/>
- Rojas, J. (2012). *INTA Centro Regional Chaco Formosa Estación Experimental Agropecuaria Sáenz Peña Ruta 95 km 1108. Provincia de Chaco. CP 3700. Argentina. www.inta.gov.ar/saenzpe.*
- Salamanca, A., & Siavosh, S. (2005). La densidad aparente y su relación con otras propiedades en suelos de la zona cafetera Colombiana. *Cenicafé*, 56(4), 381-397.
- Saleplas. (2018). Uso de ventosas en instalaciones de riego | Saleplas. Recuperado 19 de junio de 2020, de <http://saleplas.net/blog/post/titulo/uso-de-ventosas-en-instalaciones-de-riego#>
- Sanabria, S. (2019). Época seca podría extenderse este año - Periódico Mensaje Guanacaste. Recuperado 23 de junio de 2020, de <https://www.periodicomensaje.com/guanacaste/3440-epoca-seca-podria-extenderse-este-ano>
- Segura, M. Á., & Ortiz, C. A. (2017). Modelación de la evapotranspiración potencial mensual a partir de temperaturas máximas-mínimas y altitud. *Tecnología y ciencias del agua*, 08(3), 93-110. <https://doi.org/10.24850/j-tyca-2017-03-06>
- Sabalza, M. (2006). Evaluación económica de proyectos de cooperación.

- SETENA. (s. f.). [6]_32079_Instructivo_llenado_D2,_formulario,_CBPA,_ (MIT_I).
- Solano, M. (2016). Características de Cropwat - SOFTWARE AGRÍCOLA CROPWAT. Recuperado 18 de junio de 2020, de <https://sites.google.com/site/softwareagricolacropwat/introduccion/caracteristicas-de-cropwat>
- Tuandco. (2015). Qué es una válvula de seguridad y para qué sirve | Aprende & Mejora. Recuperado 18 de junio de 2020, de <https://www.tuandco.com/aprendeymejora/que-es-una-valvula-de-seguridad-y-para-que-sirve/>
- Universidad de Barcelona. (2020). Elementos claves en el estudio económico de un proyecto | OBS Business School. Recuperado 30 de abril de 2020, de <https://obsbusiness.school/int/blog-project-management/etapas-de-un-proyecto/elementos-claves-en-el-estudio-economico-de-un-proyecto>
- Universidad de Riego. (2017). Reguladores de presión para equipos de riego - Universidad de Riego. Plataforma de transferencia de conocimientos e innovación en riego. Recuperado 18 de junio de 2020, de <https://www.universidadderiego.com/reguladores-de-presion-para-equipos-de-riego/>
- Uribe, H., & Maldonado, I. (2015). *Programación de riego*. (p. 4). p. 4.
- Vasquez, A., Vasquez, I., Vasquez, C., & Cañamero, M. (2005). Gestión integrada de los recursos hídricos. En *Mop* (Vol. 1).
- Velayos, V. (s. f.). Valor actual neto (VAN) - Definición, qué es y concepto | Economipedia. Recuperado 27 de febrero de 2020, de <https://economipedia.com/definiciones/valor-actual-neto.html>
- Villacencio, A., & Villablanca, A. (2011). *Uniformidad riego*. 1-2.
- Villagra, K. (1993). *Evaluación de Impacto Ambiental*.
- Villalobos, M. (2015). *Riego Por Goteo Subterráneo*. 1-2.
- Villalobos, M. (2018). *I. Riego por aspersión 1.1 Introducción*. (1), 1-114.
- Viloria, I. (2015). Metodología para la Evaluación de Impacto Ambiental aplicada al ciclo de vida de proyectos de infraestructura en Colombia. Medellín, Colombia. Recuperado de: <http://bdigital.unal.edu.co/54620/1/1095802426.2015.pdf>

ANEXOS

Anexo 1. Porcentaje de área humedecido en el riego por goteo.

Porcentaje del área humedecido en el riego por goteo.

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

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

Figura 1. Porcentaje de área humedecido en el riego por goteo. (Fuente: Villalobos, 2018)

Anexo 2. Triángulo textural.

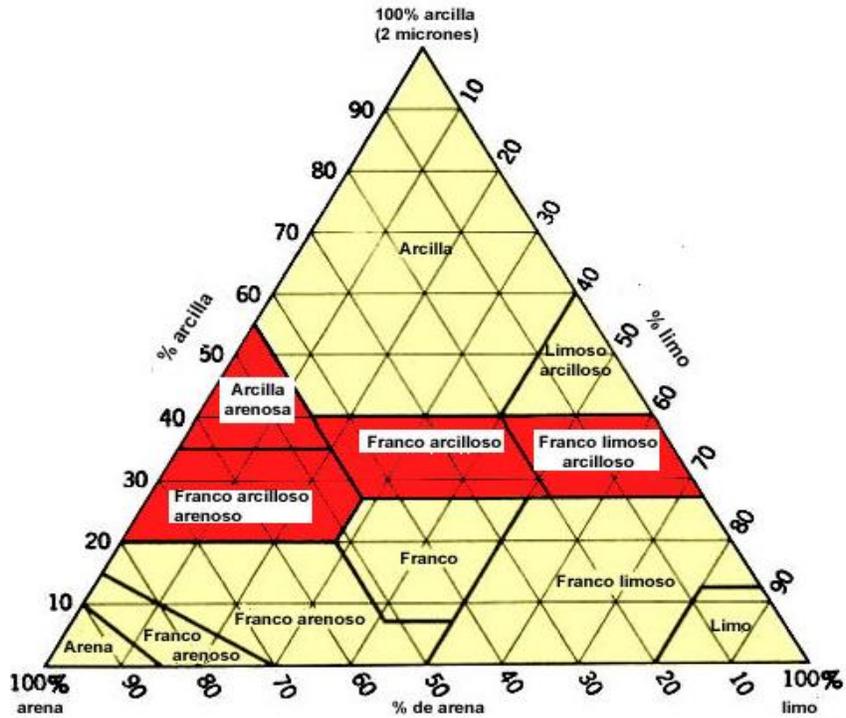


Figura 2. Triángulo textural. (Fuente: FAO, s. f.)

Anexo 3. Especificaciones tubería PVC.

| Diámetro Nominal | | SDR | Presión de trabajo Kg/cm ² | Lon. tubo (m) | Dia. Exterior (mm) | Dia. Interior (mm) | Presión de ruptura Kg/cm ² | Peso por tubo (Kg) |
|------------------|-------|------|---------------------------------------|---------------|--------------------|--------------------|---------------------------------------|--------------------|
| (mm) | Pulg. | | | | | | | |
| 25 | 1 | 26 | 11,2 | 6 | 33,4 | 30,36 | 35,1 | 30,36 |
| 31 | 1 1/4 | 26 | 11,2 | 6 | 42,16 | 38,9 | 35,1 | 38,90 |
| 38 | 1 1/2 | 26 | 11,2 | 6 | 48,26 | 44,56 | 35,1 | 44,56 |
| 50 | 2 | 26 | 11,2 | 6 | 60,33 | 55,71 | 35,1 | 55,71 |
| 62 | 2 1/2 | 26 | 11,2 | 6 | 73,03 | 67,45 | 35,1 | 67,45 |
| 75 | 3 | 26 | 11,2 | 6 | 88,90 | 82,04 | 35,1 | 82,04 |
| 100 | 4 | 26 | 11,2 | 6 | 114,30 | 105,52 | 35,1 | 105,52 |
| 150 | 6 | 26 | 11,2 | 6 | 168,28 | 155,32 | 35,1 | 155,32 |
| 200 | 8 | 26 | 11,2 | 6 | 219,08 | 202,22 | 35,1 | 202,22 |
| 250 | 10 | 26 | 11,2 | 6 | 273,05 | 252,07 | 35,1 | 252,07 |
| 300 | 12 | 26 | 11,2 | 6 | 323,85 | 298,95 | 35,1 | 298,95 |
| 31 | 1 1/4 | 32,5 | 8,8 | 6 | 42,2 | 39,0 | 28,1 | 1,67 |
| 38 | 1 1/2 | 32,5 | 8,8 | 6 | 48,26 | 45,22 | 28,1 | 1,855 |
| 50 | 2 | 32,5 | 8,8 | 6 | 60,33 | 56,63 | 28,1 | 2,899 |
| 62 | 2 1/2 | 32,5 | 8,8 | 6 | 73,03 | 68,55 | 28,1 | 4,249 |
| 75 | 3 | 32,5 | 8,8 | 6 | 88,90 | 83,42 | 28,1 | 6,58 |
| 100 | 4 | 32,5 | 8,8 | 6 | 114,30 | 107,28 | 28,1 | 10,84 |
| 150 | 6 | 32,5 | 8,8 | 6 | 168,28 | 157,92 | 28,1 | 23,54 |
| 200 | 8 | 32,5 | 8,8 | 6 | 219,08 | 205,62 | 28,1 | 39,94 |
| 250 | 10 | 32,5 | 8,8 | 6 | 273,05 | 256,23 | 28,1 | 62,22 |
| 300 | 12 | 32,5 | 8,8 | 6 | 323,85 | 303,93 | 28,1 | 87,51 |
| 31 | 1 1/4 | 41 | 7,0 | 6 | 42,16 | 39,80 | 22,1 | 1,08 |
| 38 | 1 1/2 | 41 | 7,0 | 6 | 48,26 | 45,90 | 22,1 | 1,45 |
| 50 | 2 | 41 | 7,0 | 6 | 60,32 | 57,38 | 22,1 | 2,23 |
| 62 | 2 1/2 | 41 | 7,0 | 6 | 73,03 | 69,46 | 22,1 | 3,10 |
| 75 | 3 | 41 | 7,0 | 6 | 88,90 | 84,58 | 22,1 | 5,18 |
| 100 | 4 | 41 | 7,0 | 6 | 144,30 | 108,72 | 22,1 | 8,74 |
| 150 | 6 | 41 | 7,0 | 6 | 168,28 | 160,08 | 22,1 | 18,9 |
| 200 | 8 | 41 | 7,0 | 6 | 219,08 | 208,42 | 22,1 | 31,92 |
| 250 | 10 | 41 | 7,0 | 6 | 273,05 | 259,75 | 22,1 | 49,58 |
| 300 | 12 | 41 | 7,0 | 6 | 323,85 | 308,05 | 22,1 | 69,86 |
| 380 | 15 | 41 | 7,0 | 6 | 388,60 | 369,70 | 22,1 | 93,6 |

Figura 3. Especificaciones tubería PVC. (Fuente: Villalobos, 2018)

Anexo 4. Especificaciones para tubería de polietileno usada en riego.

| Características tubería polietileno blando | | | Características tubería polietileno duro | | |
|--|------------------|-------------------|--|-------------------|-------------------|
| P.trabajo (kg/cm ²) | Dia nominal (mm) | Dia interior (mm) | P. trabajo (kg/cm ²) | Dia nominal. (mm) | Dia interior (mm) |
| 2,5 | 12 | 9,8 | 2,5 | 50 | 46,7 |
| 2,5 | 16 | 13,1 | 2,5 | 63 | 59,7 |
| 2,5 | 20 | 16,9 | 2,5 | 75 | 71,1 |
| 2,5 | 25 | 21,7 | 2,5 | 90 | 85,5 |
| 2,5 | 32 | 28,7 | 2,5 | 110 | 104,4 |
| 2,5 | 40 | 36,0 | 4 | 32 | 28,7 |
| 2,5 | 50 | 45,0 | 4 | 40 | 36,7 |
| 4 | 12 | 9,6 | 4 | 50 | 45,8 |
| 4 | 16 | 12,7 | 4 | 63 | 58,0 |
| 4 | 20 | 16,5 | 4 | 75 | 69,0 |
| 4 | 25 | 21,1 | 4 | 90 | 82,8 |
| 4 | 32 | 27,0 | 4 | 110 | 101,3 |
| 4 | 40 | 33,8 | 6 | 25 | 21,7 |
| 4 | 50 | 42,3 | 6 | 32 | 28,1 |
| 6 | 12 | 9,2 | 6 | 40 | 35,0 |
| 6 | 16 | 12,3 | 6 | 50 | 43,8 |
| 6 | 20 | 15,1 | 6 | 63 | 55,2 |
| 6 | 25 | 19,2 | 6 | 75 | 65,7 |
| 6 | 32 | 24,5 | 6 | 90 | 78,9 |
| 6 | 40 | 30,8 | 6 | 110 | 96,4 |
| 6 | 50 | 38,4 | 8 | 20 | 16,7 |
| 8 | 12 | 7,9 | 8 | 25 | 21,7 |
| 8 | 16 | 10,4 | 8 | 32 | 27,0 |
| 8 | 20 | 13,0 | 8 | 40 | 33,8 |
| 8 | 25 | 16,3 | 8 | 50 | 42,4 |
| 8 | 32 | 20,9 | 8 | 63 | 53,3 |
| 8 | 40 | 26,3 | 8 | 75 | 63,7 |
| 8 | 50 | 33,0 | 8 | 90 | 76,4 |
| | | | 8 | 110 | 93,4 |

Figura 4. Especificaciones para tubería de polietileno usada en riego. (Fuente: Villalobos, 2018)

Anexo 5. Parámetros para la evaluación de la capacidad de uso de suelo.

| CLASE | EROSIÓN | | SUELOS | | | | | DRENAJE | | | CLIMA | | | |
|-------|----------------|-----------------|----------------------|--------------------------------------|----------------------------|------------------------------------|----------------|---|--------------------------|----------------------|--|----------------|-------------------|--------------------|
| | PENDIENTE (%) | EROSIÓN SUFRIDA | PROFUNDIDAD EFECTIVA | TEXTURA S ₂ SUELO 0-30 cm | SUBSUELO >30 cm | PEDREGOSIDAD | FERTILIDAD | TOXICIDAD S ₂ SALINIDAD S ₂ | DRENAJE | RIESGO DE INUNDACIÓN | ZONA VIDA | PERIODO SECO | NEBLINA | WENTO |
| | e ₁ | e ₂ | S ₁ | S ₂ | S ₃ | S ₄ | S ₅ | d ₁ | d ₂ | C ₁ | C ₂ | C ₃ | C ₄ | |
| I | < 3 | Nula | > 120 | Media | Mod gruesas a Mod finas | Sin piedra | Alta | Toxic. Lave Salin. Lave | Buero | Nulo | bh-P bh-T bh-MB Todas excepto pluviales y bnh | Moderad | Ausente | Ausente |
| II | < 8 | Nula a leve | > 90 | Mod. Finas a Mod. gruesas | Finas a Mod gruesas | Sin piedra a ligeramente pedregoso | Media a alta | Toxic. Lave Salin. Lave | Mod. Excas. a Mod. lento | Nulo a leve | Todas excepto pluviales y bnh | Cualquiera | Ausente a Moderad | Ausente a Moderado |
| III | < 3 | Nula a leve | > 90 | Finas a muy finas | Finas a muy finas | Sin piedra a ligeramente pedregoso | Alta | Toxic. Lave Salin. Lave | Mod. lento a lento | Nulo a Moderado | bs-T bh-P bh-T Todas excepto pluviales | Fuerte | Ausente | Ausente a Moderado |
| | < 15 | Nula a moderada | > 60 | Finas a Mod gruesas | Finas a Mod gruesas | Sin piedra a Mod pedregoso | Media a alta | Toxic. Mod Salin. leve | Mod. Excas. a Mod. lento | Nulo a Moderado | Todas excepto pluviales | Cualquiera | Ausente a Moderad | Ausente a Moderado |
| IV* | < 30 | Nula a moderada | > 60 | Muy finas a Mod gruesas | Muy finas a Mod gruesas | Sin piedra a pedregoso | Media a alta | Toxic. Mod Salin. leve | Mod. lento a Mod. Excas. | Nulo a Moderado | Todas excepto páramo, bnh-M y bp-M | Cualquiera | Ausente a Moderad | Ausente a Moderado |
| | < 15 | Nula a moderada | > 30 | Cualquiera | Cualquiera | Sin piedra a fuertem. Pedreg. | Cualquiera | Toxic. Fuerte Salin. Mod | Muy lento a excesivo | Nulo a Severo | Todas excepto páramo | Cualquiera | Ausente a fuerte | Ausente a Fuerte |
| V** | < 30 | Nula a moderada | > 30 | Mod gruesa a finas | Cualquiera | Sin piedra a fuertem. Pedreg. | Cualquiera | Toxic. Fuerte Salin. Mod | Muy lento a excesivo | Nulo a Severo | Todas excepto pluviales y bnh-T | Cualquiera | Ausente a fuerte | Ausente a Fuerte |
| VI | < 50 | Nula a severa | > 60 | Cualquiera | Cualquiera excepto gruesas | Sin piedra a fuertem. Pedreg. | Cualquiera | Toxic. Fuerte Salin. Mod | Mod. excas. a Mod. lento | Nulo a Moderado | Todas excepto páramo | Cualquiera | Ausente a Moderad | Ausente a Moderado |
| VII | < 75 | Nula a severa | > 30 | Cualquiera | Cualquiera | Sin piedra a fuertem. Pedreg. | Cualquiera | Cualquiera | Cualquiera | Cualquiera | Todas excepto páramo | Cualquiera | Cualquiera | Cualquiera |
| VIII | Cualquiera | Cualquiera | Cualquiera | Cualquiera | Cualquiera | Cualquiera | Cualquiera | Cualquiera | Cualquiera | Cualquiera | Cualquiera | Cualquiera | Cualquiera | Cualquiera |

* Climas pluviales no permiten cultivos anuales en esta clase.
 ** Esta clase acepta cultivos permanentes sólo cuando la profundidad efectiva sea mayor de 60 cm, y no se presentan problemas de viento y neblina fuerte.
 *** Textura arenosa a través de todo perfil, se clasifica como clase VIII

Figura 5. Parámetros para la evaluación de la capacidad de uso de suelo. (Fuente: Nuñez, 2001)

Anexo 6. Parámetros de Eto calculados con CROPWAT para la zona de Liberia.

| Mes | Temp Min °C | Temp Max °C | Humedad % | Viento km/día | Insolación horas | Rad MJ/m²/día | Eto mm/día |
|------------|-------------|-------------|-----------|---------------|------------------|---------------|------------|
| Enero | 20.5 | 33.1 | 76 | 311 | 8.9 | 20.3 | 4.99 |
| Febrero | 21.1 | 34.7 | 71 | 372 | 9.3 | 22.2 | 6.10 |
| Marzo | 22.0 | 35.5 | 73 | 372 | 8.9 | 22.9 | 6.28 |
| Abril | 23.1 | 35.8 | 74 | 294 | 8.3 | 22.3 | 5.97 |
| Mayo | 23.3 | 33.9 | 81 | 173 | 6.5 | 19.3 | 4.60 |
| Junio | 23.1 | 31.6 | 87 | 130 | 5.1 | 16.8 | 3.70 |
| Julio | 23.1 | 32.2 | 86 | 207 | 6.3 | 18.6 | 4.13 |
| Agosto | 22.8 | 32.1 | 84 | 190 | 6.2 | 18.8 | 4.23 |
| Septiembre | 22.4 | 31.5 | 90 | 130 | 5.5 | 17.6 | 3.72 |
| Octubre | 22.1 | 30.8 | 89 | 121 | 5.6 | 16.9 | 3.51 |
| Noviembre | 21.7 | 31.4 | 83 | 156 | 7.1 | 17.9 | 3.82 |
| Diciembre | 20.6 | 32.4 | 81 | 242 | 8.1 | 18.6 | 4.22 |
| Promedio | 22.2 | 32.9 | 81 | 225 | 7.1 | 19.3 | 4.61 |

Figura 6. Parámetros de Eto calculados con CROPWAT para la zona de Liberia. (Fuente: FAO, 2019))

Anexo 7. Especificaciones de cinta de goteo seleccionada (Minitody) para Finca Rancho El Tecal y Finca El Coyolito.

MINITODY

MINITODY es una cinta integral de pared fina en cuya cara interna se han soldado goteros inyectados planos de tecnología Turbonet.

La incorporación del sistema TURBONET se traduce en un acortamiento importante de la longitud del laberinto al mismo tiempo que se incrementa la mínima sección de paso. Esto, unido a la nueva disposición del filtro de entrada al gotero permite obtener la máxima resistencia a obturaciones en un intervalo de trabajo muy amplio (exponente muy bajo en la relación presión/caudal).

CARACTERÍSTICAS

- Laberinto TURBONET® de flujo turbulento.
- Gran área de filtración.
- Alta resistencia a la obturación.
- Gotero inyectado con muy bajo CV.
- Gotero integrado de dimensiones muy reducidas y con pasos amplios altamente resistentes a las obturaciones.
- Bajos caudales de gotero, lo que permite utilizar cinta con distancias cortas entre emisores.
- Largos laterales que simplifican las instalaciones.
- Fabricada en PE virgen de alta densidad, de gran resistencia a daños mecánicos.

OPCIONES

- Diámetros comerciales: 17 y 22 mm.
- Grosores de pared: 0.15 (8000), 0.20 (8000), 0.30 y 0.40 mm.



Tabla de largos máximos de tubería. Minitody 17/20

| | Pendiente % | Distancia entre goteros | | | | |
|-------------|-------------|-------------------------|-----|-----|-----|-----|
| | | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.5 | |
| | | MINITODY 17/20 | | | | |
| 0.72 l/h | Ascendente | 2 | 76 | 85 | 89 | 92 |
| | | 1 | 101 | 122 | 137 | 148 |
| | | 0 | 132 | 176 | 214 | 248 |
| | Descendente | -1 | 162 | 228 | 292 | 356 |
| | | -2 | 192 | 284 | 368 | 456 |
| | 1.05 l/h | Ascendente | 2 | 73 | 85 | 93 |
| | | 1 | 90 | 112 | 128 | 142 |
| | | 0 | 108 | 144 | 176 | 205 |
| Descendente | | -1 | 124 | 173 | 219 | 264 |
| | | -2 | 142 | 205 | 268 | 333 |
| 1.60 l/h | | Ascendente | 2 | 62 | 74 | 82 |
| | | 1 | 72 | 91 | 106 | 119 |
| | | 0 | 83 | 110 | 134 | 156 |
| | Descendente | -1 | 91 | 126 | 159 | 190 |
| | | -2 | 102 | 145 | 187 | 229 |

Largo máximo de un lateral (m) con un 10% de variación de caudal. Presión de entrada 1.0 bar.

Datos técnicos de la tubería

| Tubería | Ø interior (mm) | Espesor (mm) | Ø exterior (mm) | Presión máxima de trabajo (bar) | KD |
|---------|-----------------|--------------|-----------------|---------------------------------|------|
| 17/15 | 16.20 | 0.15 | 16.5 | 0.80 | 0.10 |
| 17/20 | 16.20 | 0.20 | 16.6 | 1.00 | 0.10 |
| 17/30 | 16.20 | 0.31 | 16.82 | 1.80 | 0.10 |

Datos técnicos del gotero. Minitody 17/20

| Caudal nominal* (l/h) | Caudal a presión máxima (l/h) | Dimensiones del paso del laberinto ancho - profundidad - largo (mm) | Área filtración (mm²) | Constante k | Exponente x |
|-----------------------|-------------------------------|---|-----------------------|-------------|-------------|
| 0.72 | 0.72 | 0.58 x 0.33 x 25 | 14 | 0.238 | 0.48 |
| 1.05 | 1.05 | 0.51 x 0.42 x 13 | 15 | 0.373 | 0.45 |
| 1.60 | 1.60 | 0.66 x 0.55 x 13 | 17 | 0.568 | 0.45 |

Caudal según presión. Para modelos integrados en tubería de 17/20.

| Modelo | Presión (m.c.a.) | | | | | | | | | | | |
|--------|------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 4.5 | 5 | 5.5 | 6 | 6.5 | 7 | 7.5 | 8 | 8.5 | 9 | 9.5 | 10 |
| 0.72 | 0.49 | 0.52 | 0.54 | 0.56 | 0.58 | 0.61 | 0.63 | 0.65 | 0.66 | 0.68 | 0.70 | 0.72 |
| 1.05 | 0.73 | 0.77 | 0.80 | 0.84 | 0.87 | 0.90 | 0.92 | 0.95 | 0.98 | 1.00 | 1.03 | 1.05 |
| 1.60 | 1.12 | 1.17 | 1.22 | 1.27 | 1.32 | 1.36 | 1.41 | 1.45 | 1.49 | 1.53 | 1.56 | 1.60 |

Figura 7. Especificaciones de cinta de goteo seleccionada. (Fuente: Netafim, s. f.)

Anexo 8. Ficha técnica de la bomba de la propuesta 1 (Finca Rancho El Tecal).

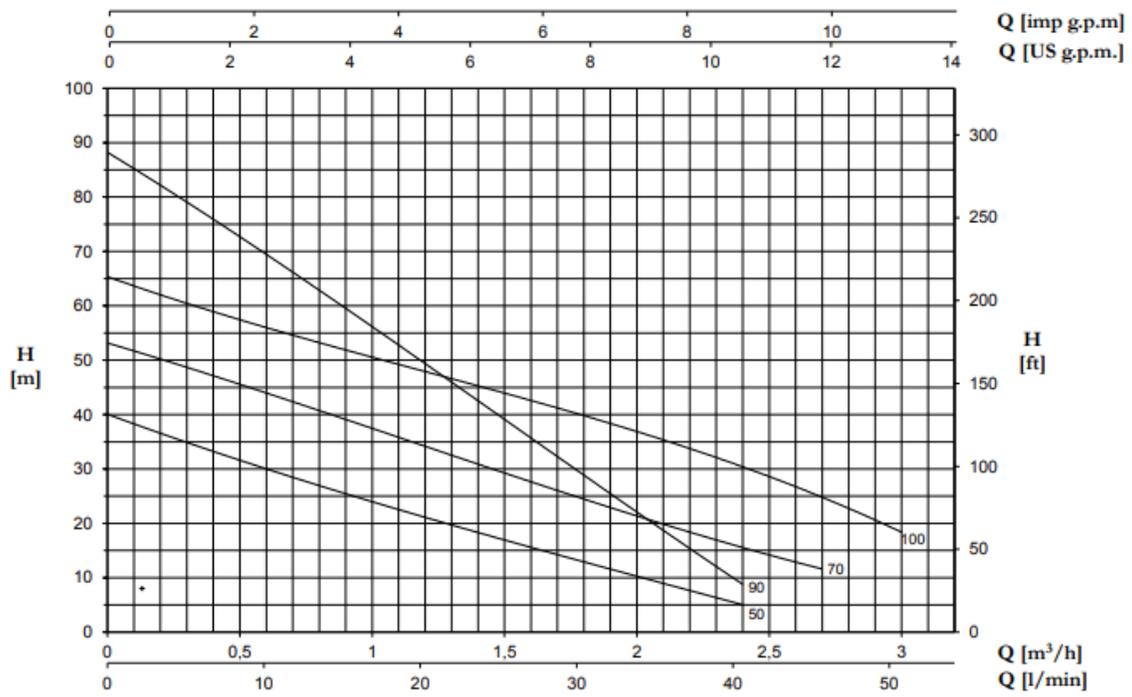


Figura 8. Ficha técnica de la bomba de la propuesta 1. (Finca Rancho El Tecal)

(Fuente: FORAS, 2019)

Anexo 9. Ficha técnica de la bomba de la propuesta 2 (Finca Rancho El Tecal).

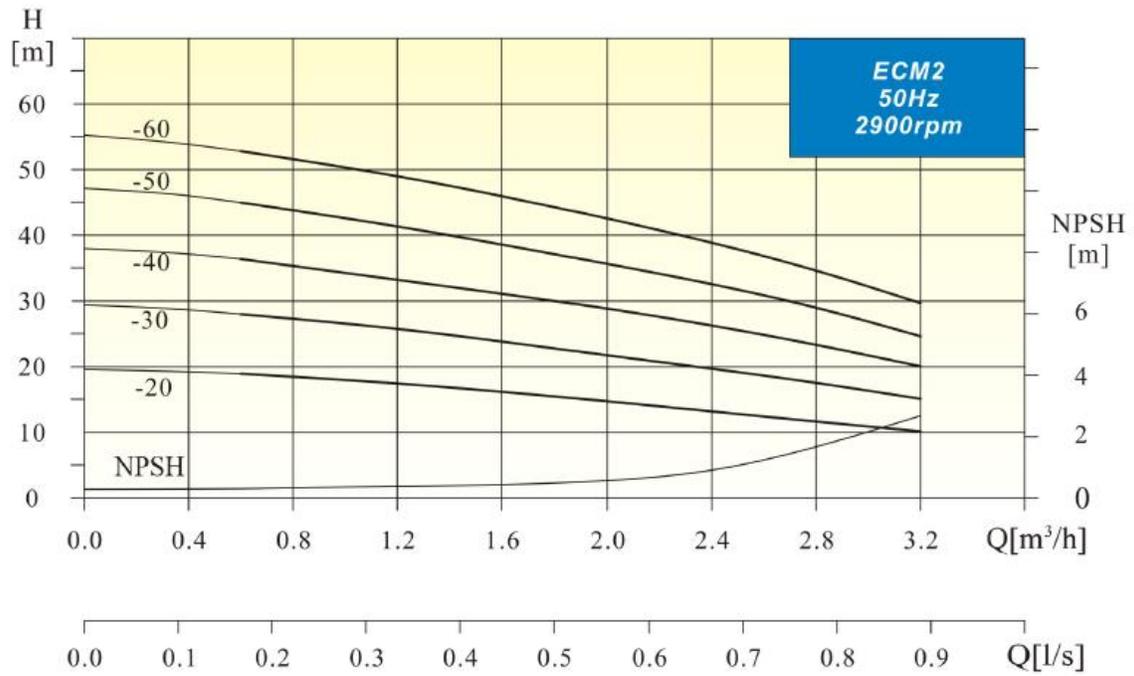
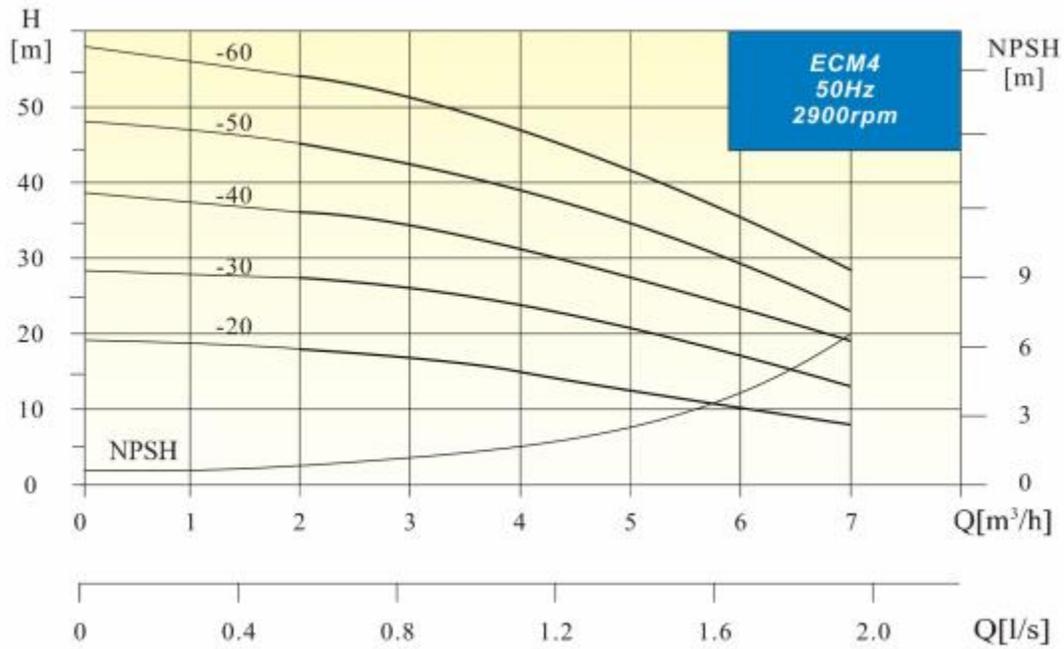


Figura 9. Ficha técnica de la bomba de la propuesta 2 (Finca Rancho El Tecal).

(Fuente: Evergush, 2018)

Anexo 10. Ficha técnica de la bomba Finca El Coyolito.



*Figura 10. Ficha técnica de la bomba Finca El Coyolito.
(Fuente: Evergush, 2018)*

Anexo 11. Costos totales anuales a partir del año 1, propuesta 1 Finca El Tecal.

Cuadro 1. Costos anuales de la propuesta 1.

| Factor de costo | Costo |
|---------------------------|--------------------|
| Mano de obra | €150.000,00 |
| Insumos | €225.000,00 |
| Mantenimiento del sistema | €50.000,00 |
| Costo total | €425.000,00 |

Anexo 12. Ganancias anuales de la propuesta 1, Finca El Tecal.

Cuadro 2. Ganancias anuales de la propuesta 1.

| | |
|-----------------------|--------------------|
| Chile dulce (unidad) | 250 |
| At (m2) | 240 |
| Cantidad producida | 500 |
| Otros | €125.000,00 |
| Ganancia anual | €625.000,00 |

Anexo 13. Desglose de costos de la propuesta 1 (Finca Rancho El Tecal).

Cuadro 3. Costos del sistema de riego propuesta 1.

| Materiales | Cantidad | Costo unitario | Precio total |
|---------------------------------|-----------------|-----------------------|---------------------|
| Peón (días laborados) | 5 | ¢10.620,62 | ¢53.103,10 |
| Cinta Regaber (Minitody, rollo) | 1 | ¢75.652,00 | ¢75.652,00 |
| Tubería PE 16 mm (rollo) | 1 | ¢45.343,41 | ¢45.343,41 |
| Tubería PE 20 mm (rollo) | 1 | ¢40.987,24 | ¢40.987,24 |
| Válvulas PE 20 mm | 4 | ¢597,77 | ¢2.391,08 |
| Conectores | 30 | ¢629,00 | ¢18.870,00 |
| Teflón | 2 | ¢1.450,00 | ¢2.900,00 |
| Unión | 10 | ¢92,66 | ¢926,60 |
| Manómetro | 1 | ¢3.200,00 | ¢3.200,00 |
| Tapones | 4 | ¢2.500,00 | ¢10.000,00 |
| Codos de 90 grados | 4 | ¢783,09 | ¢3.132,36 |
| Te 20 mm | 5 | ¢101,70 | ¢508,50 |
| Filtro malla | 1 | ¢14.084,00 | ¢14.084,00 |
| Bomba Foras PE/BR | 1 | ¢47.135,69 | ¢47.135,69 |
| Levantamiento topográfico | 1 | ¢74.000,00 | ¢74.000,00 |
| Servicios profesionales | 1 | ¢400.000,00 | ¢400.000,00 |
| Costo total | | | ¢792.233,98 |

Anexo 14. Costos totales anuales a partir del año 1, propuesta 2 Finca El Tecal.

Cuadro 4. Costos anuales de la propuesta 2.

| Factor de costo | Costo |
|---------------------------|----------------------|
| Mano de obra | ¢750.000,00 |
| Insumos | ¢850.000,00 |
| Mantenimiento del sistema | ¢250.000,00 |
| Costo total | ¢1.850.000,00 |

Anexo 15. Ganancias anuales de la propuesta 2, Finca El Tecal.

Cuadro 5. Ganancias anuales de la propuesta 2.

| | |
|-----------------------|----------------------|
| Chile dulce (unidad) | 250 |
| At (m2) | 1255 |
| Cantidad producida | 2615 |
| Ganancia anual | ¢2.614.583,33 |

Anexo 16. Desglose de costos de la propuesta 2 (Finca Rancho El Tecal).

Cuadro 6. Costos del sistema de riego propuesta 2.

| Materiales | Cantidad | Costo unitario | Precio total |
|----------------------------------|-----------------|-----------------------|----------------------|
| Peón (días laborados) | 8 | €10.620,62 | €84.964,96 |
| Cinta Regaber (Minitody, rollo) | 2 | €75.652,00 | €151.304,00 |
| Tubería PE 16 mm (Rollo) | 1 | €45.343,41 | €45.343,41 |
| Tubería PVC 1 1/4" | 23 | €4.157,50 | €95.622,50 |
| Válvulas de bola 1 1/4" (lavado) | 4 | €1.000,00 | €4.000,00 |
| Conectores | 100 | €629,00 | €62.900,00 |
| Teflón | 2 | €1.450,00 | €2.900,00 |
| Pegamento | 2 | €8.800,00 | €17.600,00 |
| Manómetro | 2 | €3.200,00 | €6.400,00 |
| Tapones | 4 | €2.500,00 | €10.000,00 |
| Codos de 45 grados 1 1/4" | 4 | €765,00 | €3.060,00 |
| Te 1 1/4" | 5 | €1.200,00 | €6.000,00 |
| Filtro malla | 1 | €14.084,00 | €14.084,00 |
| Bomba EVERGUSH ECM2-30 (T) | 1 | €157.251,93 | €157.251,93 |
| Levantamiento topográfico | 1 | €325.000,00 | €325.000,00 |
| Servicios profesionales | 1 | €500.000,00 | €500.000,00 |
| Costo total | | | €1.486.430,80 |

Anexo 17. Costos totales anuales a partir del año 1, propuesta Finca El Coyolito.

Cuadro 7. Costos anuales de Finca El Coyolito.

| Factor de costo | Costo |
|---------------------------|----------------------|
| Mano de obra | €800.000,00 |
| Insumos | €600.000,00 |
| Infraestructura y equipos | €200.000,00 |
| Otros gastos | €500.000,00 |
| Mantenimiento del sistema | €200.000,00 |
| Costo total | €2.300.000,00 |

Anexo 18. Desglose de costos de la propuesta (Finca El Coyolito).

Cuadro 8. Costos del sistema de riego Finca El Coyolito.

| Materiales | Cantidad | Costo unitario | Precio total |
|--------------------------------|-----------------|-----------------------|----------------------|
| Peón (10 días laborados) | 10 | ¢10.620,62 | ¢ 106.206,20 |
| Cinta Regaber Rollo (Minitody) | 7 | ¢75.652,00 | ¢ 529.564,00 |
| Tubería PVC 1 1/4" | 14 | ¢4.157,00 | ¢58.198,00 |
| Tubería PVC 1 1/2" | 31 | ¢4.500,00 | ¢139.500,00 |
| Conectores | 100 | ¢629,00 | ¢62.900,00 |
| Válvulas de bola 1 1/2" | 4 | ¢6.000,00 | ¢24.000,00 |
| Teflón | 2 | ¢1.450,00 | ¢2.900,00 |
| Codo 90 grados | 7 | ¢5.900,00 | ¢41.300,00 |
| Pegamento PVC | 2 | ¢8.800,00 | ¢17.600,00 |
| Manómetro | 2 | ¢3.200,00 | ¢6.400,00 |
| Tapones | 3 | ¢2.500,00 | ¢7.500,00 |
| Codos de 45 grados | 5 | ¢1.600,00 | ¢8.000,00 |
| Te 1 1/2" | 5 | ¢3.500,00 | ¢17.500,00 |
| Filtro malla | 1 | ¢14.084,00 | ¢14.084,00 |
| Bomba EVERGUSH ECM4-30 (T) | 1 | ¢157.251,93 | ¢157.251,93 |
| Levantamiento topográfico | 1 | ¢285.000,00 | ¢285.000,00 |
| Servicios profesionales | 1 | ¢500.000,00 | ¢500.000,00 |
| Costo total | | | ¢1.977.904,13 |

Anexo 19. Descripción que se produce con el impacto para las propuestas de Finca El Tecal y Coyolito según el D2 de SETENA.

| Aspectos ambientales relevantes | | | | | | |
|---|-------------------|--|--|----|----|---|
| Aspecto | Componentes | Efectos | Si | No | NA | |
| Consumo | Fuente de agua | ¿Su proyecto se abastecerá de un acueducto? | | X | | |
| | | ¿Su proyecto se abastecerá de un pozo? | | X | | |
| | | ¿Su proyecto se abastecerá de un río, lago, manantial o naciente? | X | | | |
| | | ¿El consumo de agua estimado es superior a 50 m ³ /mes (consumo típico de una casa)? | | X | | |
| | Suelo | ¿Su proyecto provocará un cambio en el uso del suelo? | | X | | |
| | Energía | ¿Necesita para el desarrollo de la actividad energía eléctrica? | X | | | |
| | | ¿Utilizará una fuente propia de energía (auto generación)? Especifique: | | X | | |
| | | ¿El consumo estimado de energía es superior a 240 MW h/año (consumo típico de una casa). | | | X | |
| | Cobertura vegetal | ¿Para el desarrollo del proyecto necesita talar (cortar) árboles? Cuántos: | | X | | |
| | Impacto | Aire | ¿Su actividad, obra o proyecto emite al aire: gases, humo, ceniza, hollín por uso de hornos, chimeneas, motores fijos o quema de desechos agrícolas? | | | X |
| ¿Su actividad, obra o proyecto emite gases o partículas, por el uso de vehículos, tractores, montacargas u otra maquinaria? | | | | X | | |
| ¿Su actividad, obra o proyecto producirá inmisiones (olores fuertes) por el uso de solventes, pinturas, basura orgánica y otros como consecuencia de su proceso productivo? | | | | X | | |
| ¿Su actividad, obra o proyecto producirá ruidos molestos a los vecinos inmediatos o colindantes? | | | | X | | |
| Aguas | | ¿Las aguas servidas (que son las provenientes de los baños, lavatorios, fregaderos, pilas, lavadoras, inodoros, orinales) de la actividad, obra o proyecto se tratarán mediante un tanque séptico, según regulación específica? | | | | X |
| | | ¿Las aguas servidas (que son las provenientes de los baños, lavatorios, fregaderos, pilas, lavadoras, inodoros, orinales) de la actividad, obra o proyecto se tratarán en una planta de tratamiento propia, según regulación específica? | | | | X |
| | | ¿Las aguas servidas (que son las provenientes de los baños, lavatorios, fregaderos, pilas, lavadoras, inodoros, orinales) de la actividad, obra o proyecto se dispondrán en un sistema de alcantarillado sanitario autorizado? | | | | X |
| | | ¿Las aguas residuales de la actividad, obra o proyecto (no incluye aguas negras) se tratarán en una planta de tratamiento propia, según regulación específica? | | | | X |
| | | ¿Las aguas pluviales de la actividad, obra o proyecto serán encauzadas al alcantarillado pluvial público? | | X | | |
| | | ¿Las aguas pluviales de la actividad, obra o proyecto serán encauzadas a un cauce de dominio público colindante? | | X | | |
| | | ¿Las aguas pluviales de la actividad, obra o proyecto serán encauzadas a una servidumbre de descarga existente? | X | | | |

| Aspecto | Componentes | Efectos | Si | No | NA |
|---------------|---|--|----|----|----|
| Impacto | Suelo | ¿La basura ordinaria producida durante la construcción y operación de la actividad, obra o proyecto se dispondrán en un relleno sanitario autorizado? | X | | |
| | | ¿Durante la construcción y operación de la actividad, obra o proyecto se producen desechos especiales (tales como: formaletas, varillas, bolsas de cemento, cables, latas de pintura, solventes y otros similares) y se cumplirá con la regulación específica? | X | | |
| | | En caso que el proyecto implique demolición de edificación se debe dar acarreo, transporte y disposición final de escombros hasta una cantidad de 100 m ³ . | | | X |
| | | El proyecto contempla movimientos de tierra de hasta 200 m ³ y relleno con acarreo fuera del área del proyecto. | | X | |
| | | El proyecto contempla movimientos de tierra de hasta 200 m ³ y relleno sin movilización fuera del área del proyecto. | | X | |
| | En el caso de que el proyecto implique el desarrollo de cortes del terreno, en las cercanías de la colindancia (hasta 5 metros), el mismo contemplará el desarrollo de obras de estabilización de ingeniería, bajo la responsabilidad de un profesional. | | | | X |
| Cultural | La actividad, obra o proyecto afectará el patrimonio científico o el cultural o el arquitectónico o el arqueológico. | | X | | |
| Otros riesgos | Durante la operación de la actividad, obra o proyecto se almacenará y consumirá hidrocarburos como: gasolina, canfín, diesel, gas LPG, gas natural en una cantidad mínima de 1000 litros al mes. | | | X | |
| | Durante la operación de la actividad, obra o proyecto se almacenará y consumirán agroquímicos hasta 1000 litros al mes. ¿Cuánto? Especifique ¿cuáles? (puede utilizar hojas adicionales) | | X | | |
| | Durante la operación de la actividad, obra o proyecto se almacenará y consumirán algún tipo de productos peligrosos, tales como: oxígeno, gases explosivos, hidrógeno, biogás, disolventes o cualquier otro. ¿Cuánto? Especifique ¿cuáles? (puede utilizar hojas adicionales) | | | X | |

Figura 10. Descripción que se produce con el impacto para las propuestas de Finca El Tecal y Coyolito según el D2 de SETENA. (Fuente: SETENA, s. f.)

Anexo 20. Metodología de Bouyoucos utilizada para determinar la textura. (Núñez, 1996)

Se pesaron las muestras de suelos de 40 g, se colocaron al horno por 24 horas a 110 °C, posteriormente se pasaron por un tamiz de 2 mm. En un beaker se colocaron los 40 g de suelo, se agregó 10 ml de hexametáfosfato de sodio y 250 ml de agua destilada, se colocaron las muestras en el agitador mecánico y se agitó por 15 minutos. Luego se transfirieron las mezclas a un cilindro de Bouyoucos, para trasladar los sedimentos que quedan en el fondo del agitador mecánico se vertió agua destilada con una piseta, el cilindro se llenó con agua destilada hasta llegar a los 1130 ml, con el hidrómetro dentro. Seguidamente se retiró el hidrómetro, se tapó el cilindro y se agitó la suspensión. Se colocaron los cilindros en la mesa de trabajo después de unos segundos se insertó el hidrómetro, esperando a que se estabilizará, se tomó la primera lectura a los 40 segundos, se midió la temperatura inmediatamente después de leer el hidrómetro. Después de 2 horas se realizó la segunda lectura del cilindro y de la temperatura. Se corrigieron las lecturas del hidrómetro aplicando las siguientes relaciones:

- a) Por cada grado arriba de 19,40 °C, se agrega 0,30 a la lectura del hidrómetro para la corrección respectiva.
- b) Por cada grado bajo 19,40 °C, se resta 0,30. Se calcula el porcentaje de arena en la muestra.

Con las lecturas del hidrómetro corregidas se obtuvo los valores para la cantidad de partículas utilizando las ecuaciones 1, 2, 3 y 4.

Porcentaje de sólidos en suspensión

$$\%MS = LH \ 40seg * \left(\frac{100}{PM}\right) \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde

LH: Lectura corregida a los 40 segundos

PM: Peso de la muestra de suelo

Porcentaje de arena

$$\%Arena = 100 - \%MS \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde

MS: Masa de sólidos en suspensión

Porcentaje de arcilla

$$\%Arcilla = LH \ 2hr * \left(\frac{100}{PM}\right)$$

Ecuación 3

Donde

LH: Lectura corregida a las 2 horas

PM: Peso de la muestra de suelo

Porcentaje de limo

$$\%Limo = 100 - [\% Arena + \% Arcilla]$$

Ecuación 4