

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



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

DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO Y FERTIRRIEGO POR GOTEO PARA CHILE
DULCE (*Capsicum annuum*) Y PARA UN ÁREA EXPERIMENTAL DE CHAYOTE (*Sechium
edule*) EN SANTIAGO, PARAISO, CARTAGO.

ANA MELISSA VÁSQUEZ VARGAS

CARTAGO, 2020

DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO Y FERTIRRIEGO POR GOTEO PARA CHILE
DULCE (*Capsicum annuum*) Y PARA UN ÁREA EXPERIMENTAL DE CHAYOTE (*Sechium
edule*) EN SANTIAGO, PARAISO, CARTAGO.

Ana Melissa Vásquez Vargas

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

Ing. Milton Solórzano Quintana. MBA

Asesor

Ing. Isabel Guzmán Arias. Dra.

Directora Escuela
Ingeniería Agrícola

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

CARTAGO, COSTA RICA

2020

DEDICATORIA

A mis padres Blanca Flor Vargas Vargas y Juan Eduardo Vásquez Barrantes por todo el apoyo incondicional y motivación constante, para alcanzar mis anhelos, gracias por acompañarme en todas las etapas académicas e impulsarme a ser mejor.

A mi novio José Alberto Madrigal Chávez quien me aconsejo y alentó de manera emocional y profesional cuando lo necesité.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por el conocimiento, paciencia y la fuerza para salir adelante en todos mis proyectos académicos a lo largo de mi vida. A toda mi familia que de una u otra manera me brindaron su apoyo.

A Katherine Palma del Departamento de Psicología quien me apoyo emocional y académicamente en mi vida universitaria. Me demostró que las cosas salen bien, actuando con confianza y fe en uno mismo.

A amigos Jhoksan Vargas, Ania Villalobos y Eliana Chavarría quienes fueron un gran apoyo emocional y me acompañaron en momentos buenos y no tan buenos.

A Tatica, Andrea, Gustavo, Christian y Dessire, por los momentos agradables y de crecimiento.

A mis compañeros de carrera por su afecto y paciencia ofrecida.

Al Movimiento Estudiantil, quien fue una de mis mayores pasiones y motivaciones para ayudar a los demás.

Al profesor Miltón Solorzano por sus consejos, asesoramiento y quien me guio con paciencia, y profesionalismo.

Al personal administrativo y docente de la Escuela de Ingeniería Agrícola que me brindó su apoyo y motivación durante mi tiempo universitario.

A Don Ronal Ríos por darme la oportunidad y proporcionar lo necesario para el desarrollo de este proyecto.

Índice de contenidos

RESUMEN	ix
ABSTRACT.....	x
1 INTRODUCCIÓN.....	1
2 OBJETIVOS	3
2.1 Objetivo General	4
2.2 Objetivos Específicos	4
3 REVISIÓN DE LITERATURA	5
3.1 Chile dulce.....	6
3.1.1 Historia.....	6
3.1.2 Taxonomía del chile dulce	6
3.1.3 Morfología	7
3.1.4 Requerimientos edafo-climáticos del chile dulce	7
3.1.5 Siembra	8
3.1.6 Riego.....	8
3.2 El Chayote	9
3.2.1 Historia.....	9
3.2.2 Regionalización del cultivo del chayote en Costa Rica	9
3.2.3 Propiedades de la zona productora del chayote de exportación	10
3.2.4 Taxonomía del chayote	10
3.2.5 Descripción botánica, Morfología	11
3.2.6 Requerimientos edafo-climáticos de chayote	12
3.2.7 Sistema de siembra	13
3.3 Riego	13
3.3.1 Riego localizado.....	13
3.3.2 Riego por goteo.....	13
3.3.3 Ventajas que ofrece el riego por goteo	13
3.3.4 Desventajas del riego por goteo	14
3.3.5 Bulbo de humedecimiento	14
3.4 Diseño agronómico	15
3.4.1 Textura	15
3.4.2 Peso específico aparente	16

3.4.3	Almacenamiento de agua en el suelo.....	16
3.4.3.1	Capacidad de campo	16
3.4.3.2	Punto de marchitez permanente	17
3.4.3.3	Agua útil para la planta	17
3.4.4	Necesidades hídricas del cultivo.....	17
3.4.4.1	Transpiración.....	17
3.4.4.2	Evaporación.....	17
3.4.4.3	Evapotranspiración (ET)	18
3.4.4.4	Coefficiente del cultivo (Kc)	18
3.5	Diseño hidráulico	18
3.5.1	Equipo de bombeo	19
3.5.2	Pérdida de carga.....	20
3.5.3	Cabezal.....	20
3.5.4	Prefiltro	20
3.5.5	Filtros	21
3.5.6	Equipo de fertirrigación	22
3.5.7	Elementos de seguridad	24
3.5.8	Red	26
3.5.9	Emisores.....	27
3.6	Análisis Ambiental.....	28
3.7	Análisis Económico.....	30
3.8	Análisis Social.....	31
4	METODOLOGÍA.....	34
4.1	Recursos utilizados.....	35
4.2	Estudio topográfico	35
4.3	Estudio Suelos	35
4.3.1	Textura del suelo.....	35
4.3.2	Capacidad y punto de marchitez permanente	36
4.3.3	Peso específico.....	38
4.4	Necesidades hídricas	38
4.4.1	Evapotranspiración real (ETR).....	38
4.5	Diseño del sistema de riego por goteo	39

4.5.1	Diseño agronómico	39
4.5.2	Diseño Hidráulico	43
4.6	Análisis Económico.....	48
4.7	Análisis Ambiental.....	50
4.8	Análisis social	51
5	RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADO	53
5.1	Ubicación del lugar	54
5.2	Estudio topográfico	55
5.3	Estudio Suelos	60
5.3.1	Evapotranspiración real (ETR).....	61
5.4	Diseño del sistema de riego por goteo para el área cultivada con chile dulce	62
5.4.1	Cálculo del PAR	62
5.4.2	Diseño del sistema de riego por goteo para chile dulce área 1 A1	63
5.4.2.1	Diseño agronómico.....	63
5.4.2.2	Diseño Hidráulico.....	66
5.5	Diseño del sistema de riego por goteo para chile dulce área 2 (A2).....	70
5.5.1	Diseño agronómico para el área A2, integrada por (A2a, A2b y A2c)	70
5.5.2	Diseño del sistema de riego por goteo para chile dulce área 2 (A2a)	72
5.5.2.1	Diseño Hidráulico.....	72
5.5.3	Diseño del sistema de riego por goteo para chile dulce área 2 (A2b).	74
5.5.3.1	Diseño Hidráulico.....	74
5.5.4	Diseño del sistema de riego por goteo para chile dulce área 2 A2c	76
5.5.4.1	Diseño Hidráulico.....	76
5.6	Diseño del sistema de riego por goteo para chile dulce área 3 (A3).....	78
5.6.1.1	Diseño Agronómico.....	78
5.6.2	Diseño Hidráulico.....	79
5.7	Diseño del sistema de riego por goteo para el área de Chayote.....	83
5.7.1	Cálculo del PAR	83
5.7.2	Diseño agronómico.....	84
5.7.3	Diseño Hidráulico.....	87
5.8	Selección de la bomba.....	93
5.9	Análisis Económico.....	94

5.9.1	Análisis económico para el cultivo de chile dulce	94
5.9.2	Análisis económico para el cultivo de Chayote.....	99
5.10	Análisis Ambiental.....	103
5.11	Análisis Social.....	103
6	CONCLUSIONES.....	105
7	RECOMENDACIONES	107
8	BIBLIOGRAFÍA.....	109
9	ANEXOS.....	116

Índice de Cuadros

Cuadro 1.	Clasificación taxonómica del chile dulce.....	6
Cuadro 2.	Clasificación taxonómica del chayote.....	11
Cuadro 3.	Clasificación del proyecto en función de los criterios de ponderación establecido por SETENA para el D1.....	51
Cuadro 4.	Datos encontrados del análisis físico del suelo.	61
Cuadro 5.	Datos del coeficiente del cultivo (Kc) y evapotranspiración real (ETR) para el diseño agronómico de los diferentes cultivos.....	62
Cuadro 6.	Características de la manguera con goteos autocompensados integrados	62
Cuadro 7.	Características físicas del suelo y distintos parámetros.	63
Cuadro 8.	Resumen de resultados del diseño agronómico del área 1 (A1) cultivada de chile dulce	66
Cuadro 9.	Diseño de la tubería múltiple, área 1 (A1)	67
Cuadro 10.	Diseño de la tubería principal, área 1 (A1).	68
Cuadro 11.	Cálculo de la potencia requerida del sistema de riego por goteo para el área 1 (A1).	69
Cuadro 12.	Características físicas del suelo y distintos parámetros, área 2 (A2).	70
Cuadro 13.	Resumen de resultados del diseño agronómico del área 2 (A2) cultivada de chile dulce.....	71
Cuadro 14.	Diseño de la tubería múltiple área 2 (A2a).	72
Cuadro 15.	Diseño de la tubería principal de polietileno blando para el área 2 (A2a).	73
Cuadro 16.	Cálculo de la potencia requerida del sistema de riego por goteo para el área 2 (A2a).	74
Cuadro 17.	Diseño de la tubería múltiple, área 2 (A2b)	74
Cuadro 18.	Diseño de la tubería principal.	75
Cuadro 19.	Cálculo de la potencia requerida del sistema de riego por goteo para el área 2 (A2b)	76
Cuadro 20.	Diseño de la tubería múltiple, área 2 (A2c).	76
Cuadro 21.	Diseño de la tubería principal.	77

Cuadro 22. Cálculo de la potencia requerida del sistema de riego por goteo para el área 2 (A2c).	78
.....	78
Cuadro 23. Características físicas del suelo y distintos parámetros	78
Cuadro 24. Resumen de resultados del diseño agronómico del área 3 (A3) cultivada de chile dulce	79
.....	79
Cuadro 25. Diseño de la tubería múltiple, área 3 (A3).	80
Cuadro 26. Diseño de la tubería principal, área 3 (A3)	80
Cuadro 27. Cálculo de la potencia requerida del sistema de riego por goteo para el área 3 (A3)	81
Cuadro 28. Porcentaje de área bajo riego, PAR.	83
Cuadro 29. Especificaciones de goteo	84
Cuadro 30. Características físicas del suelo y distintos parámetros.	85
Cuadro 31. Resumen de resultados del diseño agronómico para el área cultivada de chayote	86
Cuadro 32. Diseño de la tubería lateral	88
Cuadro 33. Diseño de la tubería múltiple	89
Cuadro 34. Diseño de la tubería principal.	90
Cuadro 35. Cálculo de la potencia requerida del sistema de riego por goteo para el cultivo de chayote	91
.....	91
Cuadro 36. Características técnicas de la bomba.	93
Cuadro 37. Desglose de presupuesto para el diseño por goteo en Chile dulce	94
Cuadro 38. Depreciación del equipo de conducción.	95
Cuadro 39. Ingreso ventas por año.	96
Cuadro 40. Costos por siembra.	96
Cuadro 41. Costo por mano de obra.	96
Cuadro 42. Costos indirectos de fabricación.	96
Cuadro 43. Costos indirectos de fabricación, Fertilizante e Insecticida.	96
Cuadro 44. Gastos por de transporte.	97
Cuadro 45. Gastos administrativos.	97
Cuadro 46. Concesión del agua.	97
Cuadro 47. Indicadores en el análisis de inversiones para el cultivo de Chile dulce.	98
Cuadro 48. Desglose de presupuesto para el diseño por goteo en Chayote.	99
Cuadro 49. Depreciación del equipo de conducción	100
Cuadro 50. Ingreso ventas por año.	100
Cuadro 51. Costos por siembra.	101
Cuadro 52. Costo por mano de obra.	101
Cuadro 53. Costos indirectos de fabricación.	101
Cuadro 54. Costos indirectos de fabricación, Fertilizante e Insecticida.	101
Cuadro 55. Gastos por de transporte.	101
Cuadro 56. Gastos administrativos.	101
Cuadro 57. Concesión del agua.	102
Cuadro 58. Indicadores en el análisis de inversiones para el cultivo de chayote.	102
Cuadro 59. Matriz para la identificación y evaluación de impactos sociales	104
Cuadro 60. Kc por duración etapa, profundidad radicular máxima y agotamiento permisible para diferentes cultivos. Fuente: (Cevallos, 2008)	118

Cuadro 61. Porcentaje del área humedecido en el riego por goteo. Fuente: (Villalobos, 2018)	118
Cuadro 62. Relación de transpiración con base a la profundidad radicular y textura del suelo. Fuente: (Villalobos, 2018)	120
Cuadro 63. Flujo neto para el análisis económico del cultivo de chile dulce.	121
Cuadro 64. Flujo neto para el análisis económico del cultivo de chayote.	121
Cuadro 65. Criterios de ponderación establecido en la plantilla técnica de SETENA.	122

Índice de Figuras

Figura 1. Comportamiento del bulbo de humedecimiento en función de la textura.	15
Figura 2. Funcionamiento de un Hidrociclón. Fuente: (Liotta, 2015)	21
Figura 3. Filtros de grava. Fuente: (Liotta, 2015)	21
Figura 4. Filtros de malla. Fuente: (Liotta, 2015)	22
Figura 5. Filtros de anillos. Fuente: (Liotta, 2015)	22
Figura 6. Tanque fertilizante en paralelo. Fuente: (Liotta, 2015)	23
Figura 7. Fertilizador tipo Venturi. Fuente: (Liotta, 2015)	24
Figura 8. Filtrado según las partículas presentes en el agua de riego. Fuente: (Liotta, 2015)	24
Figura 9. Ubicación del proyecto destinado a chile dulce. Fuente: Propia.	54
Figura 10. Ubicación del proyecto de chayote. Fuente: Propia.	55
Figura 11. Plano de curvas de nivel del área del cultivo de chile dulce. Fuente: Propia.	56
Figura 12. Plano de pendiente del área del cultivo de chile dulce. Fuente: Propia.	57
Figura 13. Plano de curvas de nivel del área del cultivo de chayote. Fuente: Propia.	58
Figura 14. Plano de pendiente del área del cultivo de chayote. Fuente: Propia.	59
Figura 15. Distribución del sistema de riego por goteo para chile dulce (<i>Capsicum annuum</i>).	82
Figura 16. Riego por goteo sectorizado por planta con gotero autocompensante. Fuente: (Jahnke, s.f.).	91
Figura 17. Distribución del sistema de riego por goteo para chayote.	92
Figura 18. Curva característica de la bomba y punto de operación del sistema. (Fuente: BO MAX, 2018).	93
Figura 19. Triángulo de textura.	117
Figura 20. Cálculo de Eto anual. Elaborado con: Cropwat.	117
Figura 21. Información técnica de la manguera con goteros autocompensados incorporados netafim Uniram CNL 16010. Fuente: (Netafim, s.f)	119
Figura 22. Hoja técnica del Gotero botón ClickTif antidrenante (CNL). Fuente: (NaaDanJain, 2010)	120

RESUMEN

Se llevó a cabo el diseño de un sistema de riego y fertirriego por goteo para chile dulce (*Capsicum annuum*) y para un área experimental de chayote (*Sechium edule*), ubicado en Santiago, en el cantón de Paraíso de la provincia de Cartago. El terreno presenta condiciones de alta pendiente y pedregosidad, originando la necesidad de un asesoramiento técnico con el fin de optimizar la aplicación del recurso hídrico y de fertilizantes de forma localizada en el sistema radicular de la planta. Se planteó una propuesta que satisfizo las necesidades. Se realizó un análisis agronómico a partir de muestras de suelo, las cuales fueron examinadas en el laboratorio de suelo de la Escuela de Ingeniería Agrícola del Instituto Tecnológico de Costa Rica, y conjuntamente a través de herramientas computacionales tales como Civil 3D y Qgis que, facilitaron el desarrollo del análisis hidráulico, asegurando la demanda hídrica.

Por otra parte, se examinó los aspectos social, económica y ambiental. Se concluye que la propuesta de diseño satisface las demandas técnicas y en cuanto al aspecto social, ambiental y económico es viable.

Palabras claves: Chayote, chile dulce, riego por goteo, pedregosidad.

ABSTRACT

The design of a drip irrigation and fertigation system for pepper (*Capsicum annuum*) and for an experimental area of chayote (*Sechium edule*), located in Santiago, in the canton of Paraíso in the province of Cartago, was carried out. The land presents conditions of high slope and stoniness, causing the need for technical advice in order to optimize the application of water and fertilizers locally in the plant's root system. A proposal was raised that meets the needs. An agronomic analysis was carried out from soil samples, which were examined in the soil laboratory of the Agricultural Engineering School of the Technological Institute of Costa Rica, through computational tools, stories such as Civil 3D and Qgis facilitated the scope of the analysis. hydraulic, ensuring water demand, on the other hand, social, economic, and environmental aspects were examined. It is concluded that the design proposal satisfies the technical demands and in terms of a social, environmental, and economic aspect is viable.

Keywords: Chayote, pepper, drip irrigation, stoniness.

1 INTRODUCCIÓN

La empresa Hermanos Ríos, posee una finca que se localiza en Santiago, Paraíso, Cartago, la cual se caracteriza por sembrar y exportar el cultivo de chayote y además sembrar pequeñas zonas con chile dulce, esta cuenta con un área total de 27,96 hectáreas. Dicha empresa adquirió un contrato para producir chile dulce, por lo que destinó cierta área del cultivo de chayote para chile dulce, e implementar un sistema de riego por goteo y fertirriego para ambos cultivos, por otra parte pretenden llevar a cabo un área experimental de chayote que presenta una condición de terreno de gran pedregosidad y altas pendientes, la cual es regada con una manguera no auto compensada, además realizan aplicaciones de fertilizantes a través de un sistema manual en el tallo y hojas, una razón más para implementar un sistema de riego por goteo y fertirriego, ya que el agente del Servicio Fitosanitario del Estado y la Agencia de Extensión del MAG a través de tecnología como drones ha encontrado que los nutrientes no son distribuidos de forma uniforme, presentando concentración o pérdida de las sustancias, evidenciado que las enmiendas realizadas de forma manual no son uniformes en la plantación, generando poco provecho de los insumos. De esta forma el presente proyecto nace debido a la necesidad de brindar asesoramiento técnico que permita obtener un mejor aprovechamiento de los recursos y crear un impacto positivo socioeconómico que favorezca el progreso de la comunidad, incluyendo aspectos ambientales que se relacionen directamente con el desarrollo del proyecto.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

Satisfacer las demandas hídricas y de fertilizantes mediante el desarrollo de un sistema de riego por goteo y fertirriego dirigido al cultivo de chile dulce (*Capsicum annuum*) y para un área experimental de chayote (*Sechium edule*) en condiciones de pedregosidad y alta pendiente.

2.2 Objetivos Específicos

1. Diseñar un sistema de riego por goteo y fertirriego destinado al cultivo de chile (*Capsicum annuum*), para asegurar una aplicación uniforme del fertilizante y así minimizar la alta concentración, en algunas partes, o la pérdida de las sustancias a aplicar.
2. Diseñar un sistema de riego por goteo destinado al cultivo de chayote (*Sechium edule*) para asegurar una aplicación uniforme del fertilizante y así minimizar la concentración no adecuada o la pérdida de las sustancias a aplicar.
3. Analizar la viabilidad del proyecto mediante una evaluación ambiental, social y económica para conocer cómo puede influir la implementación del proyecto.

3 REVISIÓN DE LITERATURA

3.1 Chile dulce

3.1.1 Historia

El chile dulce es procedente de las zonas tropicales y subtropicales del continente americano; durante la época de los colonizadores españoles y portugueses fue llevado a Europa, África y Asia (Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal, s.f.).

El Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria (INTA) (2018), señala que este cultivo es originario de México, Centroamérica, y que, en Costa Rica, las principales zonas de producción se localizan en el Valle Central Occidental y el Valle Central Oriental, específicamente en Alajuela, Heredia, San José, y Cartago.

3.1.2 Taxonomía del chile dulce

De acuerdo con el Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal (s.f.) el chile dulce pertenece a la Especie *annuum*, cuyo nombre científico es *Capsicum annuum* L, dicho cultivo se destaca por ser una planta herbácea y de ciclo anual. En el Cuadro 1 se detalla la clasificación taxonómica del chile dulce.

Cuadro 1. Clasificación taxonómica del chile dulce

Reino	Plantae
Subclase	Angiospermas
División	Asiphonograma
Clase	Dicotiledóneas
Orden	Polemoniales
Familia	Solanaceae
Género	Capsicum

Fuente: (Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal, s.f.).

Dentro de las particularidades del chile dulce se encuentra que, su ciclo de vida es anual, su tamaño varía de 0,6 m a 1,50 m, tiene un periodo vegetativo de 100 a 180 días, asimismo la cosecha presenta una duración de 75 a 120 días (Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal, s.f.).

3.1.3 Morfología

El Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal (2018) menciona los aspectos botánicos que forman el chile dulce, a continuación, se especifican:

- a. **Semilla:** Se encuentra adherida al centro del fruto, de color blanco, con forma aplanada, lisa y el número de semillas depende de la polinización y del tamaño del fruto.
- b. **Raíz:** Es pivotante, delgada con exuberantes raicillas y rodeada de raíces secundarias y adventicias. La raíz adulta mide aproximadamente más de un metro de profundidad, según sea la textura del suelo. En suelos arenosos y con riego localizado, la profundidad de las raíces es menor, puede alcanzar 50-60 cm, aunque el 75% o más del volumen de raíces se localizan a menor profundidad, entre los 25-30 cm.
- c. **Tallo:** Soporta los órganos del vegetal, como las hojas, flores y frutos, además transporta la savia de la raíz a las hojas. En este se localizan los nudos en donde se insertan las hojas, los frutos y las ramificaciones.
- d. **Flores:** Poseen pedúnculo, pétalos, sépalos, estambres y pistilo; pendulares al curvarse hacia abajo durante la antesis o apertura de la flor, dependiendo de su situación en la planta, a menudo el pedúnculo se sustenta sobre un pecíolo o se sujeta entre dos brotes y permanece vertical o inclinada.
- e. **Fruto:** Es una baya hueca en forma de cápsula, en posición abatida, péndula o caída al estar el pedúnculo curvado, lo cual es una ventaja al protegerlos del sol, de piel lisa, normalmente asurcada y de coloración verde al principio y amarillos o rojos al madurar. El pedúnculo del fruto mide entre 4-5 cm de largo y cerca de 1-1,5 cm. de grosor.

3.1.4 Requerimientos edafo-climáticos del chile dulce

- a. **Temperatura:** De acuerdo con el Ministerio de Agricultura y Ganadería de Costa Rica (2007), el chile dulce se cultiva en zonas donde la temperatura media anual se halla en un rango de 13 a 24 °C, en donde las temperaturas mayores al rango indicado agrandan la tasa de crecimiento, mientras que temperaturas bajas la reducen.
- b. **Humedad relativa:** En condiciones normales de temperatura la planta se desarrolla con una humedad relativa del aire entre el 50% y 70%, una humedad superior favorece el desarrollo del cultivo, sin embargo, tiende al desarrollo de enfermedades fungosas.

- c. **Precipitación:** El chile dulce solicita precipitaciones en un rango de 600 a 1200 mm, distribuidas durante el ciclo del cultivo. Las precipitaciones fuertes producen caídas de flores e inclusive malformación y pudrición de frutos (Barrantes, 2010).
- d. **Altitud:** De acuerdo con el Ministerio de agricultura y ganadería (2007), este cultivo se adapta a altitudes de 0 a 3000 msnm.
- e. **Luz:** Según Barrantes (2010) afirma que, el chile requiere de una buena iluminación durante el ciclo del cultivo, el Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal (s.f.) agrega que, en caso de baja luminosidad, el ciclo vegetativo tiende a alargarse, mientras que a alta luminosidad se acorta.
- f. **Suelo:** Bolaños (1998) manifiesta que este cultivo requiere de suelos profundos y livianos, con buen drenaje y de fertilidad media. Además, agrega que las plantas manifiestan un crecimiento normal cuando el pH del suelo se halla entre 5,5 a 6,8. Mientras que el Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal (2018) amplía que los suelos ideales son los de textura ligera a intermedia, es decir, que sean francos arenosos, francos profundos y fértiles con adecuada capacidad de retención de agua y buen drenaje; deben evitarse los suelos demasiados arcillosos.

3.1.5 Siembra

El chile se puede sembrar durante todo el año, si cuenta con riego para suplir el agua requerida por las plantas durante la estación seca. (Bolaños, 1998).

Igualmente, Bolaños (1998) aclara que la distancia de siembra del chile varía en función del tamaño o del género. En Costa Rica el Ministerio de Agricultura y Ganadería (2007) indica que, la distancia de siembra oscila entre 70 a 120 cm entre hileras y entre plantas de 40 a 60 cm, y para ambientes protegidos la distancia entre plantas es de 25 cm y entre hileras de 1,20 m.

El Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal (s.f.) destaca que el chile dulce posee una raíz pivotante, que desarrolla un sistema radicular lateral muy ramificado que puede llegar a cubrir un diámetro de 0,90 a 1,20 m en los primeros 0,60 m de profundidad del suelo.

3.1.6 Riego

Bolaños (1998), menciona que la planta de chile no necesita agua en exceso, pero se debe impedir que suceda un déficit de humedad durante el período de crecimiento, ya que aumenta

riesgos al inicio de la floración, además las raíces de chile logran gran volumen, por lo que se debe procurar que el riego se infiltre hasta las capas inferiores del perfil del suelo.

3.2 El Chayote

3.2.1 Historia

De acuerdo con Newstrom (1990), citado por Brenes, Alvarenga, & Abdelnour (2018), señala que el chayote (*Sechium edule*) es una cucurbitácea originaria de Mesoamérica, que se cultiva en zonas tropicales y subtropicales. Además, manifiesta que antiguos documentos afirman el uso del chayote por grupos de aborígenes aztecas en el periodo precolombino.

Mientras que Abdelnour, Ramírez y Engelmann (2002) identificaron características que permiten distinguir el chayote como una planta herbácea, monoica y trepadora que compone uno de los principales alimentos en México, América Central y Sur América Tropical. Los frutos, hojas tiernas y raíces tuberosas se consumen como verdura, aunque el consumo del fruto es el más difundido.

Según Monge (1996) citado por Ministerio de Agricultura y Ganadería (S.F), afirma que Costa Rica fue el primer exportador de chayote, satisfaciendo una demanda que no estaba cubierta por ningún proveedor, aunque se producía este fruto de exportación desde 1969, fue hasta 1972 que se obtuvo la primera exportación.

3.2.2 Regionalización del cultivo del chayote en Costa Rica

Brenes et al. (2018) expresan que, al llevarse a cabo la primera exportación, se incentivó la producción de chayote originando un incrementando del área sembrada; a manera de consecuencia Costa Rica se consolidó como el principal exportador de chayote del mundo.

Referente al cultivo de chayote propiamente en Costa Rica según León (2018) señala que “En la provincia de Cartago se produce el cultivo de chayote de la variedad Quelite y el 92% de las plantaciones comerciales se localizan al este del cantón de Paraíso, principalmente en Ujarrás, Ajenjal, Santiago, El Yas, Río Regado, Piedra Azul y La Flor, (Jiménez 1991)”. Además, aclara que desde 1998 se introdujo en pequeñas áreas en Cervantes, particularmente en El Bajo de Cervantes.

3.2.3 Propiedades de la zona productora del chayote de exportación

Según Gamboa (2005) las condiciones ecológicas donde se produce el chayote de exportación muestran algunas variaciones que permiten estratificar en tres zonas: alta, media y baja, de acuerdo con la altitud, topografía, infraestructura y los aspectos socioeconómicos. Sin embargo, en el presente documento se puntualizó exclusivamente la zona intermedia, pues en esta se encuentra ubicado el sitio de interés de estudio del presente documento.

Gamboa (2005), describe que la zona intermedia se localiza en Piedra Azul, Santiago, y áreas colindantes. Los sitios citados mencionados poseen una altitud cercana a los 1100 msnm, cuyas temperaturas se identifican por ser relativamente frescas. La asignación geomorfológica de la zona procede de las colinas irregulares de la colada de Cervantes. Por otra parte, la topografía se caracteriza por ser muy abrupta con pendientes que van desde un 15 hasta un 45 por ciento. El uso de la tierra se cataloga como clase 4, lo cual significa que es apropiado para todo tipo de usos. Además, por su susceptibilidad a la erosión del suelo, se requiere métodos intensivos de manejo y conservación.

El suelo se clasifica de fuerte a extremadamente pedregoso, lo cual impide la mecanización y dificulta alcanzar poblaciones óptimas de los cultivos, especialmente los que requieren distancias de siembra cortas, cabe señalar que, al ser suelos pedregosos, puede existir suelos con poca profundidad efectiva. Gamboa (2005), expresa que existe falta de agua para riego complementario durante la época seca. Por último, la zona es afectada por limitaciones socioeconómicas de infraestructura, pero cuenta con una mayor actividad comercial del chayote.

3.2.4 Taxonomía del chayote

El chayote pertenece a la Especie edule, cuyo nombre científico actualmente es *Sechium edule* (Jacq.) Swartz, según (Lira, 1990) citada por Gamboa (2005). De acuerdo con Campos y Flores (2012), citado por Encarnación Villanueva (2017) la taxonomía del cultivo, la cual se encuentra clasificada de la siguiente forma, ver Cuadro 2.

Cuadro 2. Clasificación taxonómica del chayote

Reino	Plantae
Subreino	Embryophyta
División	Anthophyta
Clase	Dicotyledoneae
Orden	Cucúrbitales
Familia	Cucurbitáceas
Subfamilia	Sicyoideae
Género	Sechium

Fuente: (Encarnación Villanueva, 2017)

3.2.5 Descripción botánica, Morfología

El chayote es una cucurbitácea, trepadora perenne y monoica, esta planta presenta las siguientes características botánicas (Abdelnour-Esquivel & Rocha, 2008).

- **Tallo:** son herbáceos de color verde durante su desarrollo en la madurez llegan a un tono pardo, además son numerosos, angulosos longitudinalmente surcados y además alcanzan longitudes de hasta 13 m (Gamboa, 2005).
- **Hojas:** son grandes, con bordes aserrados o lisos, alternadas sobre peciolos triangulares simples, poseen distintas intensidades de color, poseen tres lóbulos, el apical es angosto (Gamboa, 2005). De acuerdo con Lira (1996) esta planta, desarrolla zarcillos para sostenerse.
- **Flores:** estas son unisexuales y poseen diez nectarios en forma de poros localizados en la base del cáliz. En cada nudo se encuentra las inflorescencias pistiladas y estaminadas. La flor masculina surge en racimos, el cáliz está formado por cinco sépalos blancuzcos, en cambio, la flor pistilada es solitaria, por último, la flor femenina tiene la cualidad de convertir una parte del estigma en antenas (Gamboa, 2005).
- **Fruto:** es una baya solitaria o en pares, vivípara, carnosa con distintos tamaños, el exocarpo es pubescente, liso o con espinas, con tonalidades verde claro, oscuro y blanco (Gamboa, 2005).

3.2.6 Requerimientos edafo-climáticos de chayote

De acuerdo con Gamboa (2005) esta planta se adecua a climas tropicales y subtropicales, igualmente afirma que Costa Rica obtiene condiciones biofísicas apropiadas para desarrollo del cultivo, por consiguiente, se alcanza altos rendimientos, dentro de las características edafo-climáticas se encuentran:

- a. **Altitud:** según IICA (2016) el chayote crece entre 0 y 2800 msnm, pero aquellas zonas que se encuentran entre 1000 y 1200 msnm muestran gran capacidad para un desarrollo óptimo.
- b. **Luminosidad:** el cultivo se desarrolla a plena exposición de luz. De acuerdo con Gamboa (2005) en la zona productora de chayote exportación dependiendo de la época del año, la duración del día oscila de 11 a 13 horas luz.
- c. **Viento:** La planta de chayote, por su constitución herbácea, se ve afectada por los vientos, que son desfavorables para el desarrollo y ocasionan la pérdida de las flores.
- d. **Suelo:** Gamboa (2005) expresa que este cultivo requiere de suelos ácidos con un pH de 4,5 a 5,5. Sin embargo, el chayote manifiesta un buen crecimiento y desarrollo en suelos profundos, fértiles y ricos en materia orgánica, preferiblemente que el pH que fluctúa entre 5 y 7. En cuanto a condiciones como en los suelos pobres la planta se desarrolla bien, si solo si, se agrega materia orgánica, en suelos de textura franco arenosa próspera mejor, mientras que en suelos arcillosos es esencial efectuar un buen sistema de drenaje. El IICA (2016) expresa que se desarrolla convenientemente en un suelo arcillo-arenoso, con buen drenaje, de media a buena fertilidad y alto contenido de materia orgánica.
- e. **Precipitación:** requiere una precipitación entre 1500 y 2000 mm distribuidos a través del año (IICA,2016).
- f. **Temperatura:** el rango de temperatura para que la planta crezca y fructifique corresponde de 17 °C a 26 °C, sin embargo, Gamboa (2005) indica que el rendimiento se reduce cuando las temperaturas son superiores a los 30 °C e inferiores a los 17 °C. Por otra parte, Cadena (2005) citado por Encarnación Villanueva, (2017) dice que temperaturas inferiores a 13 °C disminuyen la producción, porque perjudica los frutos pequeños, mientras que las temperaturas superiores a 28 °C benefician el crecimiento, pero a su vez la caída de flores y de frutos pequeños generando así una disminución en la producción.

- g. Humedad relativa:** Lira (1996) establece que el chayote requiere de una humedad relativa alta (80-85) %. Gamboa (2005) coincide que el cultivo de chayote demanda una humedad ambiental alta para su buen desarrollo.

3.2.7 Sistema de siembra

La distancia de siembra depende de la fertilidad del suelo, de las características de pendiente y pedregosidad, en campo se encuentra desde 4x4 m hasta 8x8 m en los casos más extremos; la distancia más generalizada es 6x6 m. El chayote exige riegos frecuentes en la época seca, debido a que su transpiración es alta y su sistema radical muy superficial. El chayote requiere suficiente agua, aproximadamente 200 litros por planta cada 48 horas. (MAG, 2007).

3.3 Riego

3.3.1 Riego localizado

Según Pizarro (1990) el riego localizado de alta frecuencia (RLAF) se identifica por la localización y la alta frecuencia. Este radica en humedecer solo una fracción del volumen del suelo, las raíces obtienen dicho volumen y los nutrientes necesarios. Por otra parte, modifica la evaporación, la transpiración, la distribución de las raíces y en un régimen especial de sales.

3.3.2 Riego por goteo

De acuerdo con Liotta (2015) es un sistema presurizado que admite transportar el agua a través de conductos cerrados que requieren presión, es decir, mediante una red de tuberías se aplica agua a los cultivos, utilizando emisores, que facilitan pequeños volúmenes de agua de manera periódica, en forma de gota.

3.3.3 Ventajas que ofrece el riego por goteo

- a.** Son apropiados para sitios donde la topografía o textura del suelo no es uniforme, cuando existe altas tasas de infiltración o exceso de escurrimiento.
- b.** Los nutrientes son aplicados con mayor precisión, pues se reduce la pérdida de fertilizantes, de igual forma accede elegir el momento para fertilizar y satisfacer las necesidades de la planta (Shock & Welch, 2013).
- c.** Fertirriego: aplicar fertilizantes por medio del agua de riego, los cuales son depositados directamente en el área radicular, alcanzando una alta eficiencia (Calvache, 2012).

- d. Menor presencia de maleza debido a que solo se humedece el suelo en forma localizada, a lo largo de la hilera del cultivo, durando seco parte de la superficie entre las líneas.
- e. Elimina las pérdidas por conducción, ya que el agua se transporta por tuberías hasta la planta y se reduce la pérdida por infiltración profunda y de escurrimiento (Liotta, 2015).

3.3.4 Desventajas del riego por goteo

- a. Según Shock & Welch (2013) indican que si no se aplican medidas de mantenimiento en las cintas o mangueras llegan a obstruirse los emisores por partículas finas del suelo e inclusive por algas o depósitos químicos.
- b. Elevado costo de adquisición, por lo que es primordial analizar los costos y los beneficios, sin embargo, los cultivos con alta rentabilidad justifican su empleo (Liotta, 2015).

3.3.5 Bulbo de humedecimiento

Pizarro (1990) indica que “riego localizado expulsan pequeños caudales, cuando el agua empieza a fluir incide sobre la superficie muy reducida del suelo provocando un pequeño charco, cuyo radio se extiende a medida que el riego continúa. Cuanto más húmedo se halle el suelo, la velocidad de filtración del agua disminuye, ya que, aunque la conductividad hidráulica aumenta al aproximarse a la saturación, el gradiente de potencial disminuye a una proporción mucho mayor, la disminución de la velocidad de infiltración favoreciendo aún más el incremento del radio de charco.” Entre los factores que afectan la forma del bulbo se encuentran:

- a. El tipo de suelo, puesto que, en los suelos pesados la velocidad de infiltración es menor que en los ligeros, estableciendo un mayor radio del charco. Amoros (1991) expresa que existen distintos tipos de bulbos según el tipo de suelo, para suelo pesado, cuya textura clasifican las arcillosa, estos poseen menor poder de penetración y un mayor radio del charco, en suelos medios (franco) presentan mayor penetración y menor radio, por último, en suelos arenosos penetran de forma alargada, en la Figura 1 se aprecia el humedecimiento de acuerdo con el tipo de suelo.

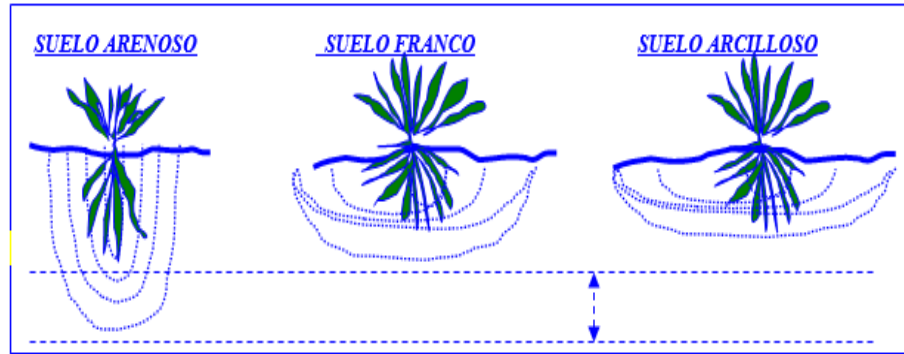


Figura 1. Comportamiento del bulbo de humedecimiento en función de la textura.

Fuente: (Rodas & Cisneros de Ramírez, 2000)

- b. La estratificación: naturalmente se presenta diferentes extractos de porosidad el flujo y la retención del agua se ve afectada, así como el bulbo húmedo. Existen extractos arenosos, arcillosos y obstáculos impermeables como la presencia de piedras o de un material poco permeable que hace que el bulbo se amplíe lateralmente por los bordes.
- c. El caudal del emisor, según Rodas & Cisneros de Ramírez (2000) el agua empieza a brotar del gotero se forma un pequeño charco, el agua inicia a humedecer la superficie. A mayor caudal del gotero corresponde una mayor superficie del charco y, por lo tanto, el bulbo se ve extendido más en forma horizontal.
- d. Tiempo de riego, a medida aumenta el tiempo de riego el tamaño del bulbo crece en profundidad y en tamaño con sentido horizontal, pero dependiendo del tipo de suelo.

3.4 Diseño agronómico

Para llevar a cabo el diseño de un sistema de riego es fundamental conocer los rasgos físicos del suelo y las necesidades hídricas del cultivo, por lo que a continuación se detallan los diferentes conceptos.

3.4.1 Textura

Se comprende como la proporción relativa de arena, limo y arcilla del suelo, dichas partículas son clasificadas de acuerdo con su tamaño. La arena constituye partículas con diámetro de 0,05-2 mm, el limo de 0,05-0.002 mm y la arcilla menor de 0,002 mm. La mayoría de suelo contiene una mezcla de los anteriores, pero siempre predomina alguno, por lo que existe clases texturales que permiten identificar la composición del suelo (Calvache,2002).

De acuerdo con Valverde (1998) existe dos métodos para identificar la textura, el método del tacto, este consiste en manipular y presionar con los dedos una muestra de suelo y segundo método en el laboratorio mediante el hidrómetro de Bouyoucos.

3.4.2 Peso específico aparente

Según Valverde (1998), el peso específico se refiere a la relación entre el peso del suelo seco y el volumen de suelo seco en la estufa a 110 °C durante 24 horas, este incluye los espacios porosos. Además, cuanto mayor sea el peso específico aparente en un suelo, menor es su espacio poroso, además esta propiedad permite calcular la capacidad de retención de humedad del suelo, la porosidad del suelo. Núñez (1996) agrega que los suelos sueltos, agregados y porosos tienen densidades aparentes bajas. En suelos de origen volcánico y en suelos orgánicos los valores pueden ser de 0,8 y 0,3 g/cc (Calvache, 2002).

3.4.3 Almacenamiento de agua en el suelo

Según Valverde (1998) el suelo dispone de un almacén natural del agua, que para determinar la disponibilidad es necesario definir límites de contenido de humedad relacionados con la textura, conocidos como:

3.4.3.1 Capacidad de campo

Valverde (1998) determina la capacidad de campo como el contenido de humedad presente en el suelo en contra de las fuerzas de gravedad, luego de un riesgo considerable o lluvia fuerte, continuo de un drenaje del agua gravitacional, esta propiedad se halla en función de la textura, contenido de materia orgánica y compactación del suelo.

Orellana (2010) destaca que el valor de capacidad de campo es transcendental, ya que proporciona una idea del grado de absorción que tiene el suelo, sus reservas de agua ante una predecible sequía o el momento en que empezará a escurrir. Además, expone que la energía (trabajo) necesaria para extraer el agua del suelo crece exponencialmente, mientras que el contenido de agua se reduce linealmente, para representar este proceso, se emplea el logaritmo de la tensión de humedad del suelo expresado en función de centímetros de columna de agua, conocido como pF (p igual a la potencial y F igual a la energía libre). Según Villón (2004) los valores de la succión pueden variar desde cero hasta 10^7 , por lo que se suele utilizar el pF para expresar la succión de la humedad del suelo, debido a que el intervalo de variación es muy amplio,

se utiliza la escala logarítmica para su descripción. La unidad empleada en este caso es el pF, y se define como 1 pF es igual al $\log 10^h$, donde h es la presión negativa expresada en cm de agua.

De acuerdo con Blume et al. (2010) la distribución del tamaño de poro se subdivide en áreas definidas convencionalmente. Los límites entre los rangos de tamaño de poro se basan en parámetros característicos del balance hídrico. Los diámetros corresponden al límite de drenaje en diferentes tensiones de agua o potenciales de matriz de la capacitancia de campo, además, la capacidad de campo posee valores de pF < 2,5 y el más común es el área entre pF 1,8 y 2,5. Por otra parte Scharley, Simon, Ruyschaert, Greet, Zwart, Kor (2016) señalan específicamente que el valor la capacidad de campo se obtiene (pF 1,8).

3.4.3.2 Punto de marchitez permanente

Es el contenido de humedad retenido por las partículas de suelo que las plantas no pueden utilizar para satisfacer sus necesidades, generando una marchitez irreversible, ya que no pueden recuperarse, aunque se sometan a un ambiente húmedo. Esta se presenta cuando el suelo es sometido a una tensión de 15 atmósferas.

3.4.3.3 Agua útil para la planta

Es la que dispone la planta para su buen desarrollo, se limita entre la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente (Valverde, 1998).

3.4.4 Necesidades hídricas del cultivo

Mendoza (2013) expone que las necesidades hídricas de los cultivos expresan la cantidad de agua necesaria a aplicar para corregir el déficit de humedad del suelo durante un periodo vegetativo.

3.4.4.1 Transpiración

Según Valverde (1998) este fenómeno ocurre cuando las plantas pierden agua en forma de vapor por medio de los poros, conocidos como estomas. El agua que es absorbida por las raíces es llevada hasta las hojas.

3.4.4.2 Evaporación

De acuerdo con Valverde (1998) la evaporación es la pérdida de agua del terreno contiguo a la planta, e incluye la pérdida del agua directamente de las hojas, este proceso se ve afectado por la radiación solar, la latitud y la estación del año.

3.4.4.3 Evapotranspiración (ET)

Se refiere a la suma de transferencias de agua del suelo a la atmósfera por evaporación directa y por transpiración de la planta. A partir de la evapotranspiración se establece dos conceptos:

- Evapotranspiración potencial (ET_o), que corresponde a la evapotranspiración máxima de una cobertura vegetal en el suelo en condiciones sanas, donde su factor limitante es la naturaleza climática (Lemaire, 2005). Por otra parte, Cevallos (2008) describe la evapotranspiración del cultivo como la cantidad de agua que se pierde por transpiración y evaporación.
- Evapotranspiración real (ET_R) según Valverde (1998) se define como a la evaporación del cultivo en excelentes condiciones de fertilidad y humedad para alcanzar el máximo potencial de producción.

3.4.4.4 Coeficiente del cultivo (Kc)

El coeficiente del cultivo depende de las características anatómicas, morfológicas y fisiológicas de la planta, de acuerdo con el periodo de crecimiento de la planta, desarrollo vegetativo y el clima (Valverde, 1998). El Kc relaciona la evapotranspiración potencial con la evapotranspiración real, conforme el cultivo se va desarrollando, sufre una variación en la evaporación para cada etapa de desarrollo, es decir, el coeficiente del cultivo varía desde la siembra hasta la cosecha (Valverde & Villalobos, 2016).

3.5 Diseño hidráulico

Según Shock & Welch (2013), un sistema de riego por goteo debe ser planeado y trazado con cautela, ya que el diseño debe contemplar el efecto de la topografía (inclinación y curvas de nivel) sobre los requerimientos de presión. Por otra parte, para asegurar uniformidad al aplicar el agua se debe tomar en cuenta factores como el tipo de cinta, la longitud de las cintas.

Es esencial identificar las zonas de riego, ya que estas deben basarse sobre factores como la textura del suelo, topografía, longitud del campo, tomando en cuenta las necesidades del cultivo y las características del suelo para elegir el tipo de cinta, la distancia entre cintas y emisores, además el sistema de distribución, las válvulas y la bomba, que debe ser apropiada de acuerdo con la cinta que se implemente. Amoros (1990) y Moya (2009) indican que el sistema de riego por goteo está compuesto por diferentes elementos necesarios:

- **Cabezal de riego**
 - Prefiltro
 - Filtros
 - Equipo de fertirrigación
 - Elementos de seguridad
 - Manómetros
- **Red**
 - Tubería de conducción: principal y secundaria
 - Tubería de distribución: terciarias laterales, válvulas y reguladores de presión
- **Emisores**
 - Goteros
 - Cintas y mangueras

Moya (2009) expresa que la distribución y la instalación de los elementos citados depende de factores y situaciones como:

- Topografía de la finca
- Forma de la parcela
- Sentido de la pendiente
- Tipo de suelo y cultivo
- Características climáticas.

3.5.1 Equipo de bombeo

De acuerdo con Liotta (2015), el equipo de bombeo se encuentra compuesto por una o más bombas, cuyo tamaño y potencia se encuentra en función de la superficie a humedecer. El dimensionamiento de la bomba debe ser tal que la presión requerida sea suficiente para vencer las diferencias de elevación y las pérdidas de carga de todo el sistema.

Según Fernández (2010), las bombas son los elementos de la instalación que proporcionan el caudal de agua necesario a la presión apropiada. Regularmente se manejan bombas hidráulicas operadas por motores eléctricos o motores de combustión interna.

3.5.2 Pérdida de carga

A medida que el agua circula a una determinada presión a través de las tuberías y por distintos elementos del sistema se va disipando la presión producto del rozamiento. De acuerdo con Fernández (2010), esas pérdidas dependen de las siguientes condiciones:

- Diámetro interno de la tubería, a menor diámetro la pérdida de carga es mayor para el mismo caudal circulante.
- Longitud de la tubería, a mayor longitud de la tubería, mayor pérdida de carga para el mismo diámetro y caudal circulante.
- Tipo de material de la tubería y rugosidad de sus paredes interiores.

Cabe destacar que el valor de la pérdida se origina debido a los diferentes elementos del sistema como uniones, codos, válvulas, medidores, cuya información es suministrada por el fabricante.

3.5.3 Cabezal

Cadahía (2000), señala que un cabezal de riego es el conjunto de dispositivos ubicados aguas arriba de toda la instalación de riego localizado, con la finalidad de medir el agua, incorporar fertilizantes, filtrar, regular presión y llevar a cabo programas de riegos establecidos.

Moya (2009), menciona que, para fincas con pendientes, es pertinente colocarlo en el punto más alto, con el fin de aprovechar las ventajas de las diferencias de nivel y optimizar la uniformidad del riego. Si las pendientes son muy fuertes, es provechoso que el cabezal se instale más abajo para conseguir, con este nivel que, la presión sea suficiente para el buen funcionamiento de todos los aparatos. Además, si la presión se alcanza mediante una bomba, se instala adyacente al pozo aprovechando la construcción desde el cabezal para que el agua se eleve hasta el punto más alto. No es económico llevar toda el agua hasta el punto más alto, por lo que es conveniente hacer sectores de riego para evitar que los problemas de funcionamiento repercutan en toda la instalación. Los componentes del cabezal de riego se describen a continuación:

3.5.4 Prefiltro

De acuerdo con Amoros (1990), el prefiltro, se instala dependiendo de la calidad del agua, preferible cuando esta se encuentra muy contaminada, se ubica antes del cabezal, existen dos tipos:

- **Rejilla o decantadores**

Se utilizan en la entrada de agua al reservorio para así retener elementos de mayor tamaño como ramas y hojas.

- **El hidrociclón**

De acuerdo con Moya (2009), se instala cuando el agua lleva arenilla y limos en suspensión, este dispositivo se basa en el movimiento giratorio dentro de un depósito acampanado, que se va estrechando por la parte inferior, el agua entra por arriba, es obligada a girar, las partículas más pesadas golpean las paredes y se van hacia abajo, mientras que el agua sale hacia arriba, tal como se aprecia en la Figura 2.

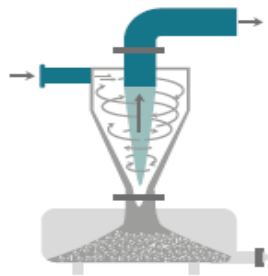


Figura 2. Funcionamiento de un Hidrociclón. Fuente: (Liotta, 2015)

3.5.5 Filtros

Arenas

Son tanques metálicos o de poliéster, en su interior se ubica una gruesa capa de arena, la cual pasa el agua, para ser filtrada. Cuando los filtros están sucios la presión aumenta en la zona situada aguas arriba de la arena y la fuerza es mayor (Pizarro,1990). En la Figura 3, se muestra un conjunto de filtros de grava. Lotita (2015), expresa que, las pérdidas de carga son de 2 a 5 mca cuando están limpios y de 5 a 7 mca cuando se encuentran sucios, para identificar en qué momento es necesaria la limpieza, se debe medir la presión antes y después del filtro (Lotita, 2015).



Figura 3. Filtros de grava. Fuente: (Liotta, 2015)

Malla

Según Liotta (2015), es una carcasa que aloja en su interior un cartucho con una malla de diferentes diámetros u orificios, esta puede ser metálica o de plástico, en la Figura 4 se aprecia el funcionamiento del filtro de malla. El tamaño se determina por el número de aberturas por pulgada lineal (25, 4 mm) llamado “mesh”. Se recomienda que para riego por goteo se debe utilizar una malla de 140 a 159 mesh.

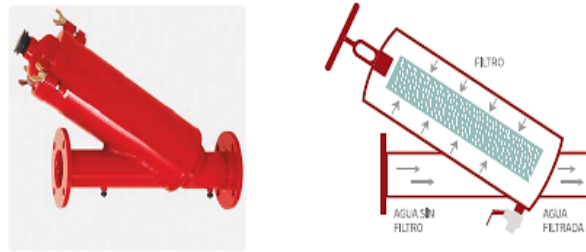


Figura 4. Filtros de malla. Fuente: (Liotta, 2015)

Anillos

Presenta forma cilíndrica, cuyo elemento filtrante es un conjunto de anillos con ranuras impresas sobre un soporte central cilíndrico y perforado. La calidad del filtrado depende del espesor de las ranuras (Mendoza, 2013). En la Figura 5 se observa el funcionamiento del filtro de anillos. Para Liotta (2015), ambos tipos de filtros tiene una pérdida de carga de 1 a 3 mca cuando están limpios y deben procederse a su limpieza con valores de 5 mca, dicha limpieza puede ser manual o retro – lavadora.

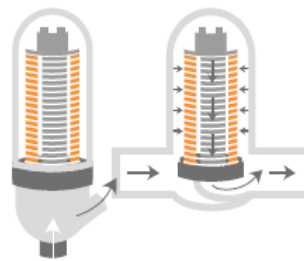


Figura 5. Filtros de anillos. Fuente: (Liotta, 2015)

3.5.6 Equipo de fertirrigación

Según Amoros (1990), este equipo es el encargado de incorporar abonos, herbicidas, se instala en el cabezal o en diferentes sectores de la finca, este requiere de un filtro de malla entre el

depósito de abonos y la aspiración de la bomba inyectora. Existen diferentes dispositivos para llevar a cabo la fertirrigación como lo son:

– **Tanque de fertilización**

Es un depósito metálico, plástico o fibra de vidrio, su volumen se encuentra entre 20 a 200 litros, resisten presiones hasta de 6 atmósferas, en la Figura 6, se muestra su forma. Este actúa debido a la presión de la red de riego, cuya pérdida de carga mínima llega a 3 m. Según Moya (2009), este dispositivo se llena hasta la mitad y se dispone de una válvula de seguridad para evitar accidentes, además menciona que el sistema posee la ventaja de ser cómodo y económico, sin embargo, la concentración puede no ser uniforme, por lo que no es conveniente en parcelas superiores a media hectárea.

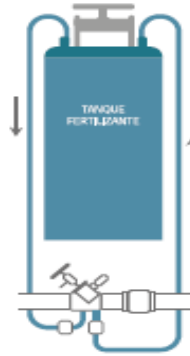


Figura 6. Tanque fertilizante en paralelo. Fuente: (Liotta, 2015)

– **Fertilizante tipo Venturi**

Es una pieza en forma de T con una angostura que acelera la velocidad del agua, generando una depresión que absorbe la solución fertilizante para introducirlo a la tubería, además solicita de una presión mínima de 15 mca y representa una pérdida de carga de alrededor del 20% de la presión del sistema, por lo que en ocasiones se necesita de una bomba adicional para que no pierda presión el sistema, en la Figura 7 se aprecia su forma. (Liotta, 2015).

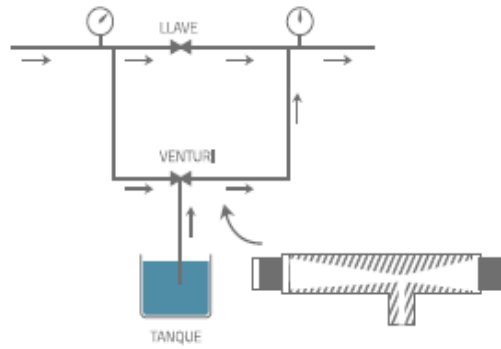


Figura 7. Fertilizador tipo Venturi. Fuente: (Liotta, 2015)

La elección de filtros se lleva a cabo en función de la cantidad de sedimentos y sustancias orgánicas que contenga el agua, Liotta (2015), propone una lista de acuerdo con el tipo de elemento a filtrar, ver Figura 8.

TIPO DE ELEMENTO	HIDROCICLÓN	GRAVA	MALLA Y ANILLA
ARENA	SI	NO	SI
LIMOS Y ARCILLAS	NO	SI	SI
SUSTANCIAS ORGÁNICAS	NO	SI	SI

Figura 8. Filtrado según las partículas presentes en el agua de riego. Fuente: (Liotta, 2015)

– Inyectores

Se incorpora a la red la solución fertilizante. Existe dos casos, las bombas de motores convencionales que suele ser eléctricas, cuya presión se encuentra entre 5 -15 atmósfera, o las bombas de accionamiento hidráulico, que trabajan debido a energía del agua de la red, además es necesaria una presión superior a 2 atmósferas.

3.5.7 Elementos de seguridad

Amoros (1990), expone diferentes elementos de seguridad como lo son:

– Purgadores

Son metálicos y se colocan en ciertos puntos, donde se puede almacenar aire como codos y filtros.

- **Válvulas de seguridad**

Su propósito es dejar salir el líquido de la instalación cuando la presión es excesiva.

- **Válvulas de retención**

Cumple con romper la columna de agua y reducir el golpe de ariete.

Por otra parte, Moya (2009), expresa que existe otros tipos de válvulas de seguridad como:

- **Válvulas y mecanismos de seguridad**

- **Válvula de paso:** sirven para abrir o cerrar una conexión o tubería.

- **Válvulas de mariposa:** para conducciones mayores, alcanzando un mejor cierre, pues la manivela posee diversas posiciones fijas.

- **Válvulas de compuerta:** cierran o abren poco a poco mediante rosca.

- **Válvulas de hidráulica:** utilizan la presión del agua para abrir o cerrar un diafragma o pistón.

- **Válvulas de protección y regulación**

- **Ventosas:** expulsa el aire de las tuberías, con la intención de que el agua pueda circular a presión sin problemas, cuando inicie el llenado de una tubería, se debe dejar abierto todos los terminales, para así facilitar la salida del aire existente. El aire disuelto, se acumula en los codos y en partes elevadas, por lo que se tiene que prever su expulsión, igualmente se debe tener precaución en instalaciones, cuya tubería tenga kilómetros de longitud.

- **Reguladores de presión:** consiste en garantizar la presión de trabajo, minimizando el exceso que lleva la tubería, su regulación se alcanza a través de un tornillo.

- **Válvula de sobrepresión:** las conducciones de agua a presión pueden llegar a sufrir sobrepresiones, debido al golpe de ariete, que se forma cuando ocurre un cambio en el régimen de circulación, además Moya (2009), expone las causas que genera el “golpe de ariete” como lo es la presencia de aire, el cierre rápido de una llave de paso, el arranque y detención de la bomba.

- **Válvula de retención:** permite el paso del agua en un solo sentido, evitan el vacío de bombas y los golpes de ariete.

- **Manómetros**

Son aparatos de control, se ubican en el cabezal o en diferentes puntos de la instalación, con la finalidad de conocer las presiones.

3.5.8 Red

Según Moya (2009), se encuentra conformada por todas las tuberías del sistema y se divide en dos grupos:

- **Conducción**

- **Tubería principal**

Se encargan de transportar el agua del cabezal hasta la unidad de riego.

- **Tubería secundaria**

Salen a partir de la principal y transportan el agua hasta la entrada de las parcelas.

- **Distribución**

- **Tuberías Terciarias**

Salen de la secundaria, sirven para que se acoplen las tuberías que llevan los emisores, por lo cual deben estar perfectamente reguladas, para que la presión de entrada a dichas tubería sea suficiente para el buen funcionamiento de los emisores.

- **Tuberías laterales**

Son las tuberías portadoras de los emisores, emergen lateralmente y perpendicular a las terciarias, además son las terminales de la red, por lo que su cálculo es fundamental, ya que las pérdidas de carga que se originan en ellas deben estar dentro del margen de la categoría emisor.

Moya (2009), explica que al conjunto de terciarias y laterales se le denomina subunidad y para regular la presión de entrada, deben llevar una válvula reguladora de presión, pero generalmente no se instalan para abaratar el presupuesto.

En cuanto a la instalación de la tubería es conveniente enterrarla para protegerla de los rayos solares, en fincas con pendientes. Desde el cabezal se hará el trazado que ahorre el máximo de tubería y codos, siempre que se pueda ir siguiendo, la dirección de la pendiente. Cuando la tubería asciende es necesario colocar las válvulas de retención que, impiden que el agua se regrese, mientras que para los puntos bajos es conveniente disponer de válvula de desagüe.

Para las tuberías y conexiones de riego localizado se utiliza materiales plásticos, que no sean atacados por los fertilizantes o ácidos, en opinión de Moya (2009), la elección de cualquiera de estos elementos depende de diferentes factores y situaciones, los más comunes son:

- a. PVC (policloruro de vinilo), es empleado para tubería principal y secundaria, sin embargo, debe ser protegido de los rayos ultravioleta del sol, además, pueden sufrir problemas de golpe de ariete.
- b. PE (polietileno), es más flexible que el PVC y se divide en baja densidad, el cual es flexible y el de alta densidad que es más rígido

3.5.9 Emisores

De acuerdo con Pizarro (1990), los emisores son los elementos más importantes y delicados de las instalaciones y se clasifica en:

- **Goteros**
 - De largo conducto
 - Laberinto
 - De orificio
 - Vortex

Amoros (2000), menciona que, un buen gotero debe cumplir con un caudal bajo de 2 a 8 litros por hora, tener una mínima sensibilidad a las variaciones de presión, mostrar poca sensibilidad a obstrucciones, poseer escasa sensibilidad a los cambios de temperatura y reducida pérdida de carga por conexión.

- **Mangueras**

Son tuberías equipada de puntos de emisiones muy próximos, según Pizarro (1990), dirigido a cultivos como hortalizas, se halla compuesto por dos conductos paralelos, uno principal el agua pasa al secundario mediante un orificio que genera una primera pérdida de carga y en dicho conducto el agua sale por un segundo orificio.

- **Cintas de exudación**

Consisten en una tubería o cinta fabricada a partir de una membrana compuesta de microfibras de polietileno entrecruzada, formando una malla. Al aplicar presión la tubería se hincha y el agua sale por los poros de forma homogéneamente a lo largo de su longitud (Pizarro,

1990). Por otra parte, Mendoza (2013), señala otro tipo de clasificación, la cual se encuentra en función del comportamiento hidráulico, que se detalla a continuación:

a. Normales

Son goteros que cuanto mayor sea la presión existente más caudal de agua expulsan. Pueden ser de conducto largo, laberinto, orificio.

b. Autocompensantes

Son goteros que conservan el caudal más o menos constante, aunque varíe la presión de entrada, dentro de un determinado rango de presión. Son oportunos para lugares con gran diferencia de presión debido a desniveles topográficos o cuando existen a lo largo de la tubería lateral grandes pérdidas de carga.

Pizarro (1990), advierte algunos inconvenientes que surgen al manejar autocompensante, dentro de ellos se encuentra el costo y que el material experimenta envejecimiento debido a las diferentes temperaturas y presiones, aparte de que cuando este es sometido a agentes químicos como abonos, con el tiempo puede perder uniformidad.

3.6 Análisis Ambiental

Un impacto ambiental, se genera cuando una actividad produce una alteración, favorable o perjudicial, en el medio o en alguno de los componentes del medio. Esta acción puede ser un proyecto de ingeniería, un programa, un plan, una ley con implicaciones ambientales. Es fundamental señalar que este término no implica negatividad, pues puede ser tanto positivo o negativo (Ruberto, 2006).

Conesa (2009), expresa que, existen procedimientos administrativos que comprenden estudios técnicos que estiman los efectos que generará la ejecución de un proyecto, obra o actividad sobre el ambiente, este se le denomina como evaluación de impacto ambiental (EIA) este procedimiento jurídico-administrativo, cuyo propósito es la identificación, predicción e interpretación de los impactos ambientales que un proyecto o actividad ocasiona en caso de ser realizado, así como la prevención, corrección y valoración de los mismos, todo ello con el fin de ser aceptado, modificado o rechazado por parte de las distintas Administraciones públicas competentes.

La Secretaría Técnica Nacional Ambiental de Costa Rica (SETENA), cuenta con una Plataforma Digital para tramitar formularios D1 y D2 en línea. A través de un Reglamento General de EIA establece la existencia de un Documento de Evaluación Ambiental (D1), el cual consiste en una valoración previa de la actividad, obra o proyecto donde se desarrollará la actividad, con el fin de determinar, primero la viabilidad ambiental potencial (VAP) del proyecto respecto a este y en caso de que la tenga, el tipo de evaluación de impacto ambiental que deberá efectuarse. Mientras que la valoración de viabilidad ambiental define que el espacio geográfico donde se implanta la actividad presenta la condición de aptitud natural suficiente para soportar el desarrollo de la actividad, y 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.

Según lo establecido en el Artículo 20 del Reglamento General sobre los Procedimientos de EIA vigente, la actividad o proyecto es potencialmente viable desde el punto de vista ambiental, y en virtud del puntaje de SIA obtenida y fiscalizada por la SETENA. Existen tres posibles rutas de decisión en función de la calificación final:

- a.** Baja Significancia del Impacto Ambiental (SIA) -Declaratoria Jurada de Compromisos Ambientales (DJCA).
- b.** Moderada SIA- Pronostico – Plan de Gestión Ambiental (P-PGA), para esta SETENA brinda los lineamientos para su elaboración.
- c.** Alta SIA- Estudio de Impacto Ambiental (EsIA), para el cual la SETENA brindara los términos para su confección.

SETENA (s.f.) señala que la Significancia del Impacto Ambiental (SIA), consiste en la valoración cualitativa de un impacto ambiental dado, en el contexto de un proceso de valoración y armonización de criterios tales como el marco regulatorio ambiental vigente, la finalidad de uso –planeado- para el área a desarrollar, su condición de fragilidad ambiental, el potencial efecto social que pudiera darse y la relación de parámetros ambientales del proyecto.

3.7 Análisis Económico

Según Espinoza (2007), un estudio financiero radica en establecer a través de indicadores financieros, la rentabilidad de un proyecto, por esta razón es fundamental examinar detalles como ingresos, inversión inicial y los costos de operación del proyecto que se quiere llevar a cabo.

De acuerdo con Hamilton y Pezo (2005), mencionan que, dependiendo de cómo se comportan los costos respecto con los beneficios, se maneja indicadores de evaluación de proyectos. Dentro de dichos indicadores se encuentra el valor actual neto (VAN), que permite conocer el valor del dinero actual, el cual recibirá el proyecto a futuro, a una tasa de interés y un periodo determinado, con el objetivo de comparar este valor con la inversión inicial. Con base al resultado del valor actual neto, el evaluador opta por aceptar o rechazar el proyecto, tal como se muestra a continuación:

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

Hamilton y Pezo (2005), especifican que la Tasa Interna de Retorno “Es aquella tasa de actualización máxima que reduce a cero el valor actual neto (VAN) del proyecto” a través de este indicador el inversionista puede identificar cuando no debe contraer obligaciones a tasas de mayor interés a ella, evitando así un futuro fracaso económico. La tasa de retorno de igual manera posee una serie de criterios de inversión como se desglosan a continuación:

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

Otro concepto financiero, que se debe contemplar al realizar un análisis económico es la Tasa Mínima Aceptable de Rendimiento (TREMA) o costo de oportunidad, es el rendimiento mínimo requerido sobre el financiamiento o aporte de capital, es decir, es la tasa de rendimiento que debe obtener la empresa sobre su inversión para que el valor de esta permanezca intacto en el mercado (Corrales, González y Jara, 2015).

León (2019), señala que, la toma de decisión al invertir se establece por la TREMA, que mide el mejor rendimiento alternativo, basándose en el riesgo que se corre en la inversión. La trema, sirve de parámetro para comparar con la Tasa Interna de Retorno (TIR), por lo que el criterio para tomar decesiones es el siguiente:

- Si la $TIR > TREMA$, el proyecto es rentable.
- Si la $TIR = TREMA$, el proyecto es indiferente.
- Si la $TIR < TREMA$, el proyecto no es rentable.

3.8 Análisis Social

Según Vanclay (2003), citado por López (2018), menciona que un impacto social, se distingue como consecuencias de actos o circunstancias de diferente naturaleza que repercuten en la población humana, variando su forma de vida, la conducta con las personas que les rodea a nivel social, creación y destrucción de empleo, sistemas políticos, revoluciones sociales, salud y derechos. Liberta (2007), añade que el impacto social se refiere al cambio perpetrado en la sociedad y que el impacto de un proyecto es la magnitud cuantitativa del cambio en el problema de la población como resultado de la entrega de productos, como bienes o servicios y que se observa a largo plazo.

La empresa consultora GreenMomentum S.A.P.I de C.V. (s.f), plantea una Metodología para la Evaluación de Impacto Social, apoyada por la Cooperación Alemana al Desarrollo Sustentable en México, la cual orienta a los interesados que deseen realizar una Evaluación de Impacto Social. Esta metodología, consiste en un análisis de carácter preventivo orientado a informar acerca de los impactos sociales que se pueden llegar a generar al realizar un proyecto, de acuerdo con esta empresa, la Metodología mencionada cuenta con los siguientes elementos:

a) Objetivos:

Es la identificación y evaluación de los posibles impactos sociales que se pueden derivar del proyecto.

b) Definiciones

Se define ciertos conceptos para comprender el lenguaje que emplea la metodología.

Co-beneficios: los posibles cambios y consecuencias positivas en materia ambiental, social y económica que pueden resultar del desarrollo del proyecto en el área de influencia.

- Impacto Social: son todos los posibles cambios y consecuencias (positivas o negativas) en la población, que pueden alterar la forma en que las comunidades o individuos viven, trabajan, se relacionan entre sí y se organizan para satisfacer sus necesidades, incluso si puede afectar sus derechos, creencias y valores que rigen su entorno y sus contextos socioeconómicos y culturales.
- Medidas de Mitigación: acciones que se llevan a cabo para evitar o minimizar los impactos negativos generados por el desarrollo de proyectos.
- Desplazamiento: Se consideran dos tipos de desplazamiento, el desplazamiento físico que ocurre durante los procesos de reasentamiento, cuando las personas deben trasladarse a otro lugar debido a la compra, relacionada con el proyecto, de la tierra o ciertas restricciones en el uso de suelo y el desplazamiento económico que acontece cuando las casas de la gente no se ven afectadas, pero existe una pérdida o restricción en el acceso a otros bienes y recursos (por ejemplo, tierras agrícolas) que afectarían negativamente los bienes, los medios de vida y subsistencia.
- Impactos Negativos: los posibles cambios y consecuencias negativas que pueden resultar del desarrollo.

c) Marco de Aspectos Relevantes en Impacto Social

En este apartado, se establece los aspectos y los indicadores, para la Matriz a realizar. Es decir, funge como marco de referencia para la Evaluación de Impacto Social.

Los aspectos y los indicadores que se definen se utilizan en el Cuestionario para la Identificación y Evaluación de Impacto Social.

d) Proceso de Evaluación de Impactos Sociales

El cual incluye como documentos de soporte los siguientes anexos:

- Anexo A. Buenas Prácticas para la Evaluación de Impactos Sociales.
- Anexo B. Cuestionario para la Identificación y Evaluación de Impactos Sociales.
- Anexo C. Parámetros de Monitoreo Periódico Sugeridos

La aplicación del cuestionario por el Interesado debe ser consistente con la información técnica del proyecto presentada en los formatos de solicitud, puesto que la finalidad de la herramienta es generar una descripción de los Impactos Negativos y Cobeneficios del Proyecto, así como las medidas de mitigación necesarias.

4 METODOLOGÍA

Inicialmente, se efectuó una visita al campo, con la finalidad de analizar la situación actual y la problemática que se presenta. La toma de agua que abastece el sistema es un reservorio con dimensiones de 12 m de largo, 5 m de ancho y 3 m de profundidad, este recurso es obtenido mediante una concesión. El área total del proyecto es de 10716,044 m², dividida en tres áreas independientes para el chile con un total de 5820,596 m² y un área para chayote de 4895,825 m².

4.1 Recursos utilizados

- Estación total.
- GPS Garmin 64s.
- Software para el manejo de sistema de información geográfico (SIG) Quantum GIS.
- Software de dibujo asistido por computadora Civil CAD 3D.
- Cropwat y climwat para obtener la ETO de la zona.

4.2 Estudio topográfico

Se realizó un levantamiento de las coordenadas del sitio en análisis a través de una estación total, los datos fueron almacenados en un archivo de Excel, para ser importados al software Civil CAD 3D con el propósito de establecer las curvas de nivel y la pendiente del terreno, luego a través del Quantum GIS se realizaron los mapas de ubicación del lugar de estudio.

4.3 Estudio Suelos

4.3.1 Textura del suelo

Se recolectó muestras de suelo en diferentes sitios del terreno, para así establecer la textura presente, para ello se utilizó el método de Bouyoucos, el cual se desarrolló en el laboratorio de la Escuela de Ingeniería Agrícola. En el laboratorio se pesó una muestra de 40 gramos de suelo, se llevó al horno por 24 horas a 110 °C, posteriormente se pasó por un tamiz de 2 mm. Se colocó la muestra en el agitador mecánico, seguidamente se agregó 10 ml de hexametáfosfato de sodio y 250 ml de agua destilada; se dejó en la batidora durante 15 minutos, luego se trasladó la mezcla del cilindro de Bouyoucos, para retirar completamente los sedimentos que quedaron en el agitador mecánico se vertió agua destilada con una piseta, el cilindro se llenó con agua destilada hasta, 1130 ml, con el hidrómetro dentro.

Seguidamente se retiró el hidrómetro, se tapó el cilindro y se agitó la suspensión. Se colocó el cilindro en la mesa de trabajo después de unos segundos se insertó el hidrómetro, se esperó hasta que la suspensión se estabilizará, se tomó la primera lectura a los 40 segundos, se midió la

temperatura inmediatamente después de leer el hidrómetro. Después de dos horas se realizó la segunda lectura del cilindro y de la temperatura, finalmente se corrigió las lecturas del hidrómetro aplicando las siguientes relaciones:

- Por cada grado arriba de 19,40 °C, se agrega 0,30 a la lectura del hidrómetro para la corrección respectiva.
- Por cada grado bajo 19,40 °C, se resta 0,30 a la lectura del hidrómetro para la corrección respectiva.

Con las lecturas del hidrómetro corregidas, se obtuvo los valores para la cantidad de partículas utilizando las ecuaciones.

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

$$\%Arena = 100 - \%MS \dots (2)$$

$$\%Arcilla = LH \ 2hr * (100/PM) \dots (3)$$

$$\%Limo = 100 - [\% Arena + \%Arcilla] \dots (4)$$

Finalmente, se determinó con los porcentajes alcanzados y a través el triángulo de textura (ver Anexo 1) se identificó el tipo de suelo.

4.3.2 Capacidad y punto de marchitez permanente

El valor de capacidad de campo (CC) y punto de marchitez permanente (PMP), inicialmente fueron determinados mediante la olla de Richards en el laboratorio de suelos de la Escuela de Ingeniería Agrícola. Se utilizaron muestras de suelo de cada área, para obtener el valor de capacidad de campo y de punto de marchitez permanente, dichas muestras se colocaron en la olla de Richards a 0,33 atm (CC) y 15 atm (PMP), durante tres semanas, luego fueron pesadas y llevadas al horno a 105 °C durante 24 horas, finalmente se pesaron nuevamente y por diferencia de pesos se estableció el porcentaje de humedad. Para obtener el valor de capacidad de campo y punto de marchites permanente se utilizaron siguientes ecuaciones en su respectivo orden.

$$CC = \frac{Psh - Pss (g)}{Pss (g)} * 100 \dots (5)$$

CC: capacidad de campo, en porcentaje con base en suelo seco%

Psh: peso suelo húmedo, en g

Pss: peso suelo seco, en g

$$PMP = \frac{Psh - Pss (g)}{Pss (g)} * 100 \dots (6)$$

PMP: punto de marchites permanente, en porcentaje con base en suelo seco%

Psh: peso suelo húmedo, en g

Pss: peso suelo seco, en g

Sin embargo, los resultados alcanzados se hallaban fuera del rango de acuerdo al tipo de suelo según la literatura, por lo que se precedió a repetir el cálculo, no obstante, la olla de Richards no se encontraba disponible, por lo que, para cumplir con el cronograma del proyecto se optó por utilizar el equipo de caja de arenas para analizar la capacidad de campo, dicho aparato es usado para medir diferentes puntos de retención del agua en el suelo, este aparato aplica el principio de equilibrio hidrostático sobre las muestras (Orellana, 2010).

Las nuevas muestras de suelo fueron saturadas, de igual manera para el desarrollo de esta prueba se requirió de muestras inalteradas, que fueron tomadas con anillos, posteriormente, se situaron sobre una capa de fina arena saturada, sobre la caja de arena, se agregó una capa de agua de 1 cm de altura, el sistema fue cerrado y se ajustó a una succión de pF 1,8; se determinó diferentes valores succión hasta llegar a un valor constante, posterior se cuantificó la cantidad de materia de las muestras del suelo húmedo y seco, para alcanzar el valor de capacidad de campo se utilizó la Ecuación 5.

En cuanto a los datos de PMP cabe destacar que nuevamente se obtuvo valores no acordes al tipo de textura, incluso superiores a los alcanzados a CC, para esta segunda ocasión se identificó que la olla de Richards presentaba una fuga, cabe mencionar que al hacer lectura luego de tres semanas se encontró que la olla marcaba cero bars, por lo que para obtener el valor del punto de marchitez permanente se procedió a utilizar la Ecuación 7, la cual según Villalobos (2008), consiste en una aproximación del valor, en función de acuerdo a la textura del suelo y capacidad de campo.

$$PMP = \frac{CC (g)}{2,1} \dots (7)$$

PMP: punto de marchitez permanente, en porcentaje con base en suelo seco%

CC: capacidad de campo, en porcentaje con base en suelo seco%

4.3.3 Peso específico

Para adquirir el valor del peso específico se tomó muestras de suelo disturbadas, es decir sin alterar, en un cilindro de volumen conocido, se colocó al horno a 105°C durante 24 horas, una vez transcurrido el tiempo se pesó la muestra, posteriormente, se cuantificó el volumen del cilindro, el cual incluye el espacio poroso, dividido entre el peso de un volumen igual de agua. La Ecuación para el cálculo del peso específico aparente es:

$$Dap = \frac{Pss (g)}{Vt (cm^3)} \dots (8)$$

Dap: densidad aparente, en g/cm^3

Pss: peso suelo seco, en g

Vt: volumen total, en cm^3

4.4 Necesidades hídricas

4.4.1 Evapotranspiración real (ETR)

Para determinar la Evapotranspiración real (Etr) se calculó la Evapotranspiración potencial (Eto) a través del software Cropwat 8,0 que pertenece a la FAO, para ello se utilizó la base de información del Climwat, está posee la información de distintas estaciones climatológicas en todo el mundo, para el presente estudio se asignó los datos atmosféricos de la estación meteorológica más cercana, que luego fueron trasladados al software Cropwat con el propósito de adquirir el valor promedio de la Eto, finalmente a través de la Ecuación 9, se alcanzó el valor de la Evaporación real.

$$Etr = Eto * Kc \dots (9)$$

Etr: Evapotranspiración real (mm/día)

Eto: Evapotranspiración potencial (mm/día)

Kc: Coeficiente del cultivo

Con los parámetros como capacidad de campo, punto de marchitez permanente, peso específico, evapotranspiración real, eficiencia, se procedió a determinar la lámina de riego que se debe aplicar al suelo, así como todo lo referente para llevar a cabo el diseño agronómico.

4.5 Diseño del sistema de riego por goteo

4.5.1 Diseño agronómico

Inicialmente, se seleccionó la manguera de goteo, luego se determinó el porcentaje de suelo humedecido (PAR). El valor del porcentaje de suelo humedecido (PAR) para el cultivo de chile dulce se encontró utilizando el Anexo 4, para ello era necesario conocer el caudal del gotero, el tipo de textura, el espaciamiento entre goteros y finalmente se asignó el espaciamiento entre laterales.

En cuanto al porcentaje de suelo humedecido (PAR) para el Chayote, se utilizó laterales con goteros alrededor del árbol, donde la distancia entre los puntos de emisión (Sep), debe ser igual al valor de espaciamiento entre goteros recomendado en el Anexo 4 para determinada descarga de gotero y tipo de suelo y a través de la Ecuación 10.

$$PAR = \frac{(100 \times N \times Sep \times Sw)}{(St \times Sr)} \dots (10)$$

Donde:

N: Número de puntos de emisión.

Sw: Espaciamiento entre laterales que se tendría para una determinada descarga y tipo de suelo que de un PAR de 100%.

St: Espaciamiento entre plantas.

Se calculó la lámina neta con la Ecuación 11, tomando los valores obtenidos de capacidad de campo, punto de marchitez permanente y peso específico del suelo mediante las ecuaciones 5, 6, 7 y 8, para determinar el consumo del cultivo.

$$Ln = \left(\frac{CC-PMP}{100}\right) * Prof * Pesp * Agot * PAR \dots (11)$$

Donde:

Ln: Lámina neta (mm)

CC: Capacidad de campo (%)

PMP: Punto de marchitez permanente (%)

Prof: Profundidad radicular del cultivo (mm)

Pesp: Peso específico (g/cm^3)

Ag: Agotamiento (%)

- **Frecuencia de riego (Fr)**

Con la evapotranspiración real (ETR) y lámina neta se estableció la Frecuencia de riego (Fr), utilizando la Ecuación 12.

$$Fr = \frac{Ln}{Etr} \dots (12)$$

Donde:

Fr: Frecuencia de riego (días)

Ln: Lámina neta (mm)

Etr: Evapotranspiración real (mm/día)

En caso de que la frecuencia de riego genera un número diferente de un número entero se debe redondear y recalcular nuevamente la lámina neta a partir de la evaporación real de goteo y la frecuencia de riego mediante la Ecuación 13.

$$Lnr = Fr * Etrg \dots (13)$$

Donde:

Ln: Lámina neta real (mm)

Fr: Frecuencia de riego (días)

Etrg: Evapotranspiración real para riego por goteo (mm/día)

Para determinar la eficiencia de aplicación para goteo, se utilizó la Ecuación 14.

$$Ef = C u * Tr \dots (14)$$

Donde:

Ef: eficiencia de aplicación

Cu: Coeficiente de uniformidad

Tr: Relación de transpiración

El coeficiente de uniformidad es un valor característico de cada manguera brindado por el fabricante, mientras que para determinar la relación de transpiración se utilizó el Anexo 6 con la textura media y la profundidad radicular utilizada.

- **Lámina bruta (Lb)**

Transformado el valor de lámina neta real se determinó la lámina bruta, para eso se utilizó la Ecuación 15.

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

Donde:

Lb: Lámina bruta (mm)

Lnr: Lámina neta recalculada (mm)

Ef: Eficiencia de aplicación (%)

- **Tiempo de riego**

Para determinar el tiempo de riego se utilizó la Ecuación 16.

$$Tr = \frac{Lb * A}{N^{\circ} g * Qgot} \dots (16)$$

Donde:

Tr: Tiempo de riego (h)

A: Área de cultivo que se está humedeciendo. (Es el espaciamiento entre plantas e hileras (m^2))

Lb: Lámina bruta (mm)

N° g: Número de goteros

Qgot: Caudal del gotero (l/h)

- **Número máximo de operaciones**

Para determinar el número máximo de operaciones se utilizó la Ecuación 17.

$$N^{\circ} = \frac{Fr *}{Tr} \dots (17)$$

Donde:

N°: máximo número de operaciones en que se divide el área.

Fr: Frecuencia de riego (días)

Tr: Tiempo de riego (horas)

- **Número de divisiones a regar por día**

Para determinar el número de divisiones a regar por día se utilizó la Ecuación 18.

$$N^{\circ} \text{ dpor día} = \frac{N^{\circ}}{Fr} \dots (18)$$

Donde:

N°dpor día: número de divisiones por día

N°: máximo número de operaciones en que se divide el área

Fr: Frecuencia de riego (días)

- **Horas totales de riego por día**

Para determinar las horas totales de riego por día se utilizó la Ecuación 19.

$$\text{Htr} = (N^{\circ} \text{ dpor día}) * \text{Tr} \dots (19)$$

Donde:

Htr: Horas totales de riego por día

N°dpor día: número de divisiones por día

Tr: Tiempo de riego (horas)

- **Caudal del sistema**

Se calculó el caudal de sistema con la Ecuación 20 para el cultivo de chile dulce.

$$Q \text{ sistema} = \frac{\text{Área total} * 10}{\text{EspH}} * Q_{\text{lineal}} \dots (20)$$

Donde:

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

EspH: Espaciamiento entre hileras (m)

Qlineal: Caudal por unidad lineal (l/h por cada)

Área total: El área del terreno (hectárea)

Se calculó el caudal de sistema con la Ecuación 21 para el cultivo de chayote.

$$Q \text{ sistema} = \frac{\left(\frac{\text{Área total}}{\text{EspH} * \text{EspP}}\right) * q_{\text{gotero}}}{1000} \dots (21)$$

Donde:

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

EspH: Espaciamiento entre hileras (m)

EspP: Espaciamiento entre plantas (m)

Área total: El área del terreno (hectareas)

q gotero: Caudal del gotero (l/h)

4.5.2 Diseño Hidráulico

Para el área cultivada con chile dulce se decidió utilizar en los laterales, mangueras con goteros autocompensados incorporados, el diámetro interno real y el caudal de la manguera se encuentra establecida por los fabricantes. En cuanto al área destinada al cultivo de chayote, se seleccionó goteros autocompensados, luego se procedió a calcular el número de orificios por lateral mediante la Ecuación 22.

$$N^{\circ} \text{orf} = \frac{L \text{ lat}}{\text{EspP}} 20 \text{ orificios} \dots (22)$$

Donde:

N°orf: Número de orificios

L lat: Longitud del lateral total (m)

EspP: Espaciamiento entre plantas (m)

Con la cantidad de goteros obtenida se procedió a calcular la longitud real del lateral, con la Ecuación 23.

$$L_{\text{real}} = (N^{\circ} \text{orf} - 0,5) * \text{EspP} \dots (23)$$

N°orf: Número de orificios

Lreal: Longitud real del lateral total (m)

EspP: Espaciamiento entre plantas (m)

Para calcular el caudal del lateral, se utilizó la Ecuación 24.

$$Q_{lateral} = (N^{\circ}g * Qg * N^{\circ}Orf) / 1000 \dots (24)$$

Donde:

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

Qg: Caudal del gotero (l/h)

N^og: Número de goteros

N^oorf: Número de orificios

El número total de laterales del diseño se obtuvo a través de la Ecuación 25.

$$N^{\circ} laterales = \frac{Lm}{Esp Lat} \dots (25)$$

Donde:

N^o laterales: Número de laterales

Lm: Longitud de la múltiple (m)

Esp. Lat: Espaciamiento entre laterales (m)

El número de orificios totales del sistema fue obtenido a través de la Ecuación 26

$$N^{\circ}g = N^{\circ}orf totales * N^{\circ}gp \dots (26)$$

Donde:

N^og: Numero de goteros del sistema

N^oorf totales: Número de orificios totales

N^ogp: Número de goteros por planta

Se calculó el factor de corrección (F), para obtener las pérdidas primarias. Se utilizó la ecuación para cuando la distancia desde la entrada del lateral hasta el primer gotero es menor de la mitad del espaciamiento entre goteros, se utilizó la Ecuación 27.

$$F = N * \left(\frac{\frac{1}{m+1} + \frac{1}{2*N} + \frac{\sqrt{m-1}}{6N^2} - 1}{N-1} \right) \dots (27)$$

Donde:

F: Factor F de salidas

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

N: Número de salidas

Nota:

Solo para el sistema de riego por goteo para el cultivo de chayote se calculó las perdidas primarias en el lateral, por lo que a partir de la Ecuación 29 se mantiene la metodología del diseño hidráulico para ambos cultivos.

- **Tubería lateral**

Se estableció un diámetro real para la tubería lateral, por lo que se determinó la cantidad de salidas, el caudal a transportar, se calculó el factor de corrección utilizando la Ecuación 27, para así obtener las pérdidas primarias en el lateral, esto con el diámetro establecido a través de la Ecuación 28 conocida como Hazel Williams.

$$Hf \text{ lat} = 1,131 * 10^9 * \frac{Q^{1,852}}{C} * D^{-4.872} * L * F \dots (28)$$

Donde:

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

Q: Caudal del lateral (m³/h)

D: Diámetro de la tubería (mm)

C: Coeficiente de Hazen Williams según el tipo de material

L: Longitud de la tubería (m)

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

- **Tubería múltiple**

Para obtener las pérdidas primarias en la múltiple, se estableció un diámetro real, para el cual se determinó la cantidad de salidas, el caudal a transportar, se calculó el factor de corrección F, utilizando la Ecuación 27, para ello se utilizó la Ecuación 29.

$$Hf \text{ mul} = 1,131 * 10^9 * \frac{Q^{1,852}}{C} * D^{-4.872} * L * F \dots (29)$$

Donde:

Hf mul: Pérdidas primarias en la múltiple (m.c.a.)

Q: Caudal del lateral (m³/h)

D: Diámetro de la tubería (mm)

C: Coeficiente de Hazen Williams según el tipo de material

L: Longitud de la tubería (m)

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

- **Tubería principal**

Para diseñar la tubería principal se definió el caudal a trasladar, se averiguó el diámetro utilizando el método de carga unitaria, el cual consiste, en que cada 100 metros de conducción, el diámetro apropiado proporcionará a la tubería una pérdida de 2,3 mca, tal como se observa en la Ecuación 30. Además, al ser una tubería para conducción, el Factor de corrección (F) es igual a uno.

$$\text{Diámetro tp} = \left[\frac{1,131 \cdot 10^9 \cdot Q^{1,852} \cdot L}{0,023 \cdot C^{1,542}} \right]^{\frac{1}{4,872}} \dots (30)$$

Donde:

Q: Caudal del lateral (m³/h)

Diámetro tp: Diámetro teórico de la tubería principal (mm)

C: Coeficiente de Hazen Williams según el tipo de material

L: Longitud de la tubería (m)

Por último, se demostró la velocidad de la tubería con la Ecuación 31, esto con el propósito de comprobar que la velocidad se sitúa en el rango de velocidades permisibles, el cual corresponde del [0,6-3] m/s en redes de distribución para evitar golpes de ariete de acuerdo con el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados, (2017).

$$V = \frac{Q}{\left(\pi \cdot \frac{D^4}{4}\right)} \dots (31)$$

Donde:

V: Velocidad (m/s)

Q: Caudal (m

D: Diámetro de la tubería (mm)

- **Análisis de presiones**

Para el análisis de las presiones, se aseguró suplir la presión mínima del gotero más lejano y crítico, en cuanto altitud. Para la presión en la entrada de válvula del sistema se utilizó la diferencia de altura y la pérdida por fricción del múltiple, a través de la Ecuación 32.

$$P_m = P_{el} + 0,77 * H_{fm} + \frac{\Delta Z}{2} \dots (32)$$

Donde:

P_m : Presión en la múltiple (mca)

P_{el} : Presión en la entrada del lateral (mca)

H_{fm} : pérdidas en el lateral y en la múltiple (mca)

ΔZ : Diferencia de altura total (m)

Se calculó la presión distal para la condición más crítica usando la Ecuación 33.

$$P_d = P_o - 0,23 * H_{fm} + \frac{\Delta Z}{2} \dots (33)$$

Donde:

P_o : Presión de operación del gotero (mca)

H_{fm} : pérdidas en lateral (mca)

ΔZ : Diferencia de altura total (m)

P_d : Presión distal (mca)

- **Carga dinámica total de la bomba**

La carga dinámica total de la bomba contempla todas las pérdidas a lo largo del sistema de tuberías, y su valor se obtiene por medio de la siguiente Ecuación.

$$CDT = P_m + 0,05 * (P_{el} + H_{fp}) + H_{fp} \pm \Delta Z + H_{f \text{ filtro}} \dots (34)$$

Donde:

CDT: Carga dinámica total (mca)

P_m : Presión a la entrada de la múltiple (mca)

P_{el} : Presión a la entrada del lateral (mca)

Hf p: Pérdidas en la tubería principal (mca)

ΔZ : Diferencia de altura a lo largo de la múltiple (+ si sube, - si baja)

Hf filtro: Pérdidas debido al sistema de filtrado (mca)

Nota: El valor de $0,05*(Pe1+Hfp)$ representa las pérdidas secundarias.

● Cálculo de la potencia de la bomba

Con la carga dinámica total, el caudal del sistema, el factor de seguridad y con una eficiencia de la bomba del 55 %, a través de la Ecuación 35, se determinó la potencia de la bomba.

$$HP = \frac{Q*CDT}{Ef*270} \dots(35)$$

Donde:

HP: Potencia de la bomba

Q: Caudal (m³/h)

CDT: Carga dinámica total (mca)

Ef: Eficiencia de la bomba

4.6 Análisis Económico

El desarrollo del análisis económico se llevó a cabo con la herramienta Excel. Con el fin de restar los egresos de los ingresos generados en cada periodo, y conocer así los flujos efectivos para finalmente obtener los indicadores económicos.

Se analizó los indicadores financieros como el Valor actual neto (VAN), la tasa interna de retorno (TIR) y el periodo de recuperación. El VAN es un método que se utiliza para valorar las diferentes opciones de inversión, considerando los cobros y pagos de este, mediante el VAN se establecen medidas de rentabilidad. Se obtuvieron los siguientes parámetros:

1. Inversión inicial: comprende los desembolsos que se realizan al inicio del proyecto, tanto en activos como en capital de trabajo.
2. Flujo de caja: son los flujos que resultan de restar los egresos de los ingresos generados en cada periodo.

3. Horizonte de planeamiento: es el número de años para los cuales se proyectan los flujos de caja.

Finalmente, para obtener el valor actual neto se acudió a Excel que utiliza la función =VAN (*tasa de descuento; matriz que contiene el flujo de fondos futuros*) + inversión inicial, que corresponde a la Ecuación 36. Para el cálculo del VAN se utilizó los saldos mensuales del proyecto en la etapa de funcionamiento y la inversión inicial.

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+k)^t} - CF_0 \dots (36)$$

Donde:

CF_t: Valor presente de las entradas de efectivo

CF₀: inversión inicial

k: tasa equivalente al costo de capital de la empresa (costo de oportunidad, puede usarse la inflación)

i: Tasa de interés aplicada

t: tiempo

Para la Tasa Interna de Retorno (TIR), se utilizó la función TIR de la herramienta Excel, este es un proceso de iteraciones sucesivas, que corresponde a la Ecuación 37. Para el cálculo del TIR usó los saldos mensuales del proyecto en la etapa de funcionamiento el mes cero.

$$0 = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+TIR)^t} - CF_0 \dots (37)$$

Para el cálculo de la TREMA se utiliza la Ecuación 38.

$$TREMA = i + \% \text{ Riesgo} \dots (38)$$

Donde:

i: Corresponde al costo de oportunidad del capital %, (Inflación).

%Riesgo: Corresponde al riesgo del proyecto debido a la variabilidad de los retornos de la inversión por cambios en las principales variables.

Sin embargo, para este documento se estableció una Tasa de Rendimiento mínima atractiva del 15%, ya que, de acuerdo con la entrevista realizada al señor Carlos Robles Rojas, director de

la Escuela de Ingeniería en Agronegocios, detallo que para negocios de carácter agrícola el valor de la TREMA se encuentra dentro del 10% a 15% en Costa Rica.

El *payback* o plazo de recuperación es un criterio para evaluar inversiones, que se define como el periodo de tiempo requerido para recuperar el capital inicial de una inversión. Es otro elemento del análisis económico que permite decidir al embarcarse en un proyecto o no. Si los flujos de caja son iguales todos los años la Ecuación es la siguiente.

$$\textit{Payback} = \frac{I_0}{F} \dots (38)$$

Donde:

Payback: *payback* o plazo de recuperación

I_0 : es la inversión inicial del proyecto

F : es el valor de los flujos de caja

4.7 Análisis Ambiental

Para el análisis ambiental se utilizó la Plataforma Digital para tramitar formularios D1 y D2, de la Secretaría Técnica Nacional Ambiental de Costa Rica (SETENA), este formulario se halla en línea a través del enlace <https://www.setena.go.cr/formularios-d1-d2/>, esta herramienta permite obtener el tipo de evaluación de impacto ambiental necesaria y adecuada. El documento de evaluación ambiental D-1 se encuentra organizado por los siguientes apartados:

1. Introducción.
2. Información General, como Consumo/Afectación (agua, suelo, energía).
3. Impacto en aire, agua, suelo y humano.
4. Otros riesgos.
5. Criterios de Ponderación:

Este se encuentra conformado por el valor preliminar de SIA, el valor de SIA ajustado por regulaciones (SIA_R), y la clasificación final del SIA, para finalmente obtener la clasificación en función de la clasificación final y establecer el procedimiento en SETENA, según la ruta de decisión, en el Cuadro 3 se detalla los criterios de ponderación establecidos por SETENA (s.f.).

Cuadro 3. Clasificación del proyecto en función de los criterios de ponderación establecido por SETENA para el D1.

Tipo	Nota	Procedimiento
A	Mayor a 1000	Estudio de Impacto Ambiental
B1	Mayor a 300 y menor a 1000	Pronóstico y Plan de Gestión Ambiental
B2	Menor a 300	Declaración Jurada de Compromisos Ambientales

4.8 Análisis social

Para conocer cómo la propuesta afecta socialmente, se investigó sobre posibles herramientas para cuantificar los efectos causados. Se desarrolló la aplicación de Cuestionario para la Identificación y Evaluación de Impactos Sociales a través de la Metodología para la Evaluación de Impacto Social, la cual es apoyada por la Cooperación Alemana al Desarrollo Sustentable en México, y desarrollado por la empresa GreenMomentum S.A.P.I de C.V.

La Matriz deberá realizarse de acuerdo con las instrucciones del Cuestionario para la Identificación y Evaluación de Impactos Sociales incluido en la Metodología para la Evaluación de Impactos Sociales y ser congruente con el proyecto que se propone. A continuación, se presenta las instrucciones que se deben seguir para su implementación:

- Los aspectos y los indicadores que definen su alcance se encuentran numerados de manera progresiva a efecto de facilitar su identificación. Dicha numeración se utiliza en el Cuestionario.
- La aplicación de este cuestionario por el Solicitante debe ser consistente con la información técnica del proyecto presentada en los formatos de solicitud, con el fin de representar correctamente los posibles impactos y el alcance del área de influencia.
- La herramienta genera una descripción de los Impactos Negativos y Cobeneficios del proyecto, así como las medidas de mitigación necesarias.
- Las respuestas a este cuestionario deben llenarse en la Matriz de Identificación y Evaluación de Impactos Sociales.

- Para cada aspecto es necesario evaluar si los indicadores específicos son impactados negativa o positivamente. En caso el aspecto o indicador no sean aplicables al Proyecto o no existan impactos potenciales, debe seleccionarse la opción N/A en Tipo de Impacto.
- Para el indicador que impacta de manera negativa debe seleccionarse la opción Impacto Negativo en Tipo de Impacto, describirse el Impacto Negativo y la Medida de Mitigación que se adoptará para mitigar dicho Impacto Negativo.
- Para indicador que impacta positivamente debe seleccionarse la opción Co-beneficio en Tipo de Impacto y describirse el Co-beneficio. En caso de que un proyecto llegue a impactar negativamente y tener co-beneficios para un mismo aspecto, es necesario especificar ambas situaciones.
- Los Proyectos que no consistan única y exclusivamente en la realización de un estudio, deberán realizar el Plan de Monitoreo de Impactos Sociales con base en los Co-beneficios, Impactos Negativos y sus correspondientes Medidas de Mitigación descritos en la Matriz de Identificación y Evaluación de Impactos Sociales.

5 RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADO

5.1 Ubicación del lugar

El proyecto se localiza en el distrito de Santiago, cuyo cantón es Paraíso de la provincia de Cartago. En la Figura 9 se muestra el mapa de ubicación del área donde se desarrolló el sistema de riego por goteo dirigido al cultivo de chile dulce. Mientras que en la Figura 10, se observa la ubicación del área del cultivo de chayote, en la cual se llevó a cabo, el diseño de un sistema de riego por goteo.

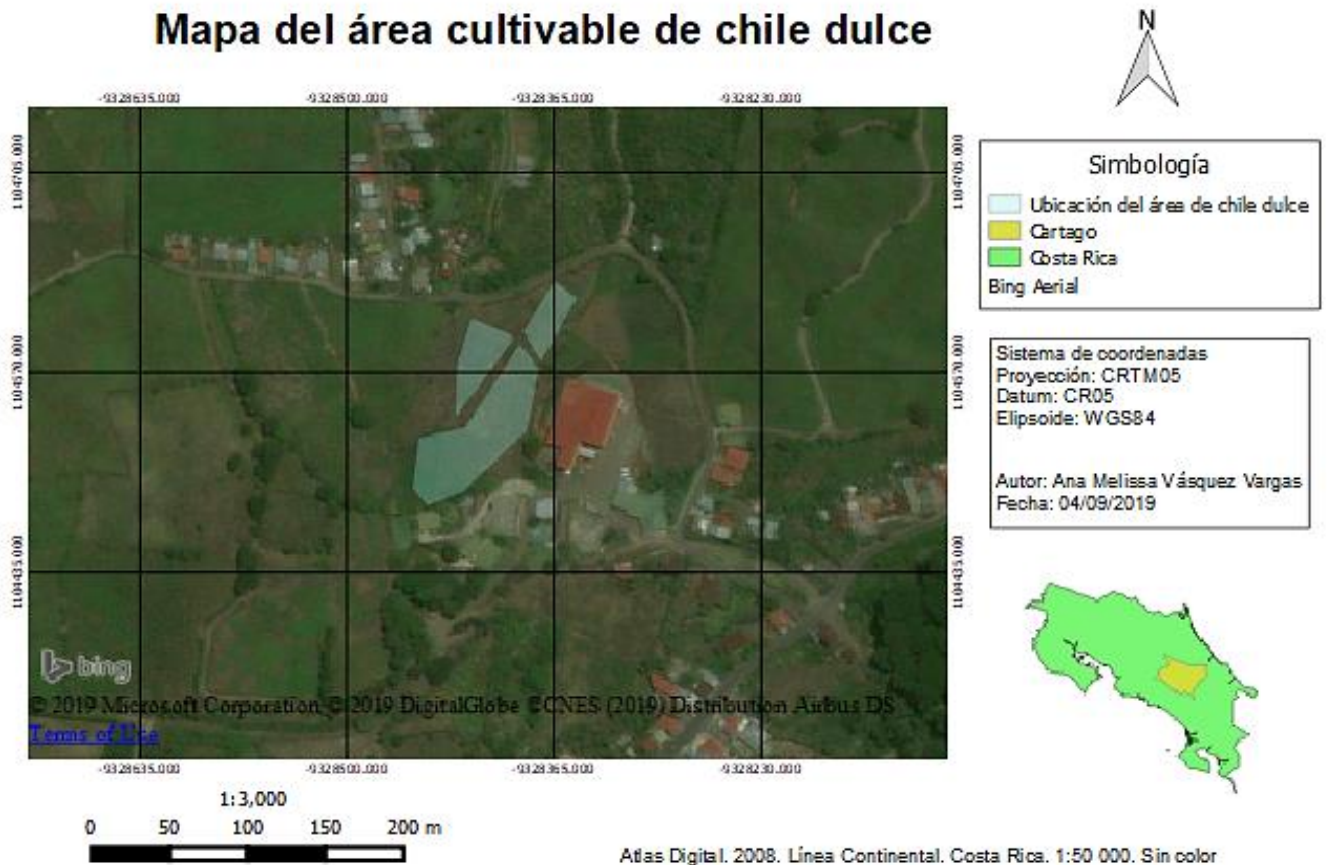


Figura 9. Ubicación del proyecto destinado a chile dulce. Fuente: Propia.

Elaborado con: Quantum GIS.

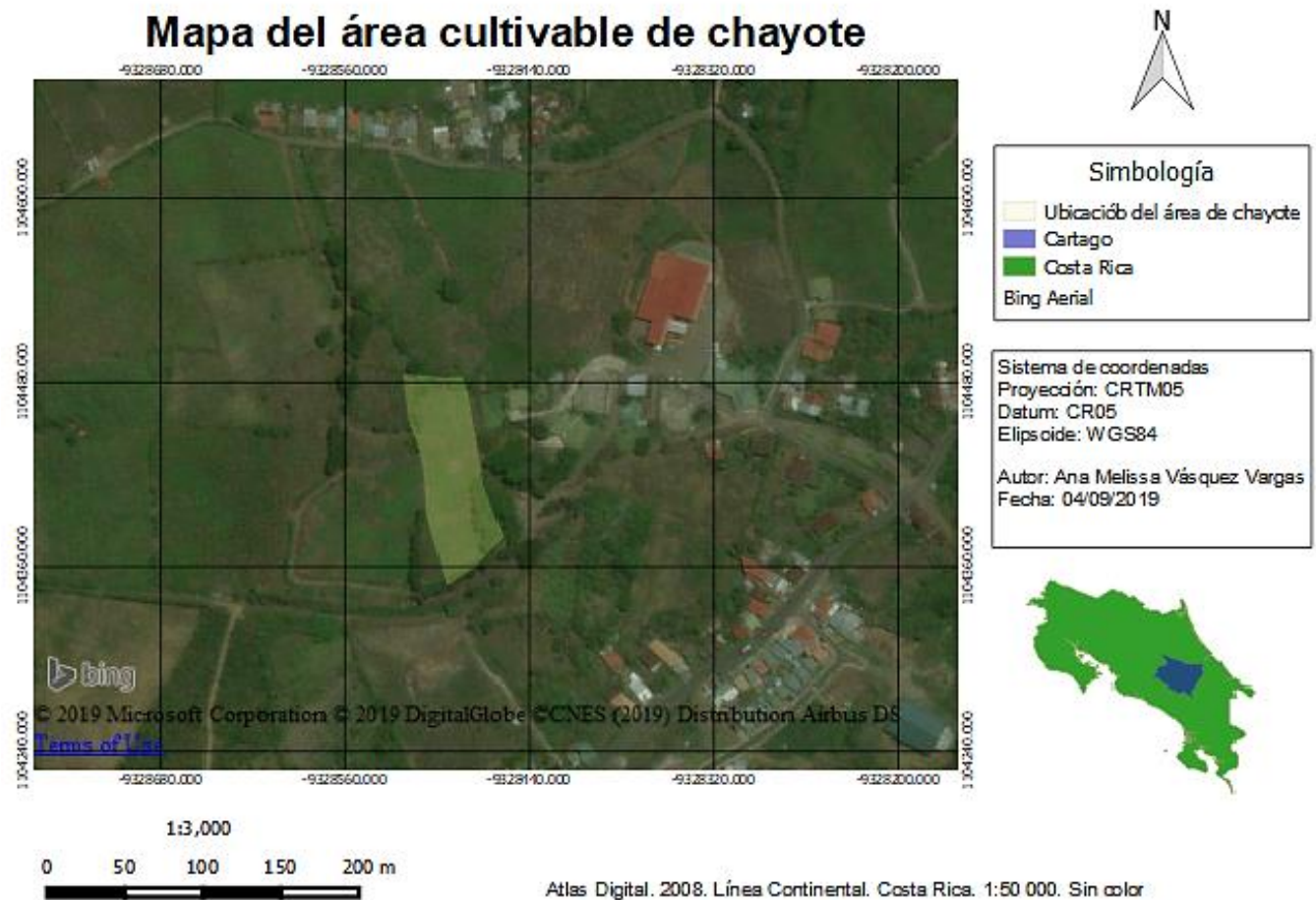


Figura 10. Ubicación del proyecto de chayote. Fuente: Propia.

Elaborado con: Quantum GIS.

5.2 Estudio topográfico

Se analizó los datos del levantamiento topográfico a través de Civil 3D, permitiendo elaborar un plano de curvas de nivel, estas a cada metro, el cual facilitó comprender el comportamiento de la altura en la zona de estudio. En la Figura 11 se observa las curvas de nivel del área cultivada con chile dulce, mientras que en la Figura 12 se distingue la inclinación que presenta el terreno. En la Figura 13 y 14 se expone la misma información, pero referente al cultivo de chayote. Esta información es necesaria para establecer el diseño del sistema de riego a implementar en cada sitio.

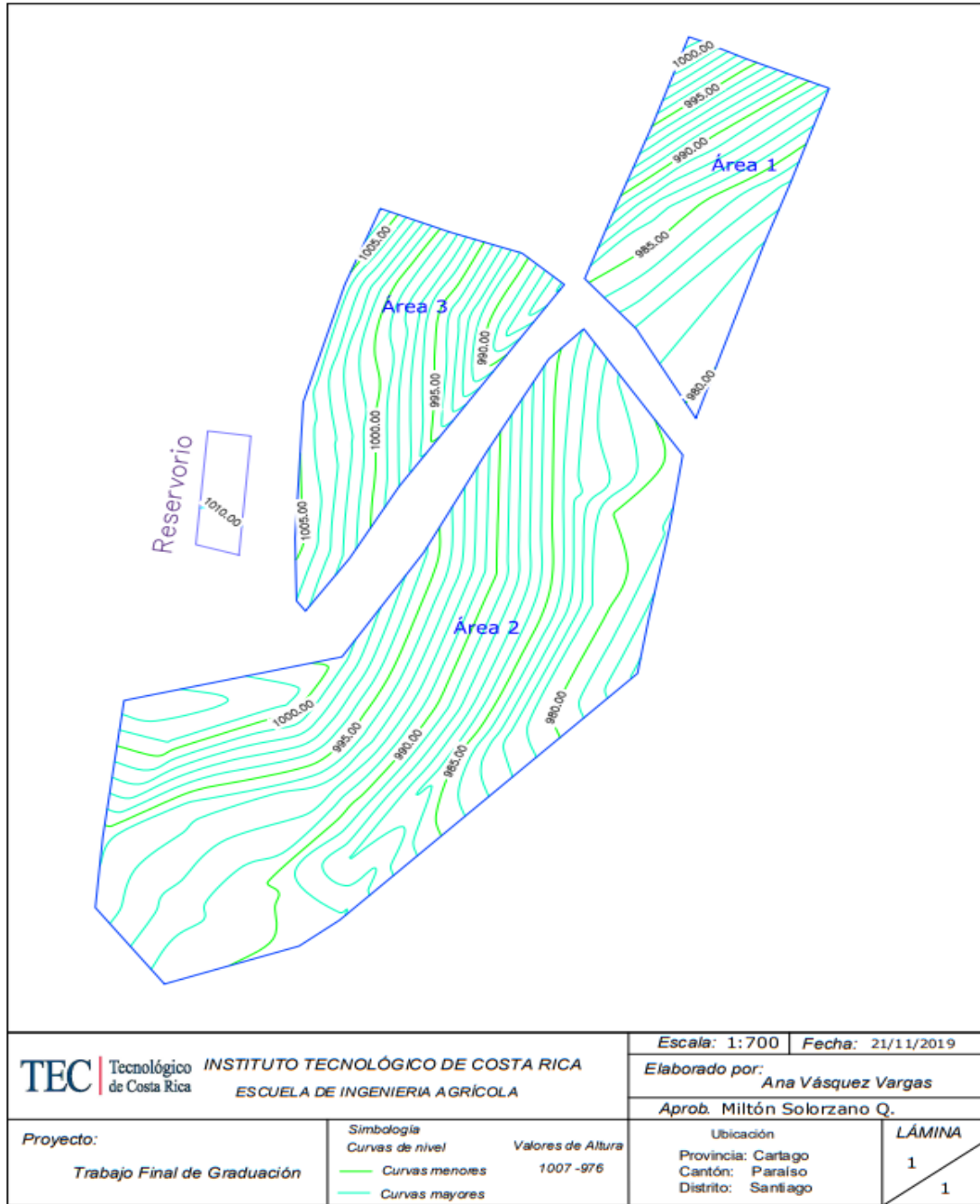


Figura 11. Plano de curvas de nivel del área del cultivo de chile dulce. Fuente: Propia.

Elaborado con: Civil 3D 2018.

El área destinada para chile dulce cuenta con una elevada pedregosidad, y es sumamente quebrada, por lo que este terreno presenta altas pendientes como se aprecia en la Figura 13, la diferencia de altura va desde un 10 % hasta un 76%, de acuerdo con Gamboa (2005), para lugares con gran diferencia de presión producto del desnivel topográfico es adecuado emplear goteros

autocompensados, para sostener el caudal de manera constante. En cuanto al área experimental de chayote, esta presenta también una alta condición de pedregosidad y variante de desnivel, por lo que de igual manera es oportuno implementar goteros autocompensados. En la Figura 15, se aprecia el plano de pendiente del área del cultivo de chayote.

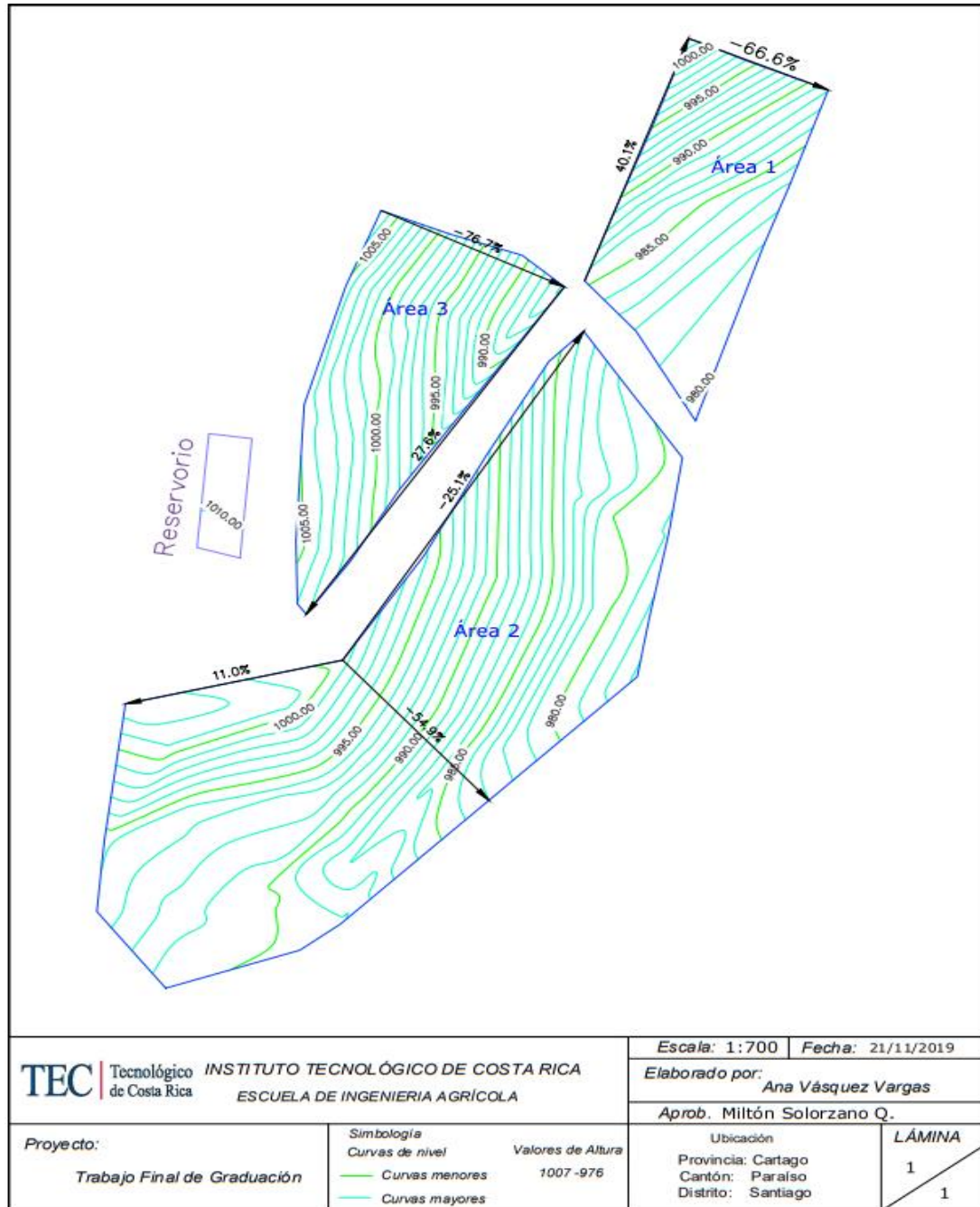


Figura 12. Plano de pendiente del área del cultivo de chile dulce. Fuente: Propia.

Elaborado con: Civil 3D 2018.

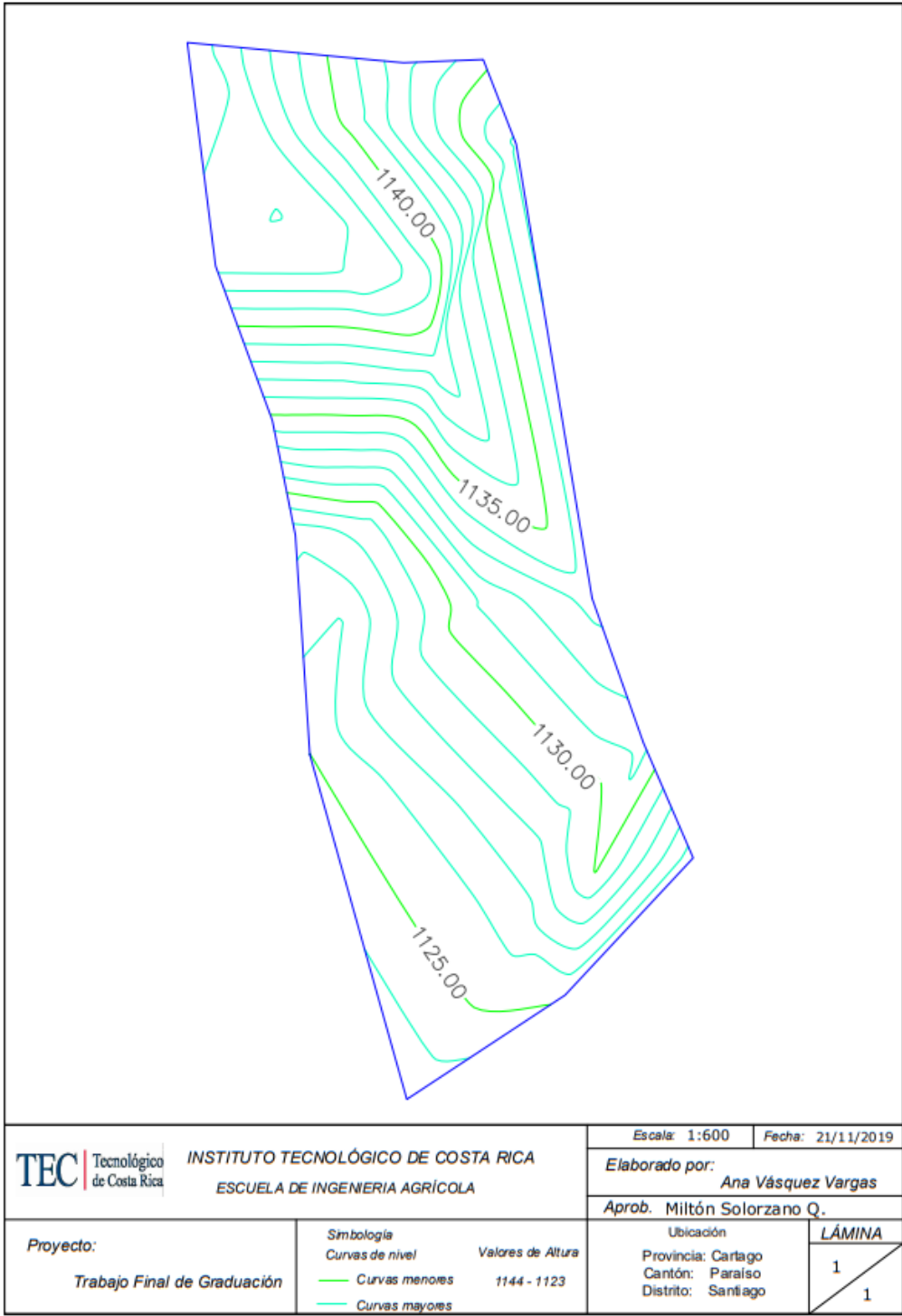


Figura 13. Plano de curvas de nivel del área del cultivo de chayote. Fuente: Propia.

Elaborado con: Civil 3D 2018.



Figura 14. Plano de pendiente del área del cultivo de chayote. Fuente: Propia.

Elaborado con: Civil 3D 2018.

5.3 Estudio Suelos

Debido al alto grado de pedregosidad y pendiente, el propietario optó por crear camellones para sembrar chile dulce, los cuales fueron elaborados antes de tomar las muestras para los análisis físicos del suelo.

El área para el cultivo de chayote se hallaba con un sembradío, lo que permitió visualizar cómo se distribuye las raíces, el terreno es bastante irregular, por lo que se recolectaron muestras de manera representativa. En el Cuadro 4 se observa la información para cada área donde se encuentra el chile dulce, de igual manera para el área experimental del cultivo de chayote, para ello se aplicó la ecuación 1, 2, 3 y 4.

Según la FAO citado por Cevallos (2008), la profundidad de raíz efectiva para chile dulce se encuentra dentro del rango de 0,5 a 1,0 metro. Mientras que Álvarez y Pino (s.f.), señalan que el mayor volumen de raíces se concentra en los primeros 20 a 30 cm de profundidad, ya que el chile dulce crece en camellones y presencia de pedregosidad se estableció el valor extremo inferior de profundidad efectiva; mientras que para el chayote se estableció una profundidad de 0,8 m, de igual manera tomando en cuenta a las condiciones de pedregosidad.

Los valores de densidad aparente alcanzados eran bajos, por consiguiente se optó por realizar una segunda prueba, logrando un aumento mínimo, de acuerdo con Núñez (1996), para suelos sueltos, agregados y porosos, la densidad aparente tiende a ser baja, lo cual concuerda con el estado que presentaban los camellones, ya que al preparar el terreno se hallaba suelto, y otro aspecto adicional es que esta área se ubicada en una ladera, por otra parte en el área del cultivo de chayote se encontró un alto contenido de residuos de cosechas anteriores, afectando su valor. Para descubrir la textura de cada área se utilizó el Anexo 1.

Cuadro 4. Datos encontrados del análisis físico del suelo.

Cultivo	Chile dulce (<i>Capsicum annum</i>)			Chayote (<i>Sechium edule</i>)
	A1	A2	A3	Chayote
Nomenclatura del Área	A1	A2	A3	Chayote
Prof. de raíces (mm)	500,00	500,00	500,00	800,00
Densidad aparente g/cm ³	1,04	0,85	0,91	0,80
Textura arena (%)	59,06	60,28	61,83	49,06
Textura limos (%)	13,40	11,20	11,10	27,50
Textura arcilla (%)	27,54	28,32	27,07	23,44
Textura	Franco arcillo arenoso	Franco arcillo arenoso	Franco arcillo arenoso	Franco arcillo arenoso

5.3.1 Evapotranspiración real (ETR)

El valor de la evapotranspiración se obtuvo a través del software Cropwat y Climwat de la FAO, para este se utilizó la estación meteorológica más cercana, dando como resultado Pacayas, en el Anexo 2 se destalla la información, el programa arroja un valor promedio de la evaporación el cual fue 2,70 mm/día.

Para calcular la evapotranspiración real se requirió del Kc, la profundidad radicular y agotamiento permisible de acuerdo con lo indicado por la FAO citado por (Cevallos, 2008).

Es importante mencionar, que para el desarrollo de los cálculos se empleó la etapa media del coeficiente del cultivo, sin embargo, para el cultivo de chayote se utilizó la información de la calabaza, puesto que comparten el orden y familia a nivel taxonómico, además la FAO brinda toda la información necesaria para desarrollar el diseño agronómico.

En el Anexo 3 se aprecia los requerimientos del chile dulce y de la calabaza. En el Cuadro 4 se dispone de los datos necesarios para el diseño, a través de la Ecuación 9 se alcanzó el valor de la ETR en mm/día para cada cultivo.

Cuadro 5. Datos del coeficiente del cultivo (Kc) y evapotranspiración real (ETR) para el diseño agronómico de los diferentes cultivos.

Cultivo	Kc	Etr (mm/día)
Chile dulce	1,05	2,84
Chayote	1,00	2,70

5.4 Diseño del sistema de riego por goteo para el área cultivada con chile dulce

5.4.1 Cálculo del PAR

Colocando una sola línea de siembra y a través del Anexo 4 se determinó el Porcentaje del área humedecido en el riego por goteo. Se utilizó el caudal del gotero de 1 litro por hora, la textura del suelo media, el espaciamiento entre laterales de 1,2 m, generando un PAR de 25 %, con un espaciamiento entre goteros de 0,2 m. Posteriormente, se llevó a cabo la elección de la manguera, en el Cuadro 6, se especifica los aspectos de fabricación. La manguera de riego posee goteros autocompensados integrados a espaciamiento establecidos, con el fin de ajustarse a la topografía irregular del terreno, por consiguiente, garantizar un caudal en un rango de presión. En el Anexo 5, se muestra las características de la manguera seleccionada, es esencial indicar que el cálculo del PAR es el mismo para todas las áreas cultivadas con chile dulce.

Cuadro 6. Características de la manguera con goteos autocompensados integrados

Marca	UNIRAM CNL 16010
Diámetro interno (mm)	14,20
Presión de operación mínima (mca)	10,00
Presión de operación máxima (mca)	35,00
Caudal nominal (l/h)	1,00
Espaciamiento entre goteros (m)	0,20
Longitud (m)	500,00

Fuente: (Netafim, s.f.)

5.4.2 Diseño del sistema de riego por goteo para chile dulce área 1 A1

5.4.2.1 Diseño agronómico

A continuación, se especifica el diseño agronómico para el área 1 (A1), tal como se observa en la Figura 11, página 56. Inicialmente se examinó las características físicas del suelo, con el fin de desarrollar el diseño agronómico, en el Cuadro 7 se muestra la distancia entre plantas y el espaciamiento entre hileras, la cantidad de terreno del área, el valor de capacidad de campo (CC), el cual se obtuvo utilizando la Ecuación 5, el punto de marchitez permanente (PMP) utilizando la Ecuación 7 y la densidad aparente con la Ecuación 8, los parámetros indicados se establecieron de acuerdo a las diferentes áreas según lo establecido en la Figura 15, página 82 para chile dulce, sin embargo, la profundidad de raíces y el porcentaje de agotamiento se mantiene igual para todas.

Cuadro 7. Características físicas del suelo y distintos parámetros.

Cultivo	Chile dulce (<i>Capsicum annum</i>)
Espaciamiento entre hileras (m):	1,20
Espaciamiento entre plantas (m)	0,25
Área bruta para cultivar (m^2):	1026,00
Tipo de suelo:	media (franco)
Capacidad de campo CC (%):	40%
Punto de marchitez permanente PMP (%):	19%
Densidad Aparente (g/cm^3):	1,04
Profundidad de raíces (mm):	500
Porcentaje de agotamiento (%):	30%

De acuerdo con la FAO citado por Cevallos (2008), el agotamiento permisible para chile dulce es del 30 %. Con ayuda del Cuadro 6 y la Ecuación 11 se obtuvo la lámina neta.

$$Ln = \left(\frac{40 - 19}{100}\right) * 500 \text{ mm} * 1,04 \text{ g/cc} * 0,30 * 0,25 = 8,17 \text{ mm... (11)}$$

Con la evapotranspiración real (ETR) ubicada en el Cuadro 5 y la lámina neta se determinó la frecuencia de riego, mediante la Ecuación 12.

$$Fr = \frac{8,17\text{mm}}{2,84 \frac{\text{mm}}{\text{días}}} = 2,88 \text{ días... (12)}$$

Este parámetro se redondeó al valor próximo, por ende, la frecuencia de riego real fue de 3 días, por lo tanto, se realizó una corrección de la lámina neta, dando origen a la lámina neta real, para ello se utilizó la Ecuación 13.

$$Lnr = 3 \text{ días} * 2,84 \frac{\text{mm}}{\text{días}} = 8,51 \text{ mm... (13)}$$

Para conseguir el valor de la eficiencia de riego se utilizó la Ecuación 14, la cual se requirió de un porcentaje de coeficiente de uniformidad (CU) y un valor de relación de transpiración (TR), en el Anexo 6 se encuentra la información de la relación de transpiración con base en, la profundidad radicular y textura del suelo. De acuerdo con Villalobos (2018), el coeficiente de uniformidad se puede estimar en un valor superior o igual al 80%, por lo que se asumió un valor del 90%, mientras que, para la TR, se calculó de acuerdo con la profundidad de raíces y una textura media dando como resultado 0,95.

$$Ef = 90\% * 0,95 = 86\% \dots (14)$$

Posteriormente, se obtuvo la lámina bruta utilizando la Ecuación 15.

$$Lb = \frac{8,51\text{mm}}{86\%} = 9,95 \text{ mm ... (15)}$$

Para calcular el tiempo de riego se utilizó la Ecuación 16, se requirió de la lámina bruta, el espaciamiento entre plantas de 0,25 m, espaciamiento entre goteros de 0,20 m y entre hileras de 1,2 m, entre el caudal del gotero, dando como resultado un tiempo de riego de 2 h y 23 min.

El tiempo de riego para del cultivo de chile dulce, contempló la relación espaciamientos entre plantas dividido el espaciamiento entre goteros, pues son distintas extensiones.

$$Tr = \frac{9,95\text{mm} \cdot 0,3\text{m}^2}{\left(\frac{0,25\text{m}}{0,20\text{m}}\right) \cdot 11/\text{h}} = 2,39 \text{ horas} \dots (16)$$

El número de divisiones se obtuvo a través de la Ecuación 17, el cual se redondeó al valor inferior próximo.

$$N = \frac{3}{2,39} = 1,26 \cong 1 \text{ división} \dots (17)$$

Para determinar el número de divisiones a regar por día se utilizó la Ecuación 18, dando como resultado el número de divisiones a regar por día de 1.

$$N^{\circ} \text{ dpor día} = \frac{1}{3} = 0,42 \cong 1 \dots (18)$$

Para determinar las horas totales de riego por día se utilizó la Ecuación 19.

$$Ht r = 1 \cdot 2,39 \text{ horas} = 2,39 \text{ horas} \dots (19)$$

Se calculo el caudal del sistema utilizando la Ecuación 20. Otra forma de obtener este dato es utilizar el área 1 (A1) en metros cuadrados dividida entre 1,2 m que pertenece al espaciamiento entre hileras, luego se dividió entre 0,2 m, que corresponde al espaciamiento entre goteros, por último, se aplica un factor de conversión para convertir el caudal a metros cúbicos por hora, dando como resultado un caudal de 4,28 m³/h. Finalmente, en el Cuadro 8 se muestra un resumen de los resultados alcanzados.

$$Q \text{ sistema} = \frac{0,1026 \text{ hectareas} \cdot 10}{1,2\text{m}} \cdot 5(l/h \text{ por cada metro}) = 4,28 \text{ m}^3/\text{h} \dots (20)$$

Cuadro 8. Resumen de resultados del diseño agronómico del área 1 (A1) cultivada de chile dulce

Datos	Valores
Lámina neta (mm):	8,17
Coefficiente de uniformidad de gotero:	90%
Relación de transpiración:	0,95
Eficiencia de riego (%):	86%
Evapotranspiración real (mm/día):	2,84
Frecuencia de riego calculada (días):	2,88
Frecuencia de riego real (días):	3,00
Lámina neta real recalculada LNR (mm):	8,51
Lámina bruta (mm):	9,95
Tiempo de riego (horas):	2,39
Número de divisiones:	1,00
Divisiones a regar por día:	1,00
Horas requeridas de riego por día:	2,39
Caudal del sistema (m^3/hr):	4,28

5.4.2.2 Diseño Hidráulico

Para los laterales se implementó una manguera de riego que posee goteros autocompensados integrados UNIRAM CNL 16010, por lo que no se requiere el cálculo de número de goteros, caudal y la longitud real. El número de laterales se obtuvo a través de la Ecuación 25.

$$N^{\circ} \text{ laterales} = \frac{25m}{1,2m} = 20,83 \cong 20 \text{ laterales... (25)}$$

Posterior, se realizó el trazo la tubería múltiple, para ello se seleccionó un diámetro comercial, se calculó las pérdidas primarias por fricción y la velocidad, esto para comprobar si la elección del diámetro fue la más apropiada.

Para el cálculo del Factor según el número de salidas (F) se utilizó la Ecuación 27, el valor de F pertenece a 13 salidas, la primera salida localizada a la mitad del espaciamiento entre hileras.

$$F = 13 * \left(\frac{\left(\frac{1}{1,76 + 1} + \frac{1}{2 * 13} + \frac{\sqrt{1,76 - 1}}{6 * 13^2} \right) - 1}{13 - 1} \right) = 0,38 \dots (27)$$

Por otra parte, se calculó las pérdidas por fricción en la múltiple a través de la Ecuación 29, cuyos parámetros son el factor F, el material de la tubería (polietileno 140), el caudal y la longitud de la múltiple.

$$Hf_{mul} = 1,131 * 10^9 * \frac{4,28 (m^3/hr)^{1,852}}{(140)^{1,852}} * 42,30 mm^{-4,872} * 25 m * 0,38 = 0,20 mca \dots (29)$$

Se corroboró el valor de la velocidad del flujo a través de la Ecuación 31, se obtuvo una velocidad de 0,85 m/s, esta se halla dentro de rango según lo indicado por el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (2017), quien indica que la velocidad máxima en líneas de conducción y de aducción es de 5,0 m/s y la mínima de 0,60 m/s.

$$V = \frac{\frac{42,3 m^3}{\left(\frac{h}{3600s} \right)}}{\left(\frac{\pi * \left(\frac{42,3 mm}{1000} \right)^2}{4} \right)} = 0,85 m/s \dots (31)$$

Se eligió una tubería de polietileno blando de diámetro interno de 42,3 mm, con una presión de trabajo de 4 (kg/cm²) y un diámetro nominal de 50 mm, en el Cuadro 9 se encuentra la información obtenida.

Cuadro 9. Diseño de la tubería múltiple, área 1 (A1)

Datos	Valores
Coficiente del Material	140,00
Caudal (m ³ /h)	4,28
Longitud (m)	25,00
Diámetro interno real (mm)	42,3
Factor “F” con 13 salidas, primera a la mitad de la hilera	0,38
Pérdida por fricción -Hf- (mca)	0,20
Velocidad del flujo (m/s)	0,85

En cuanto al diseño de la tubería principal, se empleó el método de carga unitaria, se utilizó la Ecuación 30, en donde el valor de F es igual a 1, por ser una tubería de conducción.

$$\text{Diámetro } tp = \left[\frac{1,131 \cdot 10^9 \cdot 4,28 \text{ m}^3 / \text{h}^{1,852} \cdot 53 \text{ m}}{1,22 \text{ m} \cdot 140^{1,542}} \right]^{\frac{1}{4,872}} = 41,55 \text{ mm} \dots (30)$$

Este método admite como pérdida de carga 2,3 m cada 100 m de longitud, por lo que la pérdida de carga es de 0,023 m/m, seguidamente se realizó el despeje del diámetro, el cual no se encontró en el mercado, por lo que se estableció un diámetro comercial, superior más cercano al calculado, resultando un diámetro interno real de 42,3 mm, con un diámetro nominal 50 mm y una presión de trabajo 4 (kg/cm²) de material polietileno blando, en el Cuadro 10 se detalla los datos alcanzados, además se corroboró el valor de la velocidad del flujo a través de la Ecuación 31, para este caso el diámetro de la tubería principal es igual al de la múltiple, por lo que la velocidad es la misma para ambas tuberías.

Cuadro 10. Diseño de la tubería principal, área 1 (A1).

Datos	Valores
Coefficiente del material	140,00
Caudal (m ³ /h)	4,28
Longitud (m)	53,00
Pérdida por fricción -Hf- (mca)	1,22
Diámetro calculado (mm)	41,55
Diámetro interno real (mm)	42,30
Pérdida real (mca)	1,12
Velocidad del flujo (m/s)	0,85

Se efectuó el cálculo de la presión en la múltiple con la Ecuación 32 y la presión distal con la Ecuación 33, a partir de la presión en la entrada del lateral de 20 mca. Se contempló las pérdidas generada por filtros. Según Pizarro (1990), en los filtros de mallas a medida que van acumulando sedimentos, la pérdida de carga crece y alcanza un valor de 4 a 6 mca, para fines de cálculo se determinó utilizar un promedio, con relación a las pérdidas secundarias se estableció un 5% de la suma de la presión de entrada y las pérdidas en la tubería principal.

$$P_m = 20 \text{ mca} + 0.77 * 0,20 \text{ mca} + \frac{16,5m}{2} = 11,90 \text{ mca} \dots (31)$$

$$P_d = 11,90 \text{ mca} - 0.23 * 0,20 \text{ mca} + \frac{16,5m}{2} = 11,95 \text{ mca} \dots (32)$$

Con las pérdidas obtenidas a lo largo del sistema de tuberías se determinó la carga dinámica total a través de la Ecuación 34.

$$CDT = 11,90 \text{ mca} + 0,05*(20 \text{ mca} + 1,12 \text{ mca}) + 1,12 \text{ mca} - 6 \text{ mca} + 5 \text{ mca} = 13,08 \text{ mca} \dots (33)$$

Por último, con la carga dinámica total, el caudal del sistema, el factor de seguridad y con una eficiencia de la bomba del 55 % se determinó la potencia de la bomba.

$$HP = \frac{4,28m^3/h * 13,08 \text{ mca}}{55\% * 270} = 0,38 \text{ HP} \dots (35)$$

En el Cuadro 11 se muestra la información necesaria para obtener la carga dinámica total y la potencia de la bomba.

Cuadro 11. Cálculo de la potencia requerida del sistema de riego por goteo para el área 1 (A1).

Presión a la entrada del lateral (Pel) (mca)	20,00
Presión Múltiple (mca)	11,90
Presión Distal (mca)	19,95
Carga Dinámica Total (mca)	13,08
Perdida (hf) del Filtro (mca)	5,00
Diferencia de nivel en la múltiple, bajando (+) (m)	16,50
Diferencia de nivel de la toma a la múltiple, bajando (-) (m)	6,00
Potencia de la bomba (HP)	0,38

Es importante mencionar que la aplicación de las ecuaciones dispuestas anteriormente solo se desarrolló para el diseño del área 1 (A1), esto con el fin de obtener una mejor comprensión del

cómo se debe aplicar e interpretar los datos obtenidos, ya que para el diseño del área 2 (A2) y área 3 (A3) se repite.

5.5 Diseño del sistema de riego por goteo para chile dulce área 2 (A2)

El área 2, se encuentra compuesta por las áreas A2a, A2b y A2c, tal como se observa en Figura 15, página 82. Este fraccionamiento fue debido a la diferencia de elevaciones y a la preparación del terreno asignado, se optó por dividir el área en tres partes distintas, según la dirección que presentaban las hileras establecidas.

Por otra parte, al desarrollar el diseño agronómico para el área 2 (A2), se obtuvo que el número de divisiones fue 3,77 sin embargo se dividió en 3 subáreas distintas de acuerdo con la dirección de las hileras establecidas en el lugar, por esta razón el caudal de cada sector se encuentra en función del Área.

5.5.1 Diseño agronómico para el área A2, integrada por (A2a, A2b y A2c)

Para el diseño agronómico del área A2, la lámina neta se obtuvo utilizando el Cuadro 12 y la Ecuación 11. Se determinó la frecuencia de riego, con la Ecuación 12. Posterior a esto, se modificó la lámina neta, aplicando la Ecuación 13, el valor de la eficiencia de riego se encontró aplicando la Ecuación 14, con la Ecuación 15 se obtuvo el valor de la lámina bruta.

Cuadro 12. Características físicas del suelo y distintos parámetros, área 2 (A2).

Cultivo	Chile dulce (<i>Capsicum annuum</i>)
Espaciamiento entre hileras (m):	1,20
Área bruta a cultivar (m²):	3688,00
Tipo de suelo:	media (franco)
Capacidad de campo CC (%):	48%
Punto de marchitez permanente PMP (%):	23%
Densidad Aparente (g/cm³):	0,85
Profundidad de raíces (mm):	600,00
Porcentaje de agotamiento (%):	30%

El tiempo de riego se obtuvo con la Ecuación 16, el número de divisiones se alcanzó con la Ecuación 17, sin embargo, debido a la irregularidad del terreno y la distribución que le asignó el dueño, se optó por dividir el terreno en tres áreas distintas, de acuerdo con el relieve. Se calculó el número de operaciones por día a través de la Ecuación 18 y horas requeridas de riego por día con la Ecuación 19. Finalmente se adquirió el caudal del sistema, el cual fue 15,37 m³/h para ello se utilizó la Ecuación 20, el Cuadro 13 especifica los resultados del diseño agronómico obtenidos.

Utilizando la herramienta Civil 3D se logró conocer el valor de las diferentes áreas que componen al área 2, el área A2a posee 1735 m², el área A2b 885 m² y el área A2c 1064 m², por consiguiente para obtener el caudal, cada área fue dividida entre 1,2 m que corresponde al espaciamiento entre hileras, y luego se dividió entre 0,2 m, que pertenece al espaciamiento entre goteros, por último, se aplicó un factor de conversión para convertir el caudal a m³/h.

Cuadro 13. Resumen de resultados del diseño agronómico del área 2 (A2) cultivada de chile dulce.

Datos	Valores
Lámina neta (mm):	8,01
Relación de transpiración:	0,95
Eficiencia de riego (%):	86%
Evapotranspiración real (mm/día):	2,84
Frecuencia de riego calculada (días):	2,83
Frecuencia de riego real (días):	3,00
Lámina neta real recalculada LNR (mm):	8,51
Lámina bruta (mm):	9,95
Tiempo de riego (horas):	2,40
Número de divisiones:	3,77
Divisiones que regar por día:	1,00
Horas requeridas de riego por día:	3,00
Caudal del sistema (m ³ /h):	15,37

5.5.2 Diseño del sistema de riego por goteo para chile dulce área 2 (A2a)

5.5.2.1 Diseño Hidráulico

Para los laterales se implementó la manguera de riego que posee goteros autocompensados integrados UNIRAM CNL 16010. En cuanto al diseño de la tubería múltiple se estableció un diámetro comercial, se calculó las pérdidas por fricción con la Ecuación 27 y 29, mientras que el valor de la velocidad del flujo se verificó a través de la Ecuación 31.

Se obtuvo como resultado una tubería de polietileno blando de un diámetro interno de 42,30 mm y un diámetro nominal de 50 mm con una presión de trabajo de 4 (kg/cm^2), en el Cuadro 14 se muestra la información obtenida.

Cuadro 14. Diseño de la tubería múltiple área 2 (A2a).

Datos	Valores
Coefficiente del Material	140,00
Caudal (m^3/h)	7,23
Longitud (m)	50,00
Diámetro interno real (mm)	42,30
Factor "F" con 21 salidas, primera a la mitad de la hilera	0,38
Pérdida por fricción -Hf- (mca)	1,06
Velocidad del flujo (m/s)	1,43

Para el diseño de la tubería principal, se empleó el método de carga unitaria, se utilizó la Ecuación 30, el método admite como pérdida de carga 2,3 m cada 100 m de longitud, por lo que la pérdida de carga es de 0,023 m/m, posterior se realizó el despeje del diámetro, sin embargo, este no se encontró en el mercado, por lo que se estableció un diámetro comercial, superior más cercano al calculado, resultado un diámetro interno real de 42,3 mm, diámetro nominal 50 mm, con una presión de trabajo 4 (kg/cm^2) de material polietileno blando, en el Cuadro 15 se detalla los datos alcanzados.

El diámetro seleccionado para la tubería principal es menor al calculado, provocando que la pérdida real sea mayor a la admisible. Una de las razones por lo que se mantuvo este diámetro es debido a que comercialmente es el máximo diámetro en polietileno blando, además, este se adapta con facilidad al relieve del terreno, el cual cabe recalcar que presenta alta pendiente y pegregosidad complicando operaciones como el zanjeo.

Cuadro 15. Diseño de la tubería principal de polietileno blando para el área 2 (A2a).

Datos	Valores
Coefficiente del material	140,00
Caudal (m^3/h)	7,23
Longitud (m)	25,00
Pérdida por fricción -Hf- (mca)	0,55
Diámetro calculado (mm)	51,11
Diámetro interno real (mm)	42,30
Pérdida real (mca)	1,39
Velocidad del flujo (m/s)	1,43

En último lugar, se estableció la presión en la entrada del lateral de 20 mca, que permitió el cálculo de la presión en la múltiple con la Ecuación 32 y la presión distal con la Ecuación 33, se tomó en cuenta las pérdidas por los filtros y para las pérdidas secundarias se estableció un 5% de la suma de la presión de entrada y las pérdidas en la tubería principal.

Con las pérdidas adquiridas a lo largo del sistema de tuberías se determinó la carga dinámica total con la Ecuación 34, finalmente, se calculó la potencia de la bomba mediante la Ecuación 35, para ello era necesario el caudal del sistema, el factor de seguridad y se utilizó una eficiencia de la bomba del 55 %. En el Cuadro 16 se muestra la información obtenida para el cálculo de la carga dinámica total y la potencia de la bomba.

Cuadro 16. Cálculo de la potencia requerida del sistema de riego por goteo para el área 2 (A2a).

Presión a la entrada del lateral (Pel) (mca)	20,00
Presión Múltiple (mca)	4,00
Presión Distal (mca)	36,00
Carga Dinámica Total (mca)	4,78
Máxima pérdida admisible en filtración (mca)	5,00
Diferencia de nivel en la múltiple, bajando (+) (m)	33,00
Diferencia de nivel de la toma a la múltiple, bajando (-) (m)	7,00
Potencia de la bomba (HP)	0,23

5.5.3 Diseño del sistema de riego por goteo para chile dulce área 2 (A2b).

5.5.3.1 Diseño Hidráulico

Se utilizó una manguera que posee goteros autocompensados integrados UNIRAM CNL 16010 para los laterales. Para el trazo de la tubería múltiple, se estableció un diámetro real, seguidamente, se calculó las pérdidas primarias por fricción con la Ecuación 27 y 29, mientras que el valor de la velocidad de flujo se confirmó por medio de la Ecuación 31.

Con los datos alcanzados se estableció la tubería de polietileno blando de un diámetro interno de 42,30 mm, diámetro nominal de 50 mm con una presión de trabajo de 4 (kg/cm²), en el Cuadro 17 se encuentra la información.

Cuadro 17. Diseño de la tubería múltiple, área 2 (A2b)

Datos	Valores
Coefficiente del Material	140,00
Caudal (m^3/h)	3,69
Longitud (m)	36,00
Diámetro interno real (mm)	42,30
Factor “F” con 21 salidas, primera a la mitad de la hilera	0,38
Pérdida por fricción -Hf- (mca)	0,22
Velocidad del flujo (m/s)	1,79

Para el diseño de la tubería principal, se empleó el método de carga unitaria, se utilizó la Ecuación 30, el método admite como pérdida de carga 2,3 m cada 100 m de longitud, por lo que la pérdida de carga es de 0,023 m/m, posterior se realizó el despeje del diámetro, el cual no encontraba en el mercado, por lo que se estableció un diámetro comercial, Superior más cercano al calculado, resultando un diámetro interno real de 42,3 mm, diámetro nominal 50 mm a una presión de trabajo 4 (kg/cm^2) de material polietileno blando, en el Cuadro 18 se muestra un resumen de los resultados. El valor de la velocidad fue corroborado utilizando la Ecuación 31.

Cuadro 18. Diseño de la tubería principal.

Datos	Valores
Coefficiente del material	140,00
Caudal (m^3/h)	3,69
Longitud (m)	25,00
Pérdida por fricción -Hf- (mca)	0,56
Diámetro calculado (mm)	39,54
Diámetro interno real (mm)	42,30
Pérdida real (mca)	0,40
Velocidad del flujo (m/s)	1,79

Se estableció una presión de 20 mca a la entrada del lateral, por lo que se obtuvo la presión de la múltiple con la Ecuación 32 y distal con la Ecuación 33, se tomó en cuenta las pérdidas por los filtros, mientras que para las pérdidas secundarias se fijó un 5% de la suma de la presión de entrada y las pérdidas en la tubería principal.

Con las pérdidas a lo largo del sistema de tuberías se determinó la carga dinámica total utilizando la Ecuación 34, por último, se calculó la potencia de la bomba mediante la Ecuación 35 con una eficiencia de la bomba del 55 %. En el Cuadro 19, se muestra la información necesaria para obtener la carga dinámica total y la potencia de la bomba.

Cuadro 19. Cálculo de la potencia requerida del sistema de riego por goteo para el área 2 (A2b)

Presión a la entrada del lateral (Pel) (mca)	20,00
Presión Múltiple (mca)	8,00
Presión Distal (mca)	19,95
Carga Dinámica Total (mca)	7,71
Máxima pérdida admisible en filtración (mca)	5,00
Diferencia de nivel en la múltiple, bajando (+) (m)	24,00
Diferencia de nivel de la toma a la múltiple, bajando (-) (m)	7,00
Potencia de la bomba (HP)	0,19

5.5.4 Diseño del sistema de riego por goteo para chile dulce área 2 A2c

5.5.4.1 Diseño Hidráulico

Se utilizó una manguera que, posee goteros autocompensados integrados UNIRAM CNL 16010 para los laterales. Para el trazo la tubería múltiple, se asignó un diámetro comercial, luego se calculó las pérdidas por fricción con la Ecuación 27 y 29, mientras que el valor de la velocidad se confirmó por medio de la Ecuación 31. Con los datos adquiridos se eligió una tubería de polietileno blando de un diámetro interno de 42,30 mm, con una presión de trabajo de 4 (kg/cm²) y un diámetro nominal de 50 mm, en el Cuadro 20 se muestra un resumen de los resultados.

Cuadro 20. Diseño de la tubería múltiple, área 2 (A2c).

Datos	Valores
Coefficiente del Material	140,00
Caudal (m^3/h)	4,43
Longitud (m)	26,00
Diámetro interno real (mm)	42,30
Factor "F" con 21 salidas, primera a la mitad de la hilera	0,38
Pérdida por fricción -Hf- (mca)	0,22
Velocidad del flujo (m/s)	0,88

Para el diseño de la tubería principal, se empleó el método de carga unitaria, se utilizó la Ecuación 30 el método admite como pérdida de carga 2,3 m cada 100 m de longitud, por lo que la pérdida de carga es de 0,023 m/m, después se realizó el despeje del diámetro, sin embargo, este no se halla en el mercado, por lo que se estableció un diámetro comercial mayor, lo más cercano posible al calculado, resultando un diámetro interno real de 42,3 mm, diámetro nominal 50 mm a una presión de trabajo 4 (kg/cm^2) de material polietileno blando, en el Cuadro 21, se muestra un resumen de los resultados alcanzados.

Cuadro 21. Diseño de la tubería principal.

Datos	Valores
Coefficiente del material	140.00
Caudal (m^3/h)	4,43
Longitud (m)	30,00
Pérdida por fricción -Hf- (mca)	0,67
Diámetro calculado (mm)	42,38
Diámetro interno real (mm)	42,30
Pérdida real (mca)	0,68
Velocidad del flujo (m/s)	0,88

Se estableció una presión de 20 mca, para la entrada del lateral, se obtuvo la presión de la múltiple con la Ecuación 32 y distal con la Ecuación 33, se tomó en cuenta las pérdidas causadas por los filtros, mientras que para las pérdidas secundarias se fijó un 5% de la suma de la presión de entrada y las pérdidas en la tubería principal.

Con las pérdidas totales del sistema, se determinó la carga dinámica total utilizando la Ecuación 34, por último, se calculó la potencia de la bomba mediante la Ecuación 35 para la cual se empleó una eficiencia de la bomba del 55 %. En el Cuadro 22, se halla la información de la carga dinámica total y la potencia de la bomba.

Cuadro 22. Cálculo de la potencia requerida del sistema de riego por goteo para el área 2 (A2c).

Presión a la entrada del lateral (Pel) (mca)	20,00
Presión Múltiple (mca)	22,00
Presión Distal (mca)	19,00
Carga Dinámica Total (mca)	21,31
Máxima pérdida admisible en filtración (mca)	5,00
Diferencia de nivel en la múltiple, subiendo (-) (m)	2,86
Diferencia de nivel de la toma a la múltiple, bajando (-) (m)	7,00
Potencia de la bomba (HP)	0,60

5.6 Diseño del sistema de riego por goteo para chile dulce área 3 (A3)

5.6.1.1 Diseño Agronómico

Para el diseño agronómico se utilizaron las siguientes ecuaciones, para la lámina neta se utilizó la Ecuación 11 y el Cuadro 23, la frecuencia de riego con la Ecuación 12, corrección de la lámina neta con la Ecuación 13, eficiencia de riego Ecuación 14, lámina bruta Ecuación 15, el tiempo de riego con la Ecuación 16. El número de divisiones se logró a través de la Ecuación 17, las divisiones a regar por día con la Ecuación 18, las horas requeridas de riego por día a través de la Ecuación 19. Con la Ecuación 20, se logró un caudal del sistema de 4,61 m³/h, en el Cuadro 24 se muestra el resumen del diseño agronómico.

Cuadro 23. Características físicas del suelo y distintos parámetros

Cultivo	Chile dulce (<i>Capsicum annuum</i>)
Espaciamiento entre hileras (m):	1,20
Área bruta para cultivar (m ²):	1106
Tipo de suelo:	media (franco)
Capacidad de campo CC (%):	40%
Punto de marchitez permanente PMP (%):	19%
Densidad Aparente (g/cm ³):	0,91
Profundidad de raíces (mm):	500,00
Porcentaje de agotamiento (%):	30%

Cuadro 24. Resumen de resultados del diseño agronómico del área 3 (A3) cultivada de chile dulce

Datos	Valores
Lámina neta (mm):	8,58
Relación de transpiración:	0,95
Eficiencia de riego (%):	86%
Evapotranspiración real (mm/día):	2,84
Frecuencia de riego calculada (días):	3,03
Frecuencia de riego real (días):	3,00
Lámina neta real recalculada LNR (mm):	8,51
Lámina bruta (mm):	9,95
Tiempo de riego (horas):	2,40
Número de divisiones:	1,00
Horas requeridas de riego por día:	2,39
Caudal del sistema (m^3/h):	4,61

5.6.2 Diseño Hidráulico

Se utilizó una manguera de riego que, posee goteros autocompensados integrados UNIRAM CNL 16010 para los laterales. Para el trazo de la tubería múltiple, se asignó un diámetro real, en seguida se calculó las pérdidas por fricción con la Ecuación 27 y 29 mientras que el valor de la velocidad se confirmó por medio de la Ecuación 31.

Según los datos adquiridos se eligió una tubería de polietileno blando de un diámetro interno de 42,30 mm, con una presión de trabajo de 4 (kg/cm^2) y un diámetro nominal de 50 mm, el Cuadro 25 se muestra un resumen de los resultados alcanzados.

Cuadro 25. Diseño de la tubería múltiple, área 3 (A3).

Datos	Valores
Coeficiente del Material	140,00
Caudal (m^3/h)	4,61
Longitud (m)	45,00
Diámetro interno real (mm)	42,30
Factor “F” con 23 salidas, primera a la mitad de la hilera	0,37
Pérdida por fricción -Hf- (mca)	0,40
Velocidad del flujo (m/s)	0,91

Se empleó el método de carga unitaria para el diámetro de la tubería principal, a través de la Ecuación 30. Como resultado se obtuvo, un diámetro interno real de 42,3 mm, diámetro nominal 50 mm a una presión de trabajo 4 (kg/cm^2) de material polietileno blando. La velocidad fue corroborada mediante la Ecuación 31, en el Cuadro 26, se detalla los datos de la tubería principal.

Cuadro 26. Diseño de la tubería principal, área 3 (A3)

Datos	Valores
Coeficiente del material	140,00
Caudal (m^3/h)	4,61
Longitud (m)	65,00
Pérdida por fricción -Hf- (mca)	1,50
Diámetro calculado (mm)	42,75
Diámetro interno real (mm)	42,30
Pérdida real (mca) Hf Real	1,57
Velocidad del flujo (m/s)	0,91

Para la presión en la entrada del lateral, se estableció una presión de 20 mca, se obtuvo la presión de la múltiple con la Ecuación 32 y distal con la Ecuación 33, se tomó en cuenta las pérdidas por los filtros, con relación a las pérdidas secundarias se fijó un 5% de la suma de la presión de entrada y las pérdidas en la tubería principal.

Con las pérdidas alcanzadas a lo largo del sistema de tuberías se determinó la carga dinámica total utilizando la Ecuación 34. Se calculó la potencia de la bomba mediante la Ecuación 35 y se empleó una eficiencia de la bomba del 55 %. En el Cuadro 27 se muestra la información necesaria para obtener la carga dinámica total y la potencia de la bomba.

Cuadro 27. Cálculo de la potencia requerida del sistema de riego por goteo para el área 3 (A3)

Presión a la entrada del lateral (Pel) (mca)	20,00
Presión Múltiple (mca)	5,00
Presión Distal (mca)	20,00
Carga Dinámica Total (mca)	17,11
Máxima pérdida admisible en filtración (mca)	5,00
Diferencia de nivel en la múltiple bajando (+) (m)	29,70
Diferencia de nivel de la toma a la múltiple sube (+) (m)	4,00
Potencia de la bomba (HP)	0,50

Finalmente, a través de la Figura 15 se observa la distribución del diseño hidráulico para cada área cultivada con chile dulce, el plano muestra cómo debe realizarse la instalación del sistema y donde debe ubicarse los accesorios. En cada tubería múltiple se debe colocar un filtro, además la simbología permite identificar cada tubería.

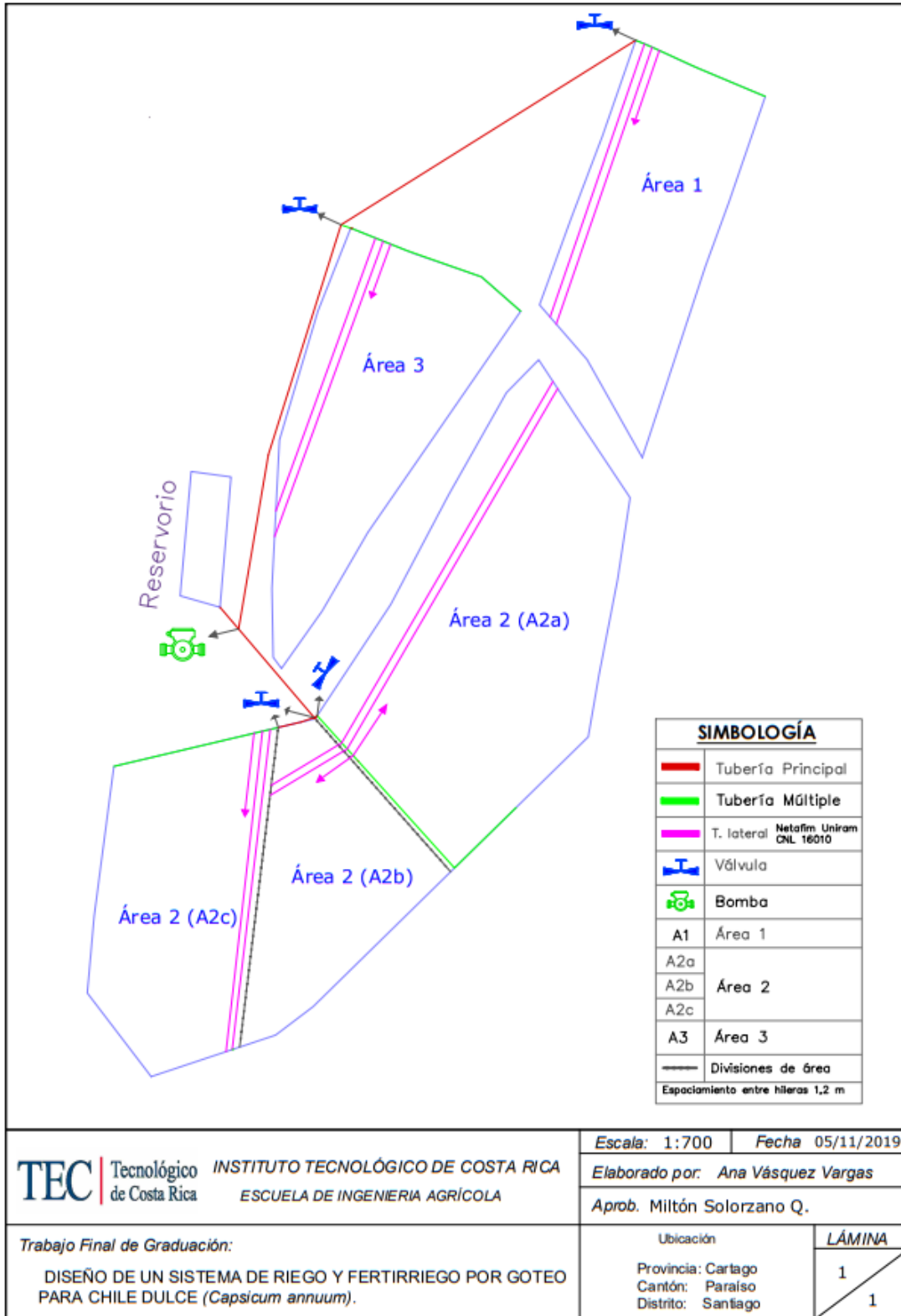


Figura 15. Distribución del sistema de riego por goteo para chile dulce (*Capsicum annuum*).

Elaborado con: Civil 3D 2018.

5.7 Diseño del sistema de riego por goteo para el área de Chayote

5.7.1 Cálculo del PAR

Con la evapotranspiración real, y la cantidad de plantas se determinó la necesidad hídrica por planta, la cual fue de 132,35 litros por planta cada 48 horas, un valor cercano a lo señalado por el Ministerio de Agricultura y Ganadería (s.f), se determinó que el porcentaje de área bajo riego (PAR) para laterales con goteros alrededor de la planta, fue de 11,95% con la Ecuación 10 y el Anexo 4. En el Cuadro 28 se muestra la información que permitió obtener el valor del porcentaje de área a humedecer.

$$PAR = \frac{(100 \times 3m \times 1,30m \times 1,50 m)}{(7m \times 7m)} = 11,94 \% \dots (10)$$

Cuadro 28. Porcentaje de área bajo riego, PAR

Datos	Valores
Número de puntos de emisión (n)	3,00
Distancia entre los puntos de emisión (Sep)	1,30 m
Espaciamiento entre laterales para un caudal y tipo de suelo (Sw)	1,50 m
Espaciamiento entre plantas (St)	7,00 m
Espaciamiento entre hileras (Sr)	7,00 m
Porcentaje de área bajo riego (PAR)	11,95%

Se seleccionó el goteo acorde a los requerimientos del cultivo, en el Cuadro 29 se encuentra las características del gotero. El gotero Click Tif HD marca NaanDaJin, es un gotero de Botón para trabajo intenso Autocompensante (PC), este puede ajustarse a la variabilidad del terreno y lograr las presiones requeridas, la información técnica del Gotero se encuentra en el (Anexo7).

Cuadro 29. Especificaciones de goteo

Datos	Valores
Espaciamiento de goteros (m)	0,80
Diámetro interno real (mm)	14,20
Presión de apertura (m)	8,00
Presión de cierre (m)	3,00
Caudal nominal (l/h)	8,00
Presión mínima recomendada (mca)	10,00
Rango de presión (mca)	5 - 40

Fuente: (Naandanjain, 2010)

5.7.2 Diseño agronómico

Se estableció la distancia entre plantas y el espaciamiento entre hileras, la cantidad de terreno. Con la Ecuación 5, se calculó la capacidad de campo (CC), con la Ecuación 7 el punto de marchitez permanente (PMP), la densidad aparente con la Ecuación 8.

El agotamiento permisible para chayote es de 35% de acuerdo con la FAO citado por Cevallos (2008). En el Cuadro 30 se observa los parámetros agronómicos alcanzados, a través del Cuadro 30 y utilizando la Ecuación 11, se obtuvo la lámina neta para el cultivo de chayote.

$$Ln = \left(\frac{55 - 24,3}{100}\right) * 800 \text{ mm} * 0,8 \text{ g/cc} * 0,35 * 0,1195 = 7,15 \text{ mm} \dots (11)$$

Con la evapotranspiración real (ETR) y la lámina neta se determinó la frecuencia de riego, mediante la Ecuación 12.

$$Fr = \frac{7,15 \text{ mm}}{2,70 \frac{\text{mm}}{\text{días}}} = 2,65 \text{ días} \dots (12)$$

Dicho parámetro se redondeó al valor próximo, por ende, la frecuencia de riego real fue de 3 días, por lo tanto, se realizó una corrección de la lámina neta, dando origen a la lámina neta real, para ello se dispuso de la Ecuación 13.

$$Lnr = 3 \text{ días} * 2,70 \frac{mm}{días} = 8,10 \text{ mm... (13)}$$

Cuadro 30. Características físicas del suelo y distintos parámetros.

Cultivo	Chayote (<i>Sechium edule</i>)
Espaciamiento entre hileras (m):	7,00
Espaciamiento entre plantas (m)	7,00
Área bruta a cultivar (m^2):	4895
Tipo de suelo:	Medio (franco)
Capacidad de campo CC (%):	51%
Punto de marchitez permanente PMP (%):	24%
Densidad Aparente (g/cm^3):	0,80
Profundidad de raíces (mm):	800
Porcentaje de agotamiento (%):	35%

Para calcular el valor de la eficiencia de riego se utilizó la Ecuación 14, la cual requirió de un porcentaje de coeficiente de uniformidad (CU) y un valor de relación de transpiración (TR), en el Anexo 6, se encuentra la información de la relación de transpiración con base en la profundidad radicular y textura del suelo.

$$Ef = 90\% * 0,95 = 86\% \dots (14)$$

De acuerdo con Villalobos (2018), el coeficiente de uniformidad se puede estimar en un valor superior o igual al 80%, por lo que se asumió un valor del 90%, mientras que, para la TR, se calculó de acuerdo con la profundidad de raíces y una textura media dando como resultado 0,95. Luego, se obtuvo la lámina bruta con la Ecuación 15.

$$Lb = \frac{8,10mm}{86\%} = 9,47 \text{ mm} \dots (15)$$

Para calcular el tiempo de riego se utilizó la Ecuación 16.

$$Tr = \frac{9,95mm * 49m^2 * 10}{24 \text{ l/h}} = 19,34 \text{ horas} \dots (16)$$

Se estableció que el número de divisiones fuera 2, ya que el área es considerable y así regar por partes. Para determinar el número de divisiones a regar por día se utilizó la Ecuación 18, dando como resultado el número de divisiones a regar por día de 1.

$$N^{\circ} \text{ dpor día} = \frac{2}{3 \text{ horas}} = 0,67 \cong 1 \dots (18)$$

Para determinar las horas totales de riego por día se utilizó la Ecuación 19.

$$H_{tr} = 1 * 19,34 = 19,34 \dots (19)$$

Se calculo caudal del sistema se obtuvo un a través de la Ecuación 21. Finalmente, en el Cuadro 31, se muestra un resumen de los resultados.

$$Q \text{ sistema} = \frac{\left(\frac{4800m^2}{7m*7m}\right)}{3 \text{ got} * \frac{8 (l/h)}{1000}} \dots (21)$$

Cuadro 31. Resumen de resultados del diseño agronómico para el área cultivada de chayote

Datos	Valores
Lámina neta (mm):	7,15
Relación de transpiración:	0,95
Eficiencia de riego (%):	85,5%
Evapotranspiración real (mm/día):	2,70
Frecuencia de riego calculada (días):	2,65
Frecuencia de riego real (días):	3,00
Lámina neta real recalculada LNR (mm):	8,10
Lámina bruta (mm):	9,47
Tiempo de riego (horas):	19,34
Número de divisiones:	2
Divisiones a regar por día:	1
Horas requeridas de riego por día:	19,34
Caudal del sistema (m^3/h):	1,18

5.7.3 Diseño Hidráulico

Para el área del cultivo de chayote, se seleccionó goteros autocompensados. Inicialmente se procedió a conocer el número de orificios, por lo que se seleccionó la longitud del lateral más crítico en cuanto pendiente y longitud, cuya una distancia fue 141 metros.

Con la longitud y el espaciamiento entre plantas, se obtuvo que el número de orificios fue de 20 orificios. Esto se calculó mediante la Ecuación 22.

$$N^{\circ} \text{orf} = \frac{141m}{7m} = 20 \text{ orificios} \dots (22)$$

Con la cantidad de orificios, se calculó la longitud real del lateral con la Ecuación 23.

$$L_{\text{real}} = (20 - 0,5) * 7m = 138 \text{ m} \dots (23)$$

El caudal del lateral se calculó a través de la Ecuación 24

$$Q_{\text{lateral}} = \frac{(3 * 8^{\frac{1}{n}} * 20)}{1000} = 0,48 \text{ m}^3/\text{h} \dots (24)$$

Por último, el número total de laterales del sistema se calculó con la Ecuación 25, utilizando un ancho del área de 37,6 metros, dando como resultado 6 laterales y de acuerdo con el número de divisiones alcanzada en el diseño agronómico se estableció manejar tres laterales por cada válvula para satisfacer la demanda del cultivo.

$$N^{\circ} \text{laterales} = \frac{37,6 \text{ m}}{7} = 5,37 \cong 6 \text{ laterales} \dots (25)$$

El número de orificios totales del sistema fue obtenido a través de la Ecuación 26, alcanzando 316 goteros, pero se estableció 320 goteros, para salvaguardar algún inconveniente técnico.

$$N^{\circ} \text{g} = 106 \text{ goteros} * 3 \text{ gotero por planta} = 316 \cong 320 \text{ goteros} \dots (26)$$

Posteriormente, se continuó con el cálculo de la tubería lateral, se utilizó la Ecuación 27 para conocer el factor F, el valor de F para el lateral corresponde a 20 salidas, la primera salida se

localizó a la mitad del espaciamiento entre hileras, se seleccionó un diámetro real, luego se calculó las pérdidas por fricción primarias a través de la Ecuación 28.

$$F = 13 * \left(\frac{\left(\frac{1}{1,76 + 1} + \frac{1}{2 * 20} + \frac{\sqrt{1,76 - 1}}{6 * 20^2} \right) - 1}{20 - 1} \right) = 0,37 \dots (27)$$

$$Hf \text{ lat} = 1,131 * 10^9 * \frac{0,48^{1,852}}{140} * 16,5 \text{ mm}^{-4,872} * 138 \text{ m} * 0,37 = 1,85 \text{ mca} \dots (28)$$

Se corroboró el valor de la velocidad del flujo a través de la Ecuación 31, se obtuvo una velocidad de 0,62 m/s, la cual se encuentra dentro de rango según lo indicado por el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados (2017).

$$V = \frac{\frac{0,48 \text{ m}^3/\text{h}}{3600 \text{ s}}}{\left(\frac{\pi * \left(\frac{16,5 \text{ mm}}{1000} \right)^2}{4} \right)} = 0,62 \text{ m/s} \dots (31)$$

Finalmente, en el Cuadro 32 se muestra la información de la tubería lateral.

Cuadro 32. Diseño de la tubería lateral

Datos	Valores
Coficiente del Material	140,00
Caudal (m^3/h)	0,48
Longitud (m)	138,00
Diámetro interno real (mm)	16,50
Factor “F” con 20 salidas, primera a la mitad de la hilera	0,37
Pérdida por fricción -Hf- (mca)	1,85
Velocidad del flujo (m/s)	0,62

Para la tubería múltiple se seleccionó un diámetro real, se obtuvo el factor F a través de la Ecuación 27, luego se calculó las pérdidas por fricción primarias, utilizando la Ecuación 29.

$$F = 13 * \left(\frac{\left(\frac{1}{1,76 + 1} + \frac{1}{2 * 2} + \frac{\sqrt{1,76 - 1}}{6 * 2^2} \right) - 1}{2 - 1} \right) = 0,53 \dots (27)$$

$$Hf_{mul} = 1,131 * 10^9 * \frac{0,96^{1,852}}{140} * 21,1 \text{ mm}^{-4,872} * 7,05 \text{ m} * 0,53 = 0,15 \text{ mca... (29)}$$

Se corroboró el valor de la velocidad del flujo a través de la Ecuación 31. El valor de F para el lateral corresponde a 2 salidas, la primera salida se localizó a la mitad del espaciamiento entre hileras.

$$V = \frac{\frac{0,95/h}{3600s}}{\left(\frac{\pi * \left(\frac{21,1mm}{1000}\right)^2}{4}\right)} = 1,15 \text{ m/s (31)}$$

En el Cuadro 33 se muestra la información de la tubería múltiple.

Cuadro 33. Diseño de la tubería múltiple

Datos	Valores
Coefficiente del Material	140,00
Caudal (m^3/h)	0,96
Longitud (m)	7,05
Diámetro interno real (mm)	21,1
Factor "F" con 2 salidas, primera a la mitad de la hilera	0,53
Pérdida por fricción -Hf- (mca)	0,15
Velocidad del flujo (m/s)	1,15

Tubería principal

Para el diseño de la tubería principal, se empleó el método de carga unitaria, se utilizó la Ecuación 30, el valor de F es igual a 1, al ser una tubería de conducción.

$$\text{Diámetro } t_p = \left[\frac{1,131 * 10^9 * 1,45 m^3/h^{1,852} * 114m}{2,622m * 140^{1,542}} \right]^{\frac{1}{4,872}} = 27,55 \text{ mm... (30)}$$

Este método admite como pérdida de carga 2,3 m cada 100 m de longitud, por lo que la pérdida de carga es de 0,023 m/m, posteriormente, se realizó el despeje del diámetro, sin embargo, al no existir en el mercado, se estableció un diámetro lo más cercano al calculado, resultando un diámetro interno real de 27 mm, diámetro nominal 32 mm, a una presión de trabajo de 4 (kg/cm^2)

de material polietileno blando, en el Cuadro 34 se detalla los datos del diseño de la tubería principal. De igual forma se corroboró el valor de la velocidad mediante la Ecuación 31.

Cuadro 34. Diseño de la tubería principal.

Datos	Valores
Coefficiente del material	140,00
Caudal (m^3/h)	1,45
Longitud (m)	114,00
Pérdida por fricción -Hf- (mca)	2,62
Diámetro calculado (mm)	27,55
Diámetro interno real (mm)	27,00
Pérdida real (mca)	2,89
Velocidad del flujo (m/s)	0,70

Se estableció la presión en la entrada del lateral de 17 mca, luego se calculó la presión en la múltiple con la Ecuación 32 y la presión distal con la Ecuación 33, se tomó en cuenta las pérdidas por filtros, tal como lo indica Pizarro (1990), para su cálculo se determinó utilizar un promedio para las pérdidas por fricción. Respecto a las pérdidas secundarias se estableció un 5% de la suma de la presión de entrada y las pérdidas en la tubería principal.

$$P_m = 17 \text{ mca} + 0.77 * 0,15 \text{ mca} + \frac{2m}{2} = 19,00 \text{ mca} \dots (32)$$

$$P_d = 19 \text{ mca} - 0.23 * 1,85 \text{ mca} + \frac{20m}{2} = 28,00 \text{ mca} \dots (33)$$

Con las pérdidas a lo largo del sistema, se determinó la carga dinámica total a través de la Ecuación 34.

$$CDT = 19,00 \text{ mca} + 0,05 * (17 \text{ mca} + 2,89 \text{ mca}) + 2,89 \text{ mca} - 1 \text{ mca} + 5 \text{ mca} = 26,00 \text{ mca} \dots (34)$$

Por último, con la Ecuación 35 se determinó la potencia de la bomba, para ello se utilizó la carga dinámica total, el caudal del sistema, un factor de seguridad y una eficiencia de la bomba del

55 %. En el Cuadro 35, se muestra la información necesaria para obtener la carga dinámica total y la potencia de la bomba.

$$HP = \frac{1,45m^3/h * 26 mca}{55% * 270} = 0,26 HP \dots (35)$$

Cuadro 35. Cálculo de la potencia requerida del sistema de riego por goteo para el cultivo de chayote

Presión a la entrada del lateral (Pel) (mca)	17,00
Presión Múltiple (mca)	19,00
Presión Distal (mca)	28,00
Carga Dinámica Total (mca)	26,00
Máxima pérdida admisible en filtración (m)	5,00
Diferencia de nivel de la toma a la múltiple, bajando (-) (m)	1,00
Potencia de la bomba (HP)	0,26

En la Figura 16 se ejemplifica el diseño experimental de riego por goteo para el cultivo de chayote, se propuso colocar en una tubería con tres goteros Click Tif HD, el cual es un gotero de Botón para trabajo intenso Autocompensante (PC), con un caudal de 8 l/h y espaciados a 0,80. Se instaló los goteros de este modo para garantizar humedecer la zona de las raíces de la planta. Por otra parte, en la Figura 17 se muestra la distribución de la tubería, la posición de las válvulas que opera los laterales que conforma cada múltiple.

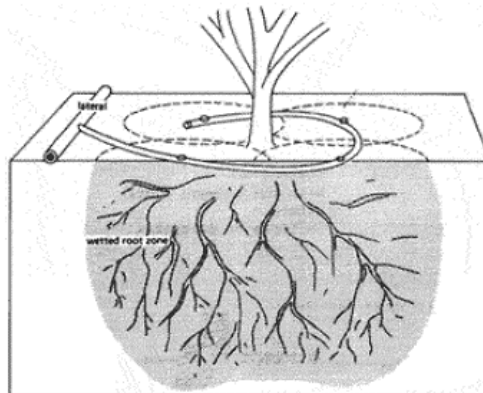


Figura 16. Riego por goteo sectorizado por planta con gotero autocompensante. Fuente: (Jahnke, s.f.).

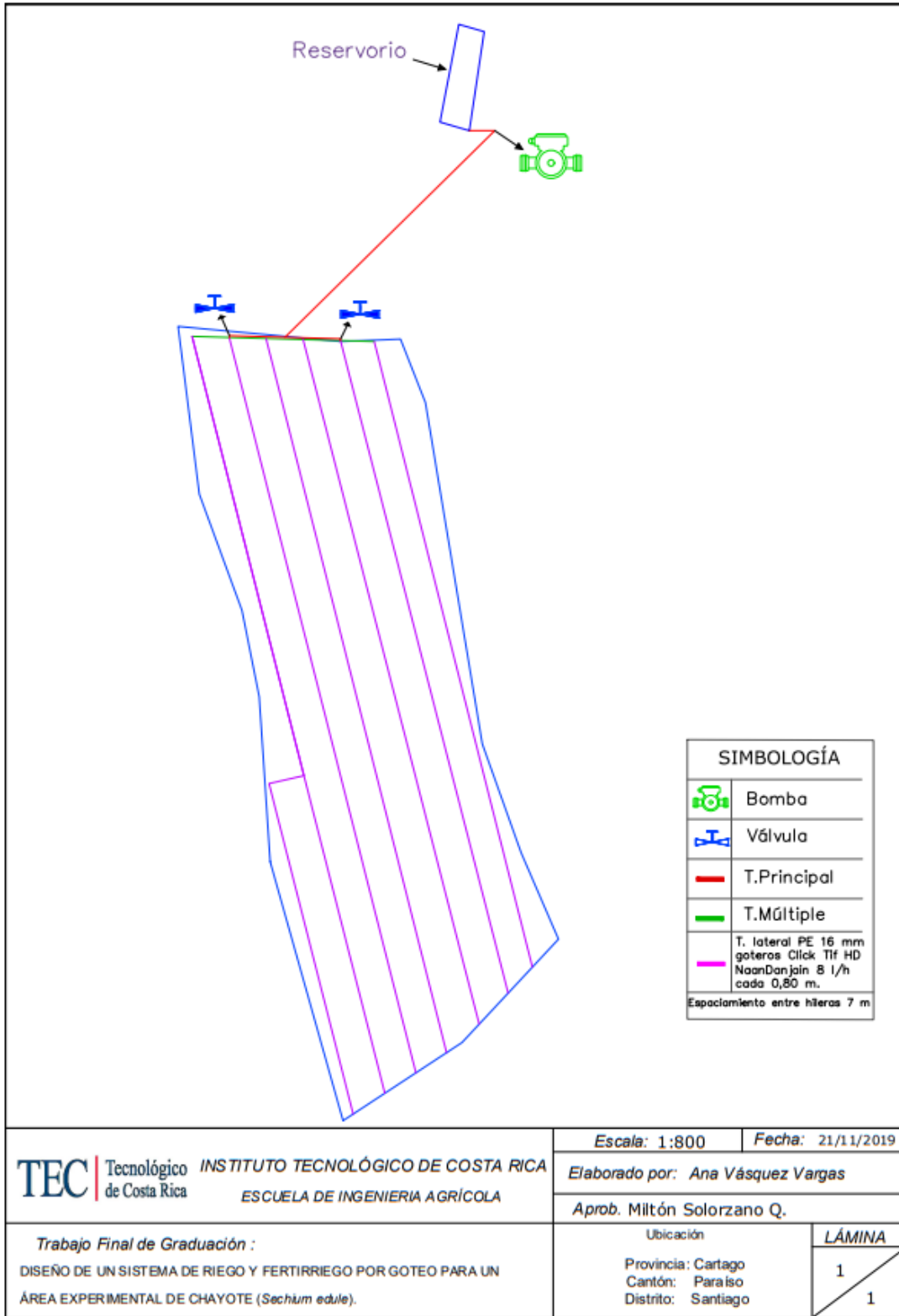


Figura 17. Distribución del sistema de riego por goteo para chayote.

Elaborado con: Civil 3D 2018.

5.8 Selección de la bomba

Para este cultivo, se estableció el uso de una sola bomba que trabajara con combustible, esto a solicitud del propietario de la finca. Se eligió la bomba según las necesidades del diseño hidráulico más crítico, pues al cumplir con este automáticamente se cumplía con los demás, igualmente se requirió el dato de la carga dinámica total y el caudal requerido. Se optó por la bomba marca BOMAX, modelo BMFP-40, a través de la Figura 17, se alcanzó el punto de operación, en el Cuadro 36, se exhibe las características de la bomba, cabe destacar que la bomba es colocada a la salida de la toma del agua del reservorio, la cual se encarga de distribuir el agua a todo el sistema. Esta bomba se encarga de suministrar la presión y el caudal que requiere cada instalación, es decir, solo se requirió de una sola bomba para impulsar agua a cada área en análisis.

Cuadro 36. Características técnicas de la bomba.

Modelo	BMFP- 40
Diámetro de succión	40mm / 1,5"
Diámetro de descarga	1,5 "
Máximo caudal	400 L / min
Succión máxima	7 m
Altura máxima descarga	60 m
Max potencia motor	6,5 HP
Velocidad máxima motor	3600 RPM

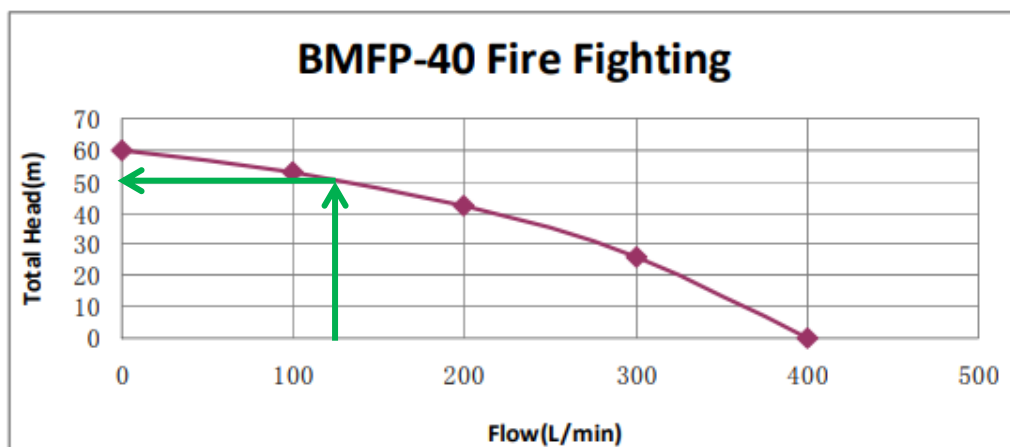


Figura 18. Curva característica de la bomba y punto de operación del sistema. (Fuente: BO MAX, 2018).

5.9 Análisis Económico

5.9.1 Análisis económico para el cultivo de chile dulce

Primeramente, se estableció la lista de los materiales necesarios para la instalación del sistema, se tomó en cuenta los gastos preoperativos por el servicio profesional y la preparación del terreno, el cual involucra la mano de obra para la elaboración de los camellones, instalación de cañas de bambú, líneas de mecate y plástico, es decir, estos elementos componen la inversión inicial del proyecto. A continuación, en el Cuadro 37 se muestra el detalle del presupuesto, sin embargo, algunos valores pueden variar de acuerdo con el proveedor.

Cuadro 37. Desglose de presupuesto para el diseño por goteo en Chile dulce

Materiales	Cantidad	Precio Unitario	Precio total (Colones)
Tubería (Conducción)			
Tubería lateral. Netafim Uniram CNL 16010. Longitud del rollo 500 m.	10 rollos	¢180,000.00	¢1,800,000.00
Múltiple y principal, PE. Diámetro nominal 50 mm, con una presión de trabajo 4 (kg/cm^2).	331,00	¢1,410.00	¢466,710.00
Manómetro glicerina 0 -100 psi	1,00	¢14,500.00	¢14,500.00
Final PE	83,00	¢108.00	¢8,964.00
Codo liso de 90° PE 50 mm, acopla rápido	2,00	¢6,750.00	¢13,500.00
Te lisa PE 50 mm, acopla rápido	3,00	¢9,475.00	¢28,425.00
Válvula lisa de bola PE 50 mm	5,00	¢6,075.00	¢30,375.00
Adaptador macho para válvula 50 mm	5,00	¢1,823.00	¢9,115.00
Bomba 1 hp	1,00	¢221,840.00	¢221,840.00
Filtro PE 50 mm	1,00	¢32,000.00	¢32,000.00
IVA total			¢79,749.20
Total, de materiales			¢2,705,178.20
Otros materiales			
Mecate (rollos)	8,00	¢1,800.00	¢14,400.00
Plástico (rollos)	8,00	¢20,000.00	¢160,000.00
Caña de bambú de 3m de altura	1250,00	¢1,000.00	¢1,250,000.00
Total, de materiales			¢1,424,400.00
Mano de obra			
Peones (5 personas; 1035,55 colones por día, 10 días)			¢654,297.81
Gastos preoperativos			
Servicio profesional			¢451,523.00
Total, de costos			¢5,235,399.0
Imprevistos 5%			¢261 769,95
Total, de presupuesto			¢5 497 168,96

Otro aspecto para tomar en cuenta, al realizar un análisis económico es la depreciación de los activos a largo plazo, de acuerdo con el Reglamento Ley del Impuesto sobre la renta de Costa Rica (2014), menciona que la depreciación, es la distribución sistemática del costo de un activo durante su vida útil.

En dicho reglamento se encuentra los años de vida útil y porcentajes de depreciación en línea recta. La depreciación se obtuvo multiplicando el precio total de la tubería o bomba por el % establecido en el reglamento citado anteriormente. En el Cuadro 38, se muestra la depreciación de los elementos empleados para llevar a cabo el diseño, el cual es necesario para el desarrollo de los flujos netos.

Cuadro 38. Depreciación del equipo de conducción.

Tipo	% anual de depreciación	Años de vida Útil	Costo	Depreciación
Tubería lateral	5%	20	¢1,800,000.00	¢90,000.00
Tubería principal	5%	20	¢466,710.00	¢23,335.50
Bomba	10%	10	¢221,840.00	¢22,184.00
Gastos total de depreciación				¢135, 519.50

Otros costos que conlleva el proyecto se describirán a continuación, previamente se estableció la ganancia obtenida de la producción para doce veces al año, en el Cuadro 39 se aprecia los aspectos contemplados. Los costos por siembra para dos veces al año se especifican en el Cuadro 40, el cual especifica la cantidad y precio.

En el Cuadro 41 se expone los costó por mano de obra para empleados que laboran de manera mensual y además los costos indirectos de fabricación a través del Cuadro 42. En el Cuadro 43 se presentan los costos por aplicación de fertilizante y de insecticida para doce meses.

Para los gastos por transporte se tomó en cuenta el combustible para vehículo pesado, combustible para operaciones diarias, tal como se observa en el Cuadro 44, en cuanto a los gastos administrativos se tomó en cuenta un contador privado y una oficinista, en el Cuadro 45 se aprecia esta información. Finalmente, en el Cuadro 46 se aprecia los costos por la concesión del agua.

Cuadro 39. Ingreso ventas por año.

Contenedor	Cantidad de Jabas	Precio por Jaba	Ganancias (C)	Ganancias mensuales (C)	Ganancias anuales (C)
Javas	50	C10 000	C500 000,00	C2 000 000,00	C24 000 000,00
Total					C24 000 000,00

Cuadro 40. Costos por siembra.

Carácter	Cantidad	Precio colones	Costo total
Semilla	5000	C180000	C360 000,00
Almácigo	5000	C125000	C250 000,00
Total			C610 000,00

Cuadro 41. Costo por mano de obra.

Cantidad de trabajadores	Costo por día (C)	Días	Salario bruto	CSSS (26,33%)	Total, a pagar
3	C10 358,55	25	C776 891,25	C204 555,47	C11 777 360,59

Cuadro 42. Costos indirectos de fabricación.

Descripción	litros	Costo unitario	Costo mensual	Costo anual
Combustible	20	C670	C13 400,00	C160 800,00

Cuadro 43. Costos indirectos de fabricación, Fertilizante e Insecticida.

Cultivo	(Cantidad / estañones)	Costo mensual	Costo anual
Chile	2 estañones al mes	C60000	C1 440 000,00
Total			C1 440 000,00

Cuadro 44. Gastos por de transporte.

Descripción	Costo por día (¢)	Carreras mensuales	Costo mensual	Costo anual
Chofer de Vehículo Pesado	11471	4	¢ 45 884,00	¢ 550 608,00
Descripción	Litros	Carreras mensuales	Costo mensual	Costo anual
Combustible para operaciones diarias.	30	670	¢ 20 100,00	¢241 200,00

Cuadro 45. Gastos administrativos.

Descripción	Costo mensual	Costo anual
Contador Privado	¢366 380,00	¢4 396 560,00
Oficinista (General)	¢366 380,00	¢4 396 560,00

Cuadro 46. Concesión del agua.

Cultivo	Concesión mensual	Costo anual
Chile	¢20 000,00	¢240 000,00
Total		¢ 240 000,00

Los flujos de efectivo incluyen los ingresos, costos por año, la depreciación del equipo, la utilidad bruta que corresponde a la suma de los elementos citados anteriormente, el impuestos se obtuvo multiplicando la utilidad bruta por 15% de impuesto, en cuanto la utilidad neta, se obtuvo a través de la suma de la utilidad Bruta menos los impuestos, posteriormente se obtiene el flujo neto, los cuales fueron trasladados a valor presente y finalmente se empleó la matriz del Excel para obtener el valor del VAN y TIR.

Se obtuvo el valor de los flujos netos para un periodo desde el año 0 a 10 años como se desglosa en la Figura del Flujo neto para el análisis económico del cultivo de chile dulce (Anexo 8). A través de los flujos, se obtuvo el valor de los indicadores económicos, valor actual neto (VAN) y tasa Interna de Retorno (TIR).

El TIR representa la rentabilidad del proyecto, cabe señalar que, al interpretar el TIR, se debe conocer la Tasa de Rendimiento mínima atractiva para el inversionista (TREMA), la cual toma en cuenta dos elementos el primero es el interés bancario, este es un riesgo a la inversión, el cual representa un porcentaje de remuneración que obtendrá el inversionista por confiar su dinero en un proyecto y el segundo es la inflación.

Sin embargo, para la Tasa de Rendimiento mínima atractiva (TREMA) se estableció el valor del 15%, ya que según la entrevista realizada al señor Carlos Robles Rojas, director de la Escuela de Ingeniería en Agronegocios, indica que para negocios de carácter agrícola el valor de la TREMA se encuentra dentro del 10 a 15% en Costa Rica.

En el Cuadro 47 se observa que la TIR (68%) es superior a la TREMA (15%), lo cual implica que la rentabilidad es mayor al costo, por lo que se puede ejecutar, por otra parte, el (VAN) es positivo demostrando que el proyecto es viable financieramente, puesto que los flujos de efectivo cubrirán los gastos, la inversión y quedará un excedente. El periodo de recuperación se alcanza en menos de dos años.

$$Payback = \frac{-5\,497\,168,96}{3\,916\,278,62} * (-1) = 1,40 \text{ años ... (38)}$$

Cuadro 47. Indicadores en el análisis de inversiones para el cultivo de Chile dulce.

Parámetros	Valor
TMAR	15%
VAN	₡ 3 234 954,45
TIR (%)	68%
Periodo de Recuperación (años)	1,40
Periodo de Recuperación (meses)	16,84

5.9.2 Análisis económico para el cultivo de Chayote.

En cuanto al análisis económico para el cultivo de chayote, se estableció de igual manera una lista de los materiales, gastos por servicio profesional y la preparación del terreno. En el Cuadro 48 se detallan los materiales para llevar a cabo el diseño del sistema de riego.

Cuadro 48. Desglose de presupuesto para el diseño por goteo en Chayote.

Materiales	Cantidad (m)	Precio Unitario	Precio total (Colones)
Tubería (Conducción)			
Lateral, PE de baja densidad 20 mm (1/2")	1030	¢342.00	¢352,260.00
Múltiple, PE de baja densidad de 25 mm.	30	¢560.00	¢16,800.00
Principal, PE de baja densidad de 32 mm (1")	120	¢657.00	¢78,840.00
Manómetro glicerina 0 -100 psi	1	¢14,500.00	¢14,500.00
Tapones PE 32 mm	2	¢250.00	¢500.00
Final PE 20 mm	112	¢108.00	¢12,096.00
Codo liso de 90° PE de 32 mm acopla rápido	4	¢1,331.00	¢5,324.00
Acople PE 25 mm a 20 mm	4	¢645.00	¢2,580.00
Conectores PE 20 mm acopla rápido	106	¢250.00	¢26,500.00
Te lisa PE 25 mm acopla rápido	2	¢2,326.00	¢4,652.00
Te lisa PE 32 mm	3	¢2,025.00	¢6,075.00
Adaptadores macho para válvula 1"	2	¢743.00	¢1486.00
Válvula lisa de bola PE 32 mm	1	¢1,404.00	¢1,404.00
Válvula lisa de bola PE 25 mm	2	¢1,204.00	¢2,408.00
Adaptador macho para válvula 25	2	¢655.00	¢1,310.00
Gotero botón ClickTif antidrenante (CNL). 8 l/h cónica	320	¢870.00	¢278 400.00
Bomba 1 hp	1	¢221,840.00	¢221,840.00
Filtro 32 mm	1	¢29,492.00	¢29,492.00
Uniones PE 25 mm a 20 mm	6	¢300.00	¢1,800.00
Reducción lisa PE 32 mm a 25 mm	2	¢1,800.00	¢3,600.00
IVA total			¢79,749.20
Total, de materiales			¢92,9716.20
Otros materiales			
Mecate	8	¢1,800.00	¢14,400.00
Caña de bambú de 3m de altura	500	¢1,000.00	¢500,000.00
Total, de materiales			¢514400.00
Mano de obra			
Peones (3 personas, 1035,55 colones por día, 4 días)			¢157,031.47
Gastos preoperativos			
Servicio profesional			¢326,400.00
Total, de costos			¢1 534 647,67
Imprevistos 5%			¢90 652,38
Total, de presupuesto			¢1 903 700,06

Del mismo modo se evaluó la depreciación de los activos a largo plazo. En el Cuadro 49 se muestra la depreciación de los elementos empleados, este rubro fue utilizado para el desarrollo de los flujos netos.

Cuadro 49. Depreciación del equipo de conducción

Tipo	% depreciación	Años de vida Útil	Costo	Depreciación
Tuberia lateral	10%	10	¢352,260.00	¢35,226.00
Tuberia multiple	10%	10	¢16,800.00	¢1,680.00
Tuberia principal	10%	10	¢78,840.00	¢7,884.00
Bomba	10%	10	¢221,840.00	¢22,184.00
Gsasto total de depreciación				¢ 66,974.00

Otros costos que conlleva el proyecto se describirán a continuación, previamente se estableció la ganancia obtenida de la producción para doce veces al año, en el Cuadro 50 se aprecia los aspectos contemplados. Por otro parte, los costos por siembra para una vez al año se especifican en el Cuadro 51, el cual muestra especifica la cantidad y precio.

En el Cuadro 52 se expone los costó por mano de obra para empleados que laboran de manera mensual. Los costos indirectos de fabricación a través del Cuadro 53. Los costos por aplicación de fertilizante e insecticida, proyectados para doces meses se exponen en el Cuadro 54.

Para los gastos por transporte se tomó en cuenta el combustible para vehículo pesado, combustible para operaciones diarias tal como se observa en el Cuadro 55, en cuanto a los gatos administrativos se valoró un contador privado y una oficinista, en el Cuadro 56 se aprecia esta información. Finalmente, en el Cuadro 57 se aprecia los costos por la concesión del agua.

Cuadro 50. Ingreso ventas por año.

Contenedor	Cantidad de Jabas	Precio por jaba	Ganancias (¢)	Ganancias mensuales (¢)	Ganancias anuales (¢)
Javas	46	10000	¢ 460 000,00	¢ 1 840 000,00	¢ 22 080 000,00
Total				¢ 22 080 000,00	

Cuadro 51. Costos por siembra.

Carácter	Cantidad	Precio colones	Costo total
Planta	86	₡ 1000	₡ 86000,00
Total			₡ 86 000,00

Cuadro 52. Costo por mano de obra.

Cantidad de trabajadores	Costo por día (₡)	Días	Salario bruto	CSSS (26,33%)	Total a pagar
3	₡ 10 358,55	20	₡ 621 513,00	₡ 163 644,37	₡ 9 421 888,47

Cuadro 53. Costos indirectos de fabricación.

Descripción	litros	Costo unitario	Costo mensual	Costo anual
Combustible	20	₡670	₡13 400,00	₡160 800,00

Cuadro 54. Costos indirectos de fabricación, Fertilizante e Insecticida.

Cultivo	(Cantidad / estañones)	Costo mensual	Costo anual
Chayote	2 estañones al mes	₡60000	₡1 440 000,00
Total			₡1 440 000,00

Cuadro 55. Gastos por de transporte.

Descripción	Costo por día (₡)	Carreras mensuales	Costo mensual	Costo anual
Chofer de Vehículo Pesado	11471	4	₡ 45 884,00	₡ 550 608,00
Descripción	Litros	Carreras mensuales	Costo mensual	Costo anual
Combustible para operaciones diarias.	30	670	₡ 20 100,00	₡241 200,00

Cuadro 56. Gastos administrativos.

Descripción	Costo mensual	Costo anual
Contador Privado	₡366 380,00	₡4 396 560,00
Oficinista (General)	₡366 380,00	₡4 396 560,00

Cuadro 57. Concesión del agua.

Cultivo	Concesión mensual	Costo anual
Chile	€20 000,00	€240 000,00
Total		€ 240 000,00

Los flujos de efectivo contienen los ingresos, costos por año, la depreciación del equipo, la utilidad bruta que corresponde a la suma de los elementos citados anteriormente, el impuesto se obtuvo multiplicando la utilidad bruta por 15% de impuesto, en cuanto la utilidad neta, se obtuvo a través de la suma de la utilidad Bruta menos los impuestos, posteriormente se obtiene el flujo neto, los cuales fueron trasladados a valor presente y finalmente se empleó la matriz del Excel para obtener el valor del VAN y TIR.

Se analizó, los flujos netos para un periodo desde el año 0 a 10 años como se desglosa (Anexo 8). Se obtuvo el valor del VAN y el TIR. En el Cuadro 58, se observa que la TIR (51%) siendo superior a la TREMA (15%), estableciendo que la rentabilidad es mayor al costo, por lo que es factible, por otra parte, el (VAN) es positivo demostrando que el proyecto es viable, puesto que los flujos de efectivo cubrirán los gastos, la inversión y quedará un excedente. El periodo de recuperación se alcanza en dos años.

$$Payback = \frac{-1\,903\,700,06}{984\,472,10} * (-1) = 1,93 \text{ años ... (38)}$$

Cuadro 58. Indicadores en el análisis de inversiones para el cultivo de chayote.

Parámetros	Valor
TREMA	15%
VAN	€3 037 137,61
TIR (%)	51%
Periodo de Recuperación (años)	1,93
Periodo de Recuperación (meses)	23,20

5.10 Análisis Ambiental

Se realizó el llenado de la plantilla de análisis ambiental propuesta por SETENA (Secretaría Técnica Nacional Ambiental) denominada formulario D1 de Viabilidad Ambiental, para el desarrollo de los dos diseños de sistema de riego y fertirriego para chile dulce y chayote. Se obtuvo como resultado 294 puntos que, de acuerdo con la ponderación establecida por SETENA, ubicada en la sección de metodología en el Cuadro 3, el proyecto corresponde a la Categoría B2, la nota obtenida establece realizar una Declaración Jurada de compromisos Ambientales. En el Cuadro ubicado en el Anexo 9 se detalla la clasificación obtenida de la SIA (Significancia del Impacto Ambiental).

5.11 Análisis Social

Se desarrolló la aplicación de Cuestionario para la Identificación y Evaluación de Impactos Sociales A través de la Metodología para la Evaluación de Impacto Social, la cual es apoyada por la Cooperación Alemana al Desarrollo Sustentable en México, y desarrollado por la empresa GreenMomentum S.A.P.I de C.V.

Para ello inicialmente se estableció los aspectos e indicadores que atañen al realizar la propuesta del sistema de riego por goteo, en el Anexo 10, se aprecia el Cuestionario para la Identificación y Evaluación de Impactos Sociales. Se clasifico el tipo de impacto, por consiguiente, se estableció las medidas correspondientes para mitigar el indicador que favorece un impacto negativo, de acuerdo con la metodología establecida. A continuación, en el Cuadro 59 se amplía sobre dicha evaluación. Por otra parte, asimismo se consideró que la adquisición de materiales, semillas y combustible, contribuyen a la economía de la zona donde se sitúa el proyecto.

Cuadro 59. Matriz para la identificación y evaluación de impactos sociales

Aspectos	Indicador	Tipo de impacto			Descripción del impacto Negativo y /o Co-beneficio	Medida de mitigación (en el caso de ser negativo)
		NA	Impacto Negativo	Co-Beneficio		
Trabajo y condiciones laborales	Empleos permanentes o de largo plazo (> 1 año)			X	Se requiere de un mantenimiento del sistema de riego y del cultivo a lo largo de su periodo de crecimiento.	
	Empleos temporales o de corto plazo (< 1 año)			X	En la adecuación del terreno al construir camellones y en la instalación del sistema de riego.	
	Salud y seguridad ocupacional		X		Los trabajadores de parcela no cuentan con fácil acceso a las instalaciones sanitarias.	Accesibilidad en la calidad de los servicios sanitarios.
	Servicios de salud e instalaciones sanitarias	X				
	Propensión a desastres naturales	X				
Educación y capacitación	Difusión del conocimiento	X				
	Servicios educativos	X				
Bienestar social	Desarrollo comunitario y social			X	Para mejorar la calidad de vida de todas las personas involucradas requiere cambios como las actitudes y comportamientos de la población.	
Igualdad de género	Forma de vida, educación y capacitación para mujeres		X		Alfabetización de mujeres adultas	Promover la educación, para mejorar decisiones tanto laboral como en la vida personal.
Patrimonio cultural	Afectación a patrimonio arqueológico, cultural, histórico y religioso	X				
Desplazamiento	Desplazamiento Físico	X				
	Desplazamiento Económico	X				

6 CONCLUSIONES

- a) Los sistemas de riego por goteo para el cultivo de chile dulce y chayote fueron diseñados satisfactoriamente, suministrando una aplicación de fertirriego de forma exacta y uniforme, brindando un mejor control de los fertilizantes a aplicar y disminuyen los costos de mano de obra.
- b) Se requiere un sistema de bombeo para suplir la presión en aquellos laterales más crítico, debido a la variación de pendiente, por lo que se instaló estratégicamente una bomba que abastezca ambos cultivos, y que opere de manera individual en cada diseño de riego por goteo.
- c) Económicamente, presenta viabilidad financiera, pues los indicadores económicos el VAN y el TIR de ambos diseños son rentables, es decir, se pueden ejecutar sin ningún problema, además se recupera en un tiempo corto la inversión inicial.
- d) Ambientalmente el proyecto es viable, debido que no genero afectaciones negativas, solo se requiere de una declaración jurada de compromisos ambientales.
- e) Socialmente, beneficia la economía de la comunidad positivamente, con generación de empleo de manera directa e indirecta, sin embargo, es esencial reformar los indicadores de salud y seguridad ocupacional, forma de vida, educación y capacitación para mujeres.

7 RECOMENDACIONES

- a) Emplear las indicaciones agronómicas e hidráulicas establecidas en este documento, para evitar obstrucciones y deterioro de los goteros.
- b) Realizar un plan de mantenimiento periódico de las presiones, la tubería de conducción y filtrado para así garantizar una vida óptima.
- c) Capacitar al personal sobre la importancia del funcionamiento correcto del sistema para lograr un uso adecuado y un mejor aprovechamiento del diseño.
- d) Al finalizar la vida útil de los componentes del sistema de riego por goteo se deben eliminar los desechos apropiadamente.
- e) Cuando se obtengan lecturas, en el laboratorio, que no son confiables, debido a que un equipo de medición no funciona correctamente, o no se halla disponible, es fundamental investigar y utilizar otros métodos confiables para la obtención de datos fundamentales para el desarrollo de trabajos de índole académico

8 BIBLIOGRAFÍA

- Abdelnour, A., Ramírez, C., y Engelmann, F. (2002). Micropropagación de la perca de agua (*Sechium edule* Jacq. SW) de brotes vegetativos. *Agronomía Mesoamericana*, 13 (2), 147-151. <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/agromeso/article/view/12070/11359>
- Abdelnour, A., & Rocha, O. J. (2008). Genetic characterization of a collection of chayote, *Sechium edule* (Jacq.) Swartz, in Costa Rica by using isozyme markers. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 55(1), 163–170. <https://doi.org/10.1007/s10722-007-9225-6>
- Alvarenga Venutolo, S., Abdelnour Esquivel, A., & Villalobos Aránbula, V. (2006). Conservación in vitro de chayote (*Sechium Edule*). *Agronomía Mesoamericana*, 18(1), 65-73. <https://doi.org/10.15517/am.v18i1.5037>
- Alvarez, F., & Pino, M. (s.f). Aspectos generales del manejo agronómico del pimiento en Chile. Recuperado de: <http://biblioteca.inia.cl/medios/biblioteca/boletines/NR40853.pdf>
- Amoros Castañer, M. (1991). Riego por goteo en cítricos: Manual práctico. Madrid, España: Ediciones Mundi-Prensa.
- Barrantes, J.L. (2010). Manual de recomendaciones en el cultivo de Chile, pimentón o ají (*Capsicum* sp.) Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuario. San José, Costa Rica. 28 pág. Recuperado de: <http://www.platicar.go.cr/images/buscador/documents/pdf/00/00380-manualchile.pdf>
- Brenes Madriz, J., Alvarenga Venutolo, S., & Abdelnour Esquivel, A. (2018). Enraizamiento de estacas de chayote (*Sechium edule* Jacq. SW). *Alcances Tecnológicos*, 8(1), 63 - 72. <https://doi.org/10.35486/at.v8i1.80>
- Bolaños, H. A. (1998). Introducción a La Olericultura. San José, Costa Rica: Editorial Universidad Estatal a Distancia. EUNED. 380 p.
- Blume, H.-P., Brümmer, GW, Horn, R., Kandeler, E., Kögel-Knabner, I., Kretschmar, R., ... Welp, G. (2010). Physikalische Eigenschaften und Prozesse. En *Lehrbuch der Bodenkunde* (págs. 171–271). Recuperado de: https://doi.org/10.1007/978-3-8274-2251-4_6
- Cadahia, C. L. (2000). Fertirrigación: Cultivos hortícolas y ornamentales. Madrid: Ediciones Mundi- Prensa.

- Calvache Ulloa, Angel. (2002). Manejo del agua: principios fundamentales. Obtenido de:
https://www.researchgate.net/publication/303691521_MANEJO_DEL_AGUA_PRINCIPIOS_FUNDAMENTALES
- Calvache. U, A. (2012). Manejo del Agua de Riego en Zonas de Ladera. Recuperado de:
https://www.researchgate.net/publication/303520377_Manejo_del_Agua_de_Riego_en_Zonas_de_Ladera
- Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal. (s.f.). Guía Técnica. Cultivo de Chile Dulce. El Salvador. Recuperado de:
<http://simag.mag.gob.sv/uploads/pdf/201412011299.pdf>
- Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal. (2018). Cultivo de chile dulce. Gobierno de El Salvador. Recuperado de:
http://centa.gob.sv/docs/guias/hortalizas/Guia%20Centa_Chile%20Dulce%202019.pdf
- Cevallos, Z. C. (2008). Diseño y cálculo de un sistema de riego por goteo para 32 ha de cultivos hortícolas y 5 ha de cultivos orgánicos en El Zamorano, Honduras. Recuperado de:
<https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/5450/1/CPA-2008-T014.pdf>
- Conesa, V. (1997). Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental. 4ª Ed. Ediciones Mundi Prensa. Recuperado de:
<https://books.google.co.cr/books?id=wa4SAQAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=GUIA+METODOLOGICA+PARA+LA+EVALUACION+DEL+IMPACTO+AMBIENTAL%E2%80%9D&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwj6p7ajq8LkAhURvIkKHQMUDCKQ6AEIJzAA#v=onepage&q=GUIA%20METODOLOGICA%20PARA%20LA%20EVALUACION%20DEL%20IMPACTO%20AMBIENTAL%E2%80%9D&f=false>
- Corrales, B. Y., González, R.J. & Jara, C. E. (2015). Estudio de factibilidad para la apertura de una sucursal de servicios de venta e instalación de repuestos para la empresa Thermo Repuestos C.R. S.A. en la Zona Norte del País. Recuperado de:
<http://repositorio.utn.ac.cr/bitstream/handle/123456789/88/Empresa%20Thermo%20Repuestos%20CR.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Espinoza, F. S. (2007). Los proyectos de inversión: evaluación financiera. Editorial Tecnológica de CR. Recuperado de:

- https://books.google.co.cr/books?id=erlnsjksoLMC&dq=evaluaci%C3%B3n+financiera.&source=gbs_navlinks_s
- Encarnación Villanueva. (2017). Determinación de parámetros para el procesamiento de una conserva en almíbar a partir de chayote (*Sechium edule*). Recuperado de:
<https://docplayer.es/140310082-Universidad-nacional-del-centro-del-peru.html>
- Fernández, R. (2010). Manual de riego para agricultores: Modulo 3. Riego por aspersión. España. Recuperado de:
<https://www.juntadeandalucia.es/servicios/publicaciones/detalle/67124.html>
- Gamboa, W. (2005). Producción agroecológica: una opción para el desarrollo del cultivo del chayote (*Sechium edula* (Jacq.) Sw.). San José, Costa Rica: Editorial Universidad de Costa Rica.
- GreenMomentum S.A. (s.f). Metodología para la Evaluación de Impacto Social Fondo para la Transición Energética y el Aprovechamiento Sustentable de la Energía. Recuperado de:
https://energypedia.info/images/7/72/GIZ_Metodologia_Evaluaci%C3%B3n_Impacto_Social_2016.pdf
- Hamilton Wilson, M. y Peso Paredes, A. (2005). Formulación y evaluación de proyectos tecnológicos empresariales aplicados. (1ª ed., P. 206). Bogotá Colombia: Convenio Andrés Bello. Recuperado de:
<https://books.google.com/books?id=PfpYxDclwUMC&pgis=1>
- IICA, M. d. (2016). Guía técnica del cultivo de tayota (*Sechium edule*). Santo Domingo, República Dominicana.
- Instituto costarricense de acueductos y alcantarillados (AYA). (2017). “Norma técnica para diseño y construcción de sistemas de abastecimiento de agua potable, de saneamiento y pluvial.” Recuperado de:
<https://www.aya.go.cr/Noticias/Documents/Norma%20dise%C3%B1o%20y%20construccion%20sistemas%20agua,%20saneamiento%20y%20pluvial.pdf>
- Jahnke, S. E. (s.f.). Guía de Diseño e Instalación de Sistemas de Riego Automático. Recuperado de: <https://aprendatodoaqui.com/wp-content/uploads/2019/03/Gu%C3%ADa-de-Riego-Hidr%C3%A1ulico.pdf>

- León González, R. (2018). La mosca blanca (Hemiptera: Aleyrodidae) y el “blanqueamiento” del cultivo de chayote (*Sechium edule*). *Alcances Tecnológicos*, 8(1), 55 - 62.
<https://doi.org/10.35486/at.v8i1.79>
- Lemaire, F. (2005). *Cultivos en macetas y contenedores. Principios agronómicos y aplicaciones*. (p. 210 p). Madrid: Ediciones Mundi-prensa. Obtenido de:
<https://books.google.co.cr/books?id=hZ8SAQAQBAJ&pg=PA201&dq=evapotranspiraci%C3%B3n+potencial+del+cultivo&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwiA-uOTmv7jAhWJo1kKHYZ7DVoQ6AEIPDAE#v=onepage&q=evapotranspiraci%C3%B3n%20potencial%20del%20cultivo&f=false>
- Liberta, B. B. (2007). “Impacto, impacto social y evaluación del impacto”. Recuperado de:
<http://scielo.sld.cu/pdf/aci/v15n3/aci08307.pdf>
- Liotta, M. (2015). *Manual de capacitación: Riego por goteo*. San Juan. 22p. Recuperado de:
https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_manual_riego_por_goteo.pdf
- León, P. K. (2019). Estudio de prefactibilidad para la implementación de una Planta de Proceso y Empaque de Productos Hidrobiológicos en la Terminal de Multiservicios Pesqueros del Instituto Costarricense de Pesca y Acuicultura, ubicada en el Barrio El Carmen, Puntarenas, Costa Rica. Recuperado de:
<http://repositorio.utn.ac.cr/bitstream/handle/123456789/313/Estudio%20prefactibilidad%20implementaci%C3%B3n%20planta%20proceso%20y%20empaque.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- López, G. D. (2018). “Desarrollo de una herramienta con bases de datos relaciones para la evaluación de impactos sociales en proyectos de ingeniería”. Recuperado de:
<file:///C:/Users/Acer/Downloads/TFM-I-853.pdf>
- Mendoza, E, A. (2013). *Riego por Goteo*. CENTA. Recuperado de:
<http://www.centa.gob.sv/docs/guias/riego/Riego%20por%20goteo.pdf>
- Ministerio de agricultura y ganadería. (2007). *Agrocadena Regional Cultivo Chile Dulce*. Alajuela, Costa Rica. Recuperado de: <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/E70-4281.pdf>
- Moya Talens, J. (2009). *Riego localizado y fertirrigación* (4.th ed.). Madrid, España: Mundi-Prensa.

- NaanDanJain. (2010). Catálogo de productos. Recuperado de:
<http://es.naandanjain.com/download-center/>
- Núñez Solís, J., 1996. Manual de laboratorio de edafología, San José: EUNED.
- Pizarro, F. (1990). Riego Localizados de alta frecuencia: Goteo, microaspersión, exudación (2. nd ed.). Madrid: Ediciones Mundi-Prensa.
- Orellana Guanuchi, T. F. (2010). Validación de los métodos de laboratorio para la determinación de la capacidad de retención de agua en suelos. Recuperado de:
<http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/746/1/ti836.pdf>
- Rodas, R. H & Cisneros de Ramírez, P. (2000). principios de riego por goteo. Recuperado de:
<https://www.docsity.com/es/riego-por-goteo-y-su-descripcion/4920496/>
- Ruberto, A. (2006). “Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental”. Madrid, España. Editorial Mundi Prensa. Recuperado de:
http://centro.paot.mx/documentos/varios/guia_metodologica_impacto_ambiental.pdf
- Scharley, Simon, Ruyschaert, Greet, Zwart, Kor, and Glaser, Bruno. Biochar in European Soils and Agriculture: Science and Practice. First Published (1 Edición). ed. New York: Routledge, 2016. Print.
- Sistema Costarricense de información jurídica. (2014). Reglamento Ley del Impuesto sobre la renta de Costa Rica. Recuperado de:
http://www.pgrweb.go.cr/scij/Busqueda/Normativa/Normas/nrm_texto_completo.aspx?param1=NRTC&nValor1=1&nValor2=67206&nValor3=79528&strTipM=TC
- Shock, C. & Welch, T. (2013). El riego por goteo: Una introducción. Técnicas para la agricultura sostenible. 9 p. Recuperado de: <file:///C:/Users/Acer/Downloads/em8782-S.pdf>
- Valverde, J. (1998). Riego y drenaje. San José: EUNED.
- Valverde-Conejo, J., & Villalobos-Araya, Marvin. (2016). Principios de riego y drenaje en suelos tropicales (Primera edición (1 edición). ed.). San José, Costa Rica: Editorial de la Universidad Estatal a Distancia (EUNED).
- Villalobos, M. (2018). Apuntes de Clase: Riego por Goteo. Cartago: Escuela de Ingeniería Agrícola, TEC.

Villalobos Araya, M., 2008. Fundamentos de riego, Cartago, Costa Rica: Centro de Ediciones de Material Bibliográfico.

Villon Bejar. 2004. Drenaje, Cartago: ITCR. Centro de Información Tecnológica.

9 ANEXOS

Anexo 1.

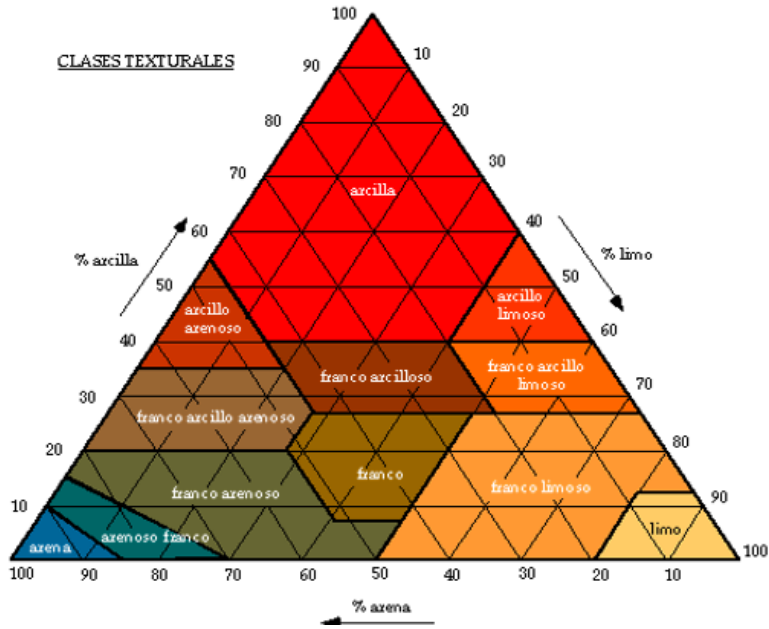


Figura 19. Triángulo de textura.

Anexo 2.

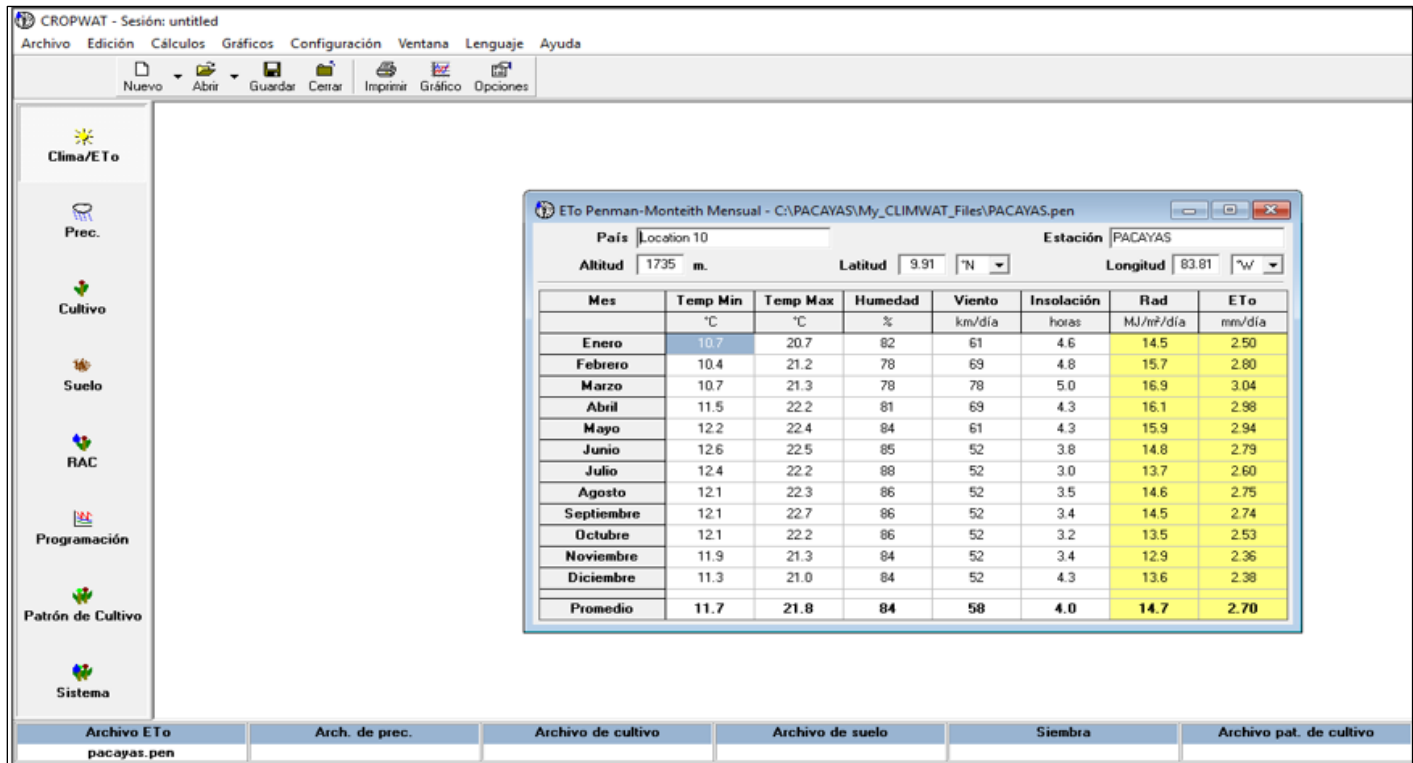


Figura 20. Cálculo de Eto anual. Elaborado con: Cropwat

Anexo 3.

Cuadro 60. Kc por duración etapa, profundidad radicular máxima y agotamiento permisible para diferentes cultivos. Fuente: (Cevallos, 2008)

Cultivo	Kc			Duración Etapa (días)				Prof. radicular max. (m)	Agotamiento permisible
	Inicial	Mediados	Final	Inicial	Desarrollo	Mediados	Final		
Zanahoria	0.70	1.05	0.95	20	30	30	20	0.5-1.0	0.35
Lechuga	0.70	1.00	0.95	9	14	7	5	0.3-0.5	0.30
Cebolla	0.70	1.10	1.00	12	20	56	32	0.3-0.6	0.30
Papa	0.50	1.15	0.75	18	27	30	15	0.4-0.6	0.35
Frijol	0.50	1.05	0.90	25	25	30	15	0.5-0.7	0.45
Habichuela	0.50	0.78	0.90	15	25	25	10	0.5-0.7	0.45
Maíz dulce	0.70	1.15	1.05	10	30	30	10	0.8-1.2	0.50
Berenjenas	0.60	1.05	0.90	25	30	30	15	0.7-1.2	0.45
Brócoli	0.70	1.05	0.95	23	30	27	10	0.4-0.6	0.45
Camote	0.50	1.15	0.65	16	32	54	32	1.0-1.5	0.65
Chile dulce	0.60	1.05	0.90	24	28	32	16	0.5-1.0	0.30
Chile jalapeño	0.60	1.05	0.90	24	28	32	16	0.5-1.0	0.30
Coliflor	0.70	1.05	0.95	21	30	25	9	0.4-0.7	0.45
Fresas	0.40	1.15	0.50	20	30	35	20	0.2-0.3	0.20
Melón	0.50	1.05	0.75	18	27	30	15	0.8-1.5	0.40
Pepinos	0.60	1.00	0.75	13	19	20	13	0.7-1.2	0.50
Remolacha	0.60	1.00	0.75	15	25	20	10	0.6-1.0	0.50
Repollo	0.70	1.05	0.75	21	30	35	9	0.5-0.8	0.45
Sandia	0.40	1.00	0.75	12	24	24	35	0.8-1.5	0.40
Calabaza	0.60	1.00	0.80	20	30	30	20	1.0-1.5	0.35
Espinaca	0.70	1.00	0.95	20	20	15	5	0.3-0.5	0.20
Tomates	0.60	1.15	0.90	22	30	30	18	0.7-1.5	0.40
Zapallo	0.60	0.95	0.70	20	30	25	15	0.6-1.0	0.50
Papaya ^w	0.64	1.16	1.19	84	23	153	120	1.0-1.5	

Fuente FAO, Evapotranspiración de los cultivos. ^w Montenegro, A.; Bezerra, F. y De Lima, A.2004. Evapotranspiration and crop coefficients of papaya in the coastal region of Ceará stata, Brazil. Engenharia Agrícola Journal.

Anexo 4.

Cuadro 61. Porcentaje del área humedecido en el riego por goteo. Fuente: (Villalobos, 2018)

Porcentaje de área humedecido por riego															
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 sobre los goteros del lateral (m)														
	0.2	0.5	0.9	0.3	0.7	1	0.6	1	1.3	1	1.3	1.7	1.3	1.6	2
Porcentaje del área bajo riego (estimado) (%)															
0.8	38	88	100	50	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
1	33	70	100	40	80	100	80	100	100	100	100	100	100	100	
1.2	25	58	100	33	67	100	67	100	100	100	100	100	100	100	
1.5	20	47	80	26	53	80	53	80	100	80	100	100	100	100	
2	15	35	60	20	40	60	40	60	80	60	80	100	80	100	
2.5	12	28	48	16	32	48	32	48	64	48	64	80	64	80	
3	10	23	40	13	26	40	26	40	53	40	53	67	53	67	
3.5	9	20	34	11	23	34	23	34	46	34	46	57	46	57	
4	8	18	30	10	20	30	20	30	40	30	40	50	40	50	
4.5	7	16	26	9	18	26	18	26	36	26	36	44	36	44	
5	6	14	24	8	16	24	16	24	32	24	32	40	32	40	
6	5	12	20	7	14	20	14	20	27	20	27	34	27	34	

G = Textura gruesa, Arenosa
M = Textura media, Franca
F = Textura fina, Arcillosa

Anexo 5.

DRIPPERS TECHNICAL DATA

FLOW RATE* (L/H)	WORKING PRESSURE RANGE (BAR)	WATER PASSAGES DIMENSIONS WIDTH-DEPTH-LENGTH (MM)	FILTRATION AREA (MM ²)	CONSTANT K	EXPONENT * X	RECOMMENDED FILTRATION (MICRON)/(MESH)	SHUT OFF PRESSURE (BAR)
0.7	1.0 – 4.0	0.70 x 0.65 x 40	110	0.7	0	130/120	0.14
1.0	1.0 – 4.0	0.83 x 0.74 x 40	130	1.0	0	130/120	0.14
1.6	1.0 – 4.0	1.07 x 0.79 x 40	130	1.6	0	130/120	0.14
2.3	1.0 – 4.0	1.26 x 0.95 x 40	130	2.3	0	130/120	0.14
3.5	1.0 – 4.0	1.59 x 1.10 x 40	150	3.5	0	130/120	0.14

* Within working pressure range

DRIPPERLINES TECHNICAL DATA

MODEL	INSIDE DIAMETER (MM)	WALL THICKNESS (MM)	OUTSIDE DIAMETER (MM)	MAX. WORKING PRESSURE (BAR)	MAXIMUM FLUSHING PRESSURE (BAR)	KD
16009	14.2	0.9	16.0	3.0	3.9	1.3
16010	14.2	1.0	16.2	3.5	4.6	1.3
16012	14.2	1.2	16.6	4.0	5.2	1.3
17012	14.6	1.2	17.0	4.0	5.2	1.1
20010	17.5	1.0	19.5	3.5	4.6	0.4
20012	17.5	1.2	19.9	4.0	5.2	0.4
23010	20.8	1.0	22.8	3.0	3.5	0.3

DRIPPERLINES PACKAGE DATA (ON BUNDLED COILS)

MODEL	WALL THICKNESS (MM)	COIL LENGTH (M)	DISTANCE BETWEEN DRIPPERS (M)	AVERAGE* COIL WEIGHT (KG)	COILS IN A 40 FEET CONTAINER (UNITS)	TOTAL IN A 40 FEET CONTAINER (M)
16009	0.9	500	0.15 to 1.00	20.3	330	165000
16010	1.0	500	0.15 to 1.00	22.1	330	165000
16012	1.2	400	0.15 to 1.00	21.2	352	140800
17012	1.2	400	0.15 to 1.00	22.4	352	140800
20010	1.0	300	0.15 to 1.00	17.4	330	99000
20012	1.2	300	0.15 to 1.00	20.2	330	99000
23010**	1.0	200	0.15 to 0.25	14.7	480	96000
		300	0.30 to 1.00	20.7		144000

Figura 21. Información técnica de la manguera con goteros autocompensados incorporados netafim Uniram CNL 16010. Fuente: (Netafim, s.f)

Anexo 6.

Cuadro 62. Relación de transpiración con base a la profundidad radicular y textura del suelo. Fuente: (Villalobos, 2018)

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

Anexo 7.

ClickTif HD



Gotero de Botón para trabajo intenso Autocompensante (PC) y Antidrenante (CNL)

Salida tapa cónica



PC CNL

Salida conexión dentada 3/5



PC CNL



1.3 l/h 2.0 l/h 3.0 l/h 4.0 l/h 8.0 l/h 12.0 l/h

Longitud del lateral máxima recomendada (m) en suelo plano

Diámetro lateral (Ø)	Presión de ajuste (P)	15mm ID - 15.4mm KD=0.4						20mm ID - 17.0mm KD=0.15					
		Espaciamiento de goteros (cm)						Espaciamiento de goteros (cm)					
		20	40	60	80	100	20	40	60	80	100		
1.3	10	84	132	172	208	240	131	205	279	335	385		
	15	107	169	219	264	305	157	260	340	410	474		
	20	123	194	252	304	353	305	319	413	498	573		
	25	137	215	279	337	389	312	334	433	523	603		
	30	149	232	302	364	420	329	360	469	564	653		
2	10	107	172	222	268	310	175	272	353	427	493		
	15	127	205	265	319	368	199	320	414	509	585		
	20	146	230	293	350	402	220	342	447	552	628		
	25	163	252	317	376	429	238	362	477	592	668		
	30	177	272	339	400	454	253	378	493	608	684		
3	10	125	197	257	309	358	195	306	397	480	554		
	15	159	249	319	374	423	227	348	449	532	606		
	20	181	277	347	404	453	247	368	469	552	626		
	25	197	297	367	424	473	263	384	485	568	642		
	30	211	311	381	438	487	277	398	499	582	656		
4	10	141	213	273	324	373	213	324	415	498	572		
	15	175	257	317	368	417	247	368	469	552	626		
	20	197	287	347	404	453	263	384	485	568	642		
	25	213	303	363	420	469	277	398	499	582	656		
	30	227	317	377	434	483	289	410	511	594	668		
8	10	22	41	53	65	77	40	62	82	100	114		
	15	28	51	67	81	95	52	80	104	125	145		
	20	30	59	77	95	111	58	92	120	144	168		
	25	33	65	85	103	119	65	102	133	160	180		
	30	35	71	93	111	129	71	111	142	172	200		
12	10	25	45	59	71	83	45	70	91	112	129		
	15	28	50	65	79	91	50	78	103	123	142		
	20	30	55	71	85	99	54	84	110	133	153		
	25	33	58	75	91	105	57	85	118	142	163		
	30	35	61	80	96	111	61	92	124	149	172		

* Presión mínima en el extremo del lateral: PC = 0.5 bar, CNL = 0.8 bar
 ** No se recomienda una longitud del lateral que exceda los 200 m.
 *** En el lateral no se recomienda pérdida de carga mayor a 1.5 bar.

© NaaDanJain Ltd. 05/2015

APLICACIONES

- Invernaderos, viveros, huertos, viñedos, aplicaciones paisajísticas y parcelas de jardinería
- Riego por pulsos y riego en condiciones sin suelo
- Evite el exceso de drenaje en lugares bajos (modelo CNL)

ESTRUCTURA Y CARACTERÍSTICAS

- Goteros y accesorios para trabajo intenso en diversas configuraciones
- Cuatro elementos en el diseño del gotero minimizan el taponamiento:
 1. Entrada de agua protegida
 2. Mecanismo de lavado del diafragma de regulación
 3. Fuerte flujo turbulento en laberinto permite limpieza y lavados continuos
 4. Grandes pasajes de agua
- Codificado por color para la identificación de descarga y modelo
- Conector estándar cónico de 5 mm para trabajar con conectores rápidos o salida con conexión dentada para tubo de 3/5
- Resistente a los productos químicos usuales, fabricado con materiales plásticos de alto grado de calidad para lograr una mayor precisión y durabilidad
- Dos modelos disponibles: PC y CNL (Antidrenante)
- Diseño CNL distintivo con "borde filoso" que evita la acumulación de suciedad y asegura una operación confiable bajo condiciones difíciles
- 6 caudales diferentes

DATOS TÉCNICOS

- Descarga nominal: 1.3, 2.0, 3.0, 4.0, 8.0, 12.0 l/h
- Rango de regulación de presión: 0.5 – 4.0 bar
- Muy bajo CV
- Presión mínima recomendada: 1,0 bar
- Antidrenante (CNL): Presión de apertura: 8,0 m
Presión de cierre: 3,0 m
- Recomendación de filtración: 130 micrones (120 mesh)

Figura 22. Hoja técnica del Gotero botón ClickTif antidrenante (CNL). Fuente: (NaaDanJain, 2010)

Anexo 8.

Cuadro 63. Flujo neto para el análisis económico del cultivo de chile dulce.

FLUJOS NETOS, VAN, TIR, PERIODO DE RECUPERACIÓN Y PUNTO DE EQUILIBRIO UNITARIO											
Años	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Total Ingresos por año		€24 000 000,00	€24 000 000,00	€24 000 000,00	€24 000 000,00	€24 000 000,00	€24 000 000,00	€24 000 000,00	€24 000 000,00	€24 000 000,00	€24 000 000,00
Costos por año		-19 416 528,59	-19 416 528,59	-19 416 528,59	-19 416 528,59	-19 416 528,59	-19 416 528,59	-19 416 528,59	-19 416 528,59	-19 416 528,59	-19 416 528,59
Depreciación del equipo		-135 519,50	-135 519,50	-135 519,50	-135 519,50	-135 519,50	-135 519,50	-135 519,50	-135 519,50	-135 519,50	-135 519,50
Utilidad Bruta		4 447 951,91	4 447 951,91	4 447 951,91	4 447 951,91	4 447 951,91	4 447 951,91	4 447 951,91	4 447 951,91	4 447 951,91	4 447 951,91
Impuestos (15%)		-667 192,79	-889 590,38	-889 590,38	-889 590,38	-889 590,38	-889 590,38	-889 590,38	-889 590,38	-889 590,38	-889 590,38
Utilidad Neta		3 780 759,12	3 558 361,53	3 558 361,53	3 558 361,53	3 558 361,53	3 558 361,53	3 558 361,53	3 558 361,53	3 558 361,53	3 558 361,53
Depreciación del equipo		135 519,50	135 519,50	135 519,50	135 519,50	135 519,50	135 519,50	135 519,50	135 519,50	135 519,50	135 519,50
Inversión equipo	5 497 168,96										
Flujo neto	-5 497 168,96	3 916 278,62	3 693 881,03	3 693 881,03	3 693 881,03	3 693 881,03	3 693 881,03	3 693 881,03	3 693 881,03	3 693 881,03	3 693 881,03
Valor Presente	-5 497 168,96	3 405 459,67	2 793 104,74	2 428 786,73	2 111 988,46	1 836 511,71	1 596 966,70	1 388 666,70	1 207 536,26	1 050 031,53	913 070,90

Cuadro 64. Flujo neto para el análisis económico del cultivo de chayote.

FLUJOS NETOS, VAN, TIR, PERIODO DE RECUPERACIÓN Y PUNTO DE EQUILIBRIO UNITARIO											
Años	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Total Ingresos por año		€ 22 080 000,00	€ 22 080 000,00	€ 22 080 000,00	€ 22 080 000,00	€ 22 080 000,00	€ 22 080 000,00	€ 22 080 000,00	€ 22 080 000,00	€ 22 080 000,00	€ 22 080 000,00
Costos por año		-20 933 616,47	-20 933 616,47	-20 933 616,47	-20 933 616,47	-20 933 616,47	-20 933 616,47	-20 933 616,47	-20 933 616,47	-20 933 616,47	-20 933 616,47
Depreciación del equipo		-66 974,00	-66 974,00	-66 974,00	-66 974,00	-66 974,00	-66 974,00	-66 974,00	-66 974,00	-66 974,00	-66 974,00
Utilidad Bruta		1 079 409,53	1 079 409,53	1 079 409,53	1 079 409,53	1 079 409,53	1 079 409,53	1 079 409,53	1 079 409,53	1 079 409,53	1 079 409,53
Impuestos (15%)		-161 911,43	-161 911,43	-161 911,43	-161 911,43	-161 911,43	-161 911,43	-161 911,43	-161 911,43	-161 911,43	-161 911,43
Utilidad Neta		917 498,10	917 498,10	917 498,10	917 498,10	917 498,10	917 498,10	917 498,10	917 498,10	917 498,10	917 498,10
Depreciación del equipo		66 974,00	66 974,00	66 974,00	66 974,00	66 974,00	66 974,00	66 974,00	66 974,00	66 974,00	66 974,00
Inversión equipo	1 903 700,06										
Flujo neto	-1 903 700,06	984 472,10	984 472,10	984 472,10	984 472,10	984 472,10	984 472,10	984 472,10	984 472,10	984 472,10	984 472,10
Valor Presente	-1 903 700,06	856 062,69	744 402,34	647 306,38	562 875,12	489 456,62	425 614,45	370 099,53	321 825,67	279 848,41	243 346,45

Anexo 9.

Cuadro 65. Criterios de ponderación establecido en la plantilla técnica de SETENA.

5. CRITERIOS DE PONDERACIÓN



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

1. Valor preliminar de SIA , es decir la sumatoria de todos los valores individuales (Σ)	98,00
--	-------

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

2.a Con Reglamento específico en materia ambiental que regule la actividad, obra o proyecto (ρ). Se multiplica la sumatoria de SIA (Σ) por un factor de 1 =	1	Decreto Ejecutivo No. _____	3. Sin Reglamento específico en materia ambiental (ρ) que regule la operación, se multiplica la sumatoria (Σ) de SIA por un factor de 2=	2
2.b Con compromiso del desarrollador a adherirse voluntariamente a una norma o guía ambiental de construcción y operación, según corresponda que exista para la actividad, obra o proyecto que se plantea en el D1(ρ). Dicha norma o guía ambiental será de acatamiento obligatorio para el desarrollador, en lo que corresponda, desde el momento en que la SETENA le otorga la viabilidad ambiental. En este caso se multiplica la sumatoria de SIA (Σ) por un factor de 0,75 =	0,75			
		(ρ)	2	
4. Valor de SIA ajustado por regulaciones (SIA_R) =	196			

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

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

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

(β)	1,5
-------------	-----

9. Calificación final de la SIA:	294
---	-----

Anexo 10.

A través de la Metodología para la Evaluación de Impacto Social, la cual es que es apoyado por la Cooperación Alemana al Desarrollo Sustentable en México, y desarrollado por la empresa GreenMomentum S.A.P.I de C.V. Se desarrolló la aplicación del siguiente cuestionario para la Identificación y Evaluación de Impactos Sociales.

Cuestionario aspecto social

1. ¿El proyecto tiene impactos en puestos de trabajo o condiciones laborales?

Ejemplo: El Proyecto crea nuevas oportunidades de empleo, incluyendo la generación de ingresos, mantiene condiciones de trabajo seguras y considera medidas para evitar la discriminación.

Si respondió que existen Impactos Negativos o Co-beneficios a la pregunta anterior, continúe con las preguntas específicas asociadas a este aspecto.

Preguntas específicas

1.1. ¿El proyecto tiene impactos sobre el número de empleos permanentes o de largo plazo (> 1 año)?

1.2. ¿El proyecto tiene impactos sobre el número de empleos temporales o de corto plazo (< 1 año)?

1.3. ¿El proyecto tiene impactos en materia de salud y seguridad ocupacional?

2. ¿El proyecto tiene impactos sobre la salud o la seguridad de las comunidades dentro del área de influencia?

Ejemplo: El proyecto reduce riesgos a la salud tales como enfermedades y accidentes, o mejora las condiciones de salud a través de actividades tales como la construcción de un hospital, centro de atención de salud o instalaciones sanitarias, la seguridad alimentaria, mejora la respuesta ante un posible desastre natural, evitar daños a la salud mediante reducción de contaminantes y humo en interiores.

- Si respondió que existen Impactos Negativos o Co-beneficios a la pregunta anterior, continúe con las preguntas específicas asociadas a este aspecto.

Preguntas específicas

- 2.1. ¿El proyecto tiene impactos en reducción o prevención de enfermedades o accidentes?
- 2.2. ¿El proyecto tiene impactos en reducción de la delincuencia?
- 2.3. ¿El proyecto tiene impactos en los servicios de salud (por ejemplo, hospitales, médicos, medicamentos) o en instalaciones sanitarias?
- 2.4. ¿El proyecto tiene impactos en la propensión y/o respuesta a desastres naturales?
3. ¿El proyecto tiene impactos en educación y capacitación?

Ejemplo: El proyecto facilita la educación, la difusión de información, o la concientización en relación con, por ejemplo, la gestión de residuos, los recursos energéticos renovables y el cambio climático a través de la construcción de una escuela, de ejecución de los programas de educación, visitas y excursiones.

- Si respondió que existen Impactos Negativos o Co-beneficios a la pregunta anterior, continúe con preguntas específicas asociadas a este aspecto.

Preguntas específicas

- 3.1. ¿El proyecto tiene impactos en servicios educativos (escuelas, maestros, acceso o calidad de la educación)?
- 3.2. ¿El proyecto tiene impactos en difusión del conocimiento?
4. ¿El proyecto tiene impactos en el bienestar social?

Ejemplo: El proyecto tiene impactos en el desarrollo comunitario y social, las condiciones de vida de la comunidad, mitigación de la pobreza.

- Si respondió que existen Impactos Negativos o Co-beneficios a la pregunta anterior, continúe con las preguntas específicas asociadas a este aspecto.

Preguntas específicas

- 4.1. ¿El proyecto tiene impactos en el desarrollo comunitario o social?
5. ¿El proyecto tiene impactos en la igualdad de género?

Ejemplo: El proyecto promueve la participación equitativa de hombres y mujeres en cuanto a oportunidades de empleo, remuneración, toma de decisiones, desarrollo profesional u otros beneficios.

existen Impactos Negativos o Co-beneficios a la pregunta anterior, continúe con las preguntas específicas asociadas a este aspecto.

Preguntas específicas

5.1. ¿El proyecto tienes impactos en la forma de vida, educación, o capacitación para mujeres?

6. ¿El proyecto tiene impactos en el patrimonio cultural?

Ejemplo: El proyecto altera la integridad física, ubicación, acceso, seguridad o características intrínsecas de patrimonio con significancia arqueológica, cultural, histórica y/o religiosa dentro del área de influencia.

Si respondió que existen Impactos Negativos o Co-beneficios a la pregunta anterior, continúe con las preguntas específicas asociadas a este aspecto.

Preguntas específicas

6.1. ¿El proyecto tiene Impactos en el patrimonio arqueológico, cultural histórico y/o religioso dentro del área de influencia?

7. ¿El proyecto tiene impactos en el desplazamiento físico o económico de personas?

Ejemplo: El proyecto ocasiona el reasentamiento de personas debido a la compra, relacionada con el proyecto, de la tierra o ciertas restricciones en el uso de suelo. El Proyecto ocasiona una pérdida o restricción en el acceso a otros bienes y recursos (por ejemplo, tierras agrícolas) que afectarían negativamente los bienes, los medios de vida y subsistencia.

Si respondió que existen Impactos Negativos o Co-beneficios a la pregunta anterior, continúe con las preguntas específicas asociadas a este aspecto.

Preguntas específicas

7.1. ¿El proyecto, en cualquiera de sus fases, involucra el Desplazamiento Físico de personas en el área de influencia?

7.2. ¿El proyecto, en cualquiera de sus fases, involucra el Desplazamiento Económico (por ejemplo, pérdida de ingresos o acceso a medios de subsistencia) de personas en el área de influencia?