

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA
VICERRECTORÍA DE DOCENCIA
ESCUELA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA



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

DISEÑO DE DRENAJE SUPERFICIAL Y RIEGO POR GOTEO Y ASPERSIÓN
SUBARBÓREO, PARA LA PRODUCCIÓN DEL CULTIVO DE AGUACATE HASS EN
FINCA NUBES, CORIS, CARTAGO.

JOSÉ DARÍO GUZMÁN ÁLVAREZ

CARTAGO, 2021

DISEÑO DE DRENAJE SUPERFICIAL Y RIEGO POR GOTEO Y ASPERSIÓN
SUBARBÓREO, PARA LA PRODUCCIÓN DEL CULTIVO DE AGUACATE HASS EN LA
FINCA NUBES EN LA ZONA DEL VALLE DE CORIS, CARTAGO.

José Darío Guzmán Álvarez

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

Adrián Chavarría

Asesor

Isabel Guzmán

Director Escuela
Ingeniería Agrícola

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

CARTAGO, COSTA RICA

2021

DEDICATORIA

A mis padres Jenny Álvarez y Mario Guzmán que me apoyaron en todo momento de este viaje universitario con consejos y motivación constante para los momentos más complicados.

A mis abuelos Olga Hidalgo (Mima) y José Antonio Álvarez (Neno) quienes me aconsejaron y alentaron a dar siempre más de mí.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, a Dios por darme las fuerzas y sabiduría para retomar mi carrera universitaria, después de haberla pospuesto por un tiempo y permitirme concluir una etapa más en mi vida.

A mis profesores y personal administrativo que siempre me trataron como un colega más y me hicieron sentir orgulloso de esta hermosa carrera que Dios me designo cursar.

A mi profesor Adrián Chavarría Vidal que a pesar de haber tenido un quebranto de salud que puso en riesgo su vida, siempre estuvo ahí para apoyarme y aconsejarme en este proyecto.

A mis amigos que hice durante toda esta etapa que de alguna u otra manera llegaron a impactar de manera positiva en mi futuro, especialmente David Coto, Joseph Vargas, Nancy Barahona y Dimas Arrieta, ¡Muchas gracias!

ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE CUADROS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
RESUMEN	x
ABSTRACT	xi
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. OBJETIVOS.....	3
1.1.1. Objetivo general.....	3
1.1.2. Objetivos específicos	3
CAPÍTULO 2. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1. CULTIVO	5
2.2. VARIABLES DE SIEMBRA/ CARACTERISTICAS DEL CULTIVO	5
2.2.1. Estado fenológico.....	5
2.2.2. Profundidad radicular.....	5
2.2.3. Coeficiente de cultivo (Kc).....	5
2.3. EVAPOTRANSPIRACIÓN.....	6
2.3.1. Evapotranspiración potencial (Eto).....	6
2.3.2. Evapotranspiración real (Etr).....	6
2.3.3. Evapotranspiración de un cultivo en condiciones estándar (Etc)	6
2.4. CLIMATOLOGÍA	7
2.4.1. Temperatura del aire	7
2.4.2. Humedad del aire	7
2.4.3. Precipitación	7
2.4.4. Evaporación	7
2.4.5. Radiación solar.....	7
2.5. CARACTERISTICAS DEL SUELO.....	7
2.5.1. Textura	7
2.5.2. Infiltración.....	8
2.5.3. Escorrentía	8
2.5.4. Materia Orgánica (MO)	8
2.5.5. Contenido hídrico del suelo	8

2.6.	DRENAJE	9
2.6.1.	Drenaje Superficial	9
2.6.2.	Caudal máximo	10
2.6.3.	Drenaje Subsuperficial.....	11
2.6.4.	Hidráulica de canales	13
2.7.	RIEGO.....	15
2.7.1.	Goteo.....	15
2.7.2.	Subarbóreo o microaspersión.....	18
2.8.	ANÁLISIS SOCIAL	20
2.9.	ANÁLISIS ECONÓMICO	21
2.9.1.	Estudio Económico financiero	21
2.10.	ANÁLISIS AMBIENTAL	23
CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA.....		24
3.1.	ANÁLISIS DEL LUGAR DEL PROYECTO	25
3.1.1.	Levantamiento topográfico	25
3.2.	DISEÑO DE LAS OBRAS DE DRENAJE.....	25
3.2.1.	Parámetros climatológicos.....	25
3.2.2.	Textura	25
3.2.3.	Drenaje superficial	27
3.2.4.	Drenaje Subsuperficial.....	30
3.3.	DISEÑO DE LOS SISTEMAS DE RIEGO	31
3.3.1.	Evapotranspiración	31
3.3.2.	Infiltración.....	31
3.3.3.	Contenido hídrico del suelo	32
3.3.4.	Diseño del sistema de riego por goteo	33
3.3.5.	Diseño del sistema de riego subarbóreo.....	41
3.4.	EVALUACIÓN AMBIENTAL, SOCIAL Y ECONÓMICO.....	46
3.4.1.	Análisis social	46
3.4.2.	Análisis económico	47
3.4.3.	Análisis ambiental.....	49
CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y ANALISIS DE RESULTADOS		50

4.1.	UBICACIÓN DEL PROYECTO.....	51
4.2.	ESTUDIO TOPOGRAFICO.....	51
4.3.	DISEÑO DE LAS OBRAS DE DRENAJE.....	53
4.3.1.	Drenaje superficial.....	53
4.3.2.	Drenaje sub superficial.....	55
4.4.	DISEÑO DE LOS SISTEMAS DE RIEGO.....	57
4.4.1.	Cultivo del aguacate Hass.....	57
4.4.2.	Estudio del suelo.....	57
4.4.3.	Riego por goteo.....	59
4.4.4.	Riego por microaspersión.....	69
4.5.	EVALUACIÓN AMBIENTAL, SOCIAL Y ECONÓMICO.....	74
4.5.1.	Análisis social.....	74
4.5.2.	Análisis económico.....	76
4.5.3.	Análisis ambiental.....	82
CAPITULO 5 CONCLUSIONES Y RECOMEDACIONES.....		83
5.1.	CONCLUSIONES.....	84
5.2.	RECOMENDACIONES.....	85
CAPITULO 6. BIBLIOGRAFÍA.....		86
CAPITULO 7. ANEXOS.....		91

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Taludes recomendados en función del caudal.	13
Cuadro 2. Pendientes admisibles en función del tipo de suelo.....	13
Cuadro 3. Ancho de solera en función del caudal.	14
Cuadro 4. Velocidades máximas recomendadas en función de las características del suelo. .	15
Cuadro 5. Clasificación del proyecto con los formularios del SETENA.	23
Cuadro 6. Lluvia de diseño para un periodo de retorno de 10 años.	53
Cuadro 7. Cálculo de precipitación, escorrentía, infiltración potencial y recarga hidráulica...53	
Cuadro 8. Cálculo del coeficiente de Escorrentía.....	54
Cuadro 9. Cálculo del caudal de escorrentía en toda la finca.....	54
Cuadro 10. Caudal máximo de la Quebrada Barahona.	55
Cuadro 11. Dimensionamiento del dren subsuperficial.....	56
Cuadro 12. Características del cultivo del aguacate Hass.	57
Cuadro 13. Porcentajes de Arena, Arcilla y Limo.....	58
Cuadro 14. Resultados de las pruebas de infiltración.....	58
Cuadro 15. Porcentajes de CC y PMP.....	59
Cuadro 16. Valor de la densidad aparente.	59
Cuadro 17. Caudal de la Quebrada Barahona.....	59
Cuadro 18. Datos agronómicos para el cálculo de la lámina neta.	60
Cuadro 19. Cálculo de la evapotranspiración real.	60
Cuadro 20. Efecto de la sombra en la evapotranspiración.	61
Cuadro 21. Recalcular la lámina neta según la nueva Evapotranspiración.	61
Cuadro 22. Cálculo de la eficiencia de riego y lámina bruta.....	61
Cuadro 23. Cálculo del tiempo de riego, caudal del gotero y turnos de riego posible.	62
Cuadro 24. Partes y lotes por analizar en diseño hidráulico.....	62
Cuadro 25. Cálculo de los parámetros hidráulicos de la tubería del árbol del lote 2.	63
Cuadro 26. Cálculo de los parámetros hidráulicos de la tubería lateral del lote 2.	64
Cuadro 27. Cálculo de los parámetros hidráulicos de la tubería en la múltiple del lote 2.	64
Cuadro 28. Cálculo de los parámetros hidráulicos de la tubería en la múltiple del lote 2.	65

Cuadro 29. Datos hidráulicos de la tubería del árbol (Rabo cerdo).	66
Cuadro 30. Datos hidráulicos de la tubería de conducción de lateral.....	66
Cuadro 31. Datos hidráulicos de la tubería de conducción de lateral.....	67
Cuadro 32. Datos hidráulicos de la tubería de conducción de lateral.....	67
Cuadro 33. Cargas dinámicas totales de los lotes críticos.....	68
Cuadro 34. Curva de operación de la Bomba para goteo.	68
Cuadro 35. Cálculo del porcentaje de área bajo riego.	69
Cuadro 36. Cálculo de la lámina neta y de la frecuencia de riego.	69
Cuadro 37. Cálculo de la lámina Bruta para microaspersión.	70
Cuadro 38. Cálculo de los parámetros agronómicos para riego por microaspersión.	70
Cuadro 39. División de los lotes para análisis del sistema.....	71
Cuadro 40. Datos hidráulicos de la tubería de conducción de lateral en microaspersión.	71
Cuadro 41. Datos hidráulicos de la tubería de conducción de la múltiple en microaspersión.	72
Cuadro 42. Datos hidráulicos de la tubería de conducción de la principal en microaspersión.....	73
Cuadro 43. Cargas dinámicas totales de Microaspersión.....	73
Cuadro 44. Costos de excavación de drenes.....	76
Cuadro 45. Costos de los materiales del proyecto.....	77
Cuadro 46. Costo de los árboles de aguacate Hass.....	77
Cuadro 47. Costos de la mano de obra.	78
Cuadro 48. Costos del mantenimiento de la producción de los árboles de aguacate Hass.	78
Cuadro 49. Porcentaje de pérdida de árboles.	78
Cuadro 50. Precio del aguacate Hass por el PIMA al 1/07/2021.	79
Cuadro 51. Ingresos por la venta del aguacate Hass.	79
Cuadro 52. Análisis económico VAN y TIR propuesta 1.	80
Cuadro 53. Costos de los materiales para la propuesta de riego por microaspersión.....	81
Cuadro 54. Análisis económico VAN y TIR propuesta 2.	81
Cuadro 55. Análisis de datos de precipitaciones máximas en 10 años.....	92
Cuadro 56. Determinación del CC y PMP., Fuente Propia.	99
Cuadro 57. Determinación de la densidad aparente. Fuente Propia.....	99
Cuadro 58. Velocidades de infiltración para los diferentes tipos de suelos.	110
Cuadro 59. Periodo de retorno según tipo de obra	110

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Parámetros para el cálculo de espaciamiento de drenes.....	12
Figura 2. Movimiento del agua en suelo arcilloso. Fuente: Fernández, 2010.....	16
Figura 3. Movimiento del agua en suelo arenoso. Fuente: Fernández, 2010.	16
Figura 4. Movimiento del agua en suelo franco. Fuente: Fernández, 2010.	16
Figura 5. Microaspersor AquaSmart 2002 NaanDanJain.....	19
Figura 6. Ubicación del proyecto en la Finca Nube.	51
Figura 7. Mapa de curvas de nivel y pendientes de la finca Nubes, Fuente propia.....	52
Figura 8. Mapa del diseño de los drenajes subsuperficiales.....	56
Figura 9. Mapa de la distribución de la red hidráulica.	68
Figura 10. Distribución de los lotes y de la red hidráulica para el sistema de riego por microaspersión.	74
Figura 11. Gráfico de los datos de la precipitación vrs Tiempo de retorno. Fuente Propia.	92
Figura 12. Valores de coeficiente de escorrentía. Fuente Villalobos,2005.	93
Figura 13. Valores de n dados por Horton. Fuente Villalobos,2005.....	93
Figura 14. Determinación de PAR. Fuente Villalobos, 2017.....	94
Figura 15. Triangulo de Texturas. Fuente Villon, 2006.	94
Figura 16. Condición de humedad antecedente (CHA). Fuente Villalobos,2005.	95
Figura 17. Clasificación Hidrológica de los suelos. Fuente Villalobos,2005.....	95
Figura 18. Curvas de escorrentía para los complejos suelo-cobertura (NC). Fuente Villalobos,2005.	96
Figura 19. Cuadro del TR en función de las raíces y Textura. Fuente Villalobos, 2017.	97
Figura 20. Valores de F de Cristianasen. Fuente Villalobos, 2017.	97
Figura 21. Coeficiente del material de la tubería. Fuente Villalobos, 2017.....	97
Figura 22. Distribución de los árboles en el terreno. Fuente propia.....	98
Figura 23. Fórmulas de las curvas IDF para diversas zonas de Costa Rica. Fuente Villalobos, 2005.....	99
Figura 24. Dimensionamiento del canal de la Quebrada Barahona en una Avenida Máxima. Fuente Elaborado con HCanales.	100

Figura 25. Mapa del área de influencia de la quebrada Barahona. Fuente Propia.	100
Figura 26. Dimensionamiento de los drenes subsuperficiales. Fuente Propia.	101
Figura 27. Datos de la muestra 1 de la conductividad hidráulica. Fuente Propia.	102
Figura 28. Datos de la muestra 2 de la conductividad hidráulica. Fuente Propia.	102
Figura 29. Datos de la muestra 3 de la conductividad hidráulica. Fuente Propia.	103
Figura 30. Datos de la curva de operación de la Bomba ECM4-30. Fuente Evergush., 2018.	103
Figura 31. Pantallazo del programa CropWat para el cálculo de la Eto. Fuente Elaborado por CROPWAT.	104
Figura 32. Tabla de especificación del Gotero PCJ Dripper. Fuente Netafim (s.f).....	104
Figura 33. Tabla de especificaciones del micro aspersor. Fuente NaanDanJain. 2010.....	105
Figura 34. Matriz de impacto social. Fuente propia.	106
Figura 35. Balance y análisis económico de la propuesta 1.	107
Figura 36. Balance y análisis económico de la propuesta 2.	107
Figura 37. Formulario D1 Setena. Fuente Setena.....	108
Figura 38. Perfil del suelo a 50cm en la finca Nubes. Fuente Propia.....	109
Figura 39. Diseño de la red del sistema de drenajes.....	111
Figura 40. Dimensionamiento del dren superficial	112

RESUMEN

Con el fin de suplir las condiciones hídricas de la planta y obtener un suelo ideal para el crecimiento y producción del aguacate Hass, se realizó el diseño de drenaje tanto superficial como subsuperficial, y el diseño de riego tanto por goteo y microaspersión para el cultivo de aguacate Hass, en finca Nubes, ubicada en el Distrito de Guadalupe en el cantón Central de la provincia de Cartago, con una altitud promedio de 1386 msnm.

El diseño se requirió conocer las propiedades físicas del suelo (textura, humedades gravimétricas, infiltración, densidad aparente) entre otras, para poder realizar todos los diseños en base a la realidad del terreno con una visión de lograr obtener la mayor rentabilidad, los drenajes que son la base para que esta plantación no sufra daños irreversibles ya que es muy propensa a problemas por excesos de agua.

Se realizaron análisis económicos, ambientales y sociales obteniendo rentabilidad para poder desarrollar este proyecto.

Palabras Claves: goteo, microaspersión, aguacate, drenaje.

ABSTRACT

In order to supply the water conditions of the plant and obtain an ideal soil for the growth and production of avocado Hass, the design of both superficial and subsurface drainage was carried out, as well as the design of both drip and micro-sprinkler irrigation for the avocado cultivation. , in Nubes farm, located in the District of Guadalupe in the Central canton of the average province of Cartago, with an altitude of 1386 meters above sea level.

The design required knowing the physical properties of the soil (texture, gravimetric humidity, infiltration, apparent density) among others, to be able to carry out all the designs based on the reality of the land with a view to achieving the highest profitability, the drainage that They are the basis for this plantation not to suffer irreversible damage since it is very prone to problems due to excess water.

Economic, environmental and social analyzes were carried out, obtaining profitability in order to develop this project.

Key Words: drip, micro-spray, avocado, drain.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

El cultivo del aguacate Hass es cada vez más común en nuestro país y más aún en la provincia de Cartago ya que cumple con muchos de los requerimientos topográficos y climáticos para poder desarrollar esta plantación de oro verde como bien se le ha comenzado a llamar, si bien ya en zonas como México es predominante en este cultivo ahora en Costa Rica se está levantando los números de áreas cultivadas, es por ello que se opta por darle un aprovechamiento a la Finca Nubes que de momento solo se utiliza para mantener unas cabezas de ganado, y al ver el gran potencial que tiene se decide iniciar con los diseños para ponerla en producción.

Esta finca a lo largo del tiempo ha tenido problemas de drenaje debido a que es muy plana y en el centro presenta una depresión por ello es que es necesario un buen diseño de drenaje superficial y subsuperficial. Este cultivo es muy bien pagado y su precio no es tan fluctuante como otros como hortalizas.

El proyecto está para ejecutarse a más tardar en 3 años, por ello, los análisis económicos todavía estarían en vigor, así como los diseños que toman en cuenta datos de los años cercanos.

La finca está ubicada en el Valle de Coris, en el Cantón Central y en Distrito de Quebradilla, Nubes ha estado en el poder de la Familia Guzmán por ya casi una década y esto le daría una vuelta inesperada al uso y a las actividades programadas en la propiedad.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo general

Diseñar un sistema de drenaje superficial, un sistema de riego por goteo y un sistema de riego por aspersión subarbóreo, con la finalidad de mejorar el desarrollo y la producción del cultivo de aguacate Hass en la finca Nubes, ubicada en la zona del Valle de Coris, Cartago.

1.1.2. Objetivos específicos

- Diseñar las obras de drenaje que mejor se adapten al terreno para que no se inunde durante la época de mayor intensidad lluviosa y que no se vea afectada la producción del cultivo de aguacate Hass.
- Diseñar los sistemas de riego de por goteo y aspersión subarbóreo teniendo en cuenta las condiciones del terreno mediante la estimación de los parámetros agronómicos e hidráulicos para el cultivo de aguacate Hass.
- Evaluar los impactos ambientales, sociales, y económicos que generan la ejecución del proyecto, y así determinar la factibilidad para un futuro desarrollo.

CAPÍTULO 2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. CULTIVO

El aguacate Hass (*Persea Americana*) pertenece a la familia Lauraceae, esta variedad es importante por su calidad y producción, ya que puede producir varias cosechas sin necesidad variedades polinizadoras (MAG, 2011).

La profundidad radicular para el arbusto de aguacate Hass es de 0,5 m para suelos planos y 1 m en suelos con pendientes mayores a 25% (Garbanzo, 2011).

2.2. VARIABLES DE SIEMBRA/ CARACTERISTICAS DEL CULTIVO

Según menciona López (2016) las características propias del cultivo dependen del consumo de agua de este, por lo que rescata los siguientes factores:

2.2.1. Estado fenológico

El periodo de crecimiento y desarrollo de los cultivos es representado por el coeficiente de cultivo (K_c). Este coeficiente abarca el desarrollo del área foliar y fracción de cubrimiento en el suelo por el follaje en el tiempo. Básicamente el K_c depende del ciclo fenológico del cultivo, la localidad, la variedad y el régimen de riego previo. Por lo tanto, en este aspecto los cultivos consumen más agua cuando el crecimiento del follaje es máximo, y consumen menos a comienzos (siembra y germinación) y finales del período vegetativo (maduración y senescencia) cuando el área foliar es más baja.

2.2.2. Profundidad radicular

Al conocer dicho factor se puede establecer la cantidad de agua que las raíces del cultivo pueden extraer desde el perfil del suelo. Los cultivos frutales extraen alrededor del 40% del agua desde el primer cuarto de raíces, el 30% del segundo cuarto, el 20% del tercer cuarto y el 10% del último cuarto.

2.2.3. Coeficiente de cultivo (K_c)

Cada planta presenta características propias y pueden estar relacionadas con la resistencia que ejercen las raíces al flujo de agua, la resistencia que presentan los estomas de las hojas a la pérdida de agua, a las características físicas de la planta y la fracción de cubrimiento que puedan presentar en el suelo, estas características varían durante el desarrollo de la planta, todos estos

factores son abarcados por el K_c , lo cual lo hace distinto para cada especie durante el ciclo de vida (López, 2016).

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (ONU), para el aguacate Hass el coeficiente de cultivo inicial ($K_{c\text{ ini}}$) es de 0,60, el coeficiente de cultivo medio ($K_{c\text{ med}}$) es de 0,85 y coeficiente del cultivo final ($K_{c\text{ fin}}$) es de 0,75.

2.3. EVAPOTRANSPIRACIÓN

La evapotranspiración es la pérdida de agua de una superficie con cobertura vegetal. Las plantas utilizan en el proceso de transpiración, una cantidad de agua mucho mayor que la usada para su crecimiento y fotosíntesis, esta, sumada a las pérdidas por evaporación que ocurren desde la superficie del suelo y de la cobertura vegetal, se conoce como evapotranspiración, la cual es el consumo de agua por la planta o uso consuntivo (Valverde y Villalobos, 2016).

2.3.1. Evapotranspiración potencial (Eto)

También es conocida como evapotranspiración de referencia y se define como la cantidad de agua transpirada por una cobertura vegetal bajo una superficie de referencia (López, 2016).

Según Villalobos (2008), la evapotranspiración potencial, depende de los factores físicos, climáticos y está poco influenciada por la especie vegetal que se tenga.

2.3.2. Evapotranspiración real (Etr)

Es la evapotranspiración que se produce realmente en las condiciones existentes en cada caso específico que se vaya a estudiar, por ello se deberá de medir para obtener este parámetro. (Sánchez, 2009)

2.3.3. Evapotranspiración de un cultivo en condiciones estándar (Etc)

Es la evapotranspiración que se produciría en un cultivo especificado, sano, bien abonado y en condiciones óptimas de humedad del suelo. Es igual que la multiplicación del Eto y el coeficiente de cultivo (K_c). (Sánchez, 2009)

2.4. CLIMATOLOGÍA

2.4.1. Temperatura del aire

Se encuentra influenciada por la radiación adsorbida por la atmosfera y el calor emitido por la tierra. La temperatura del aire transfiere energía al cultivo ejerciendo control en la tasa de evapotranspiración. (FAO, sf)

2.4.2. Humedad del aire

Se expresa como la presión de vapor, esta interviene en el balance de agua interno de las plantas, limitando el fenómeno de transpiración (López, 2016).

2.4.3. Precipitación

El fenómeno atmosférico más notable son las precipitaciones, que pueden ser en diferentes formas e intensidades, tales como agua líquida, agua solida (nieve o granizo), siendo de mayor frecuencia la lluvia de agua líquida. (Ambientum, 2018)

2.4.4. Evaporación

Es el proceso en el que el agua en estado líquido se convierte en vapor de agua y se retira de la superficie evaporante. Para cambiar el estado de las moléculas líquidas a vapor se requiere de energía, la cual es proporcionada por la radiación solar directa y, en menor grado, la temperatura ambiente del aire (FAO, sf).

2.4.5. Radiación solar

La principal fuente de energía en el planeta y puede cambiar grandes cantidades de agua líquida en vapor de agua. La cantidad de radiación que puede llegar a una superficie va a depender de su localidad y época del año. Además, influye en el proceso de evapotranspiración ya que este está determinado por la cantidad de energía disponible para evaporar el agua (FAO, sf).

2.5. CARACTERISTICAS DEL SUELO

2.5.1. Textura

La textura del suelo es conocida como la relación porcentual de las partículas minerales, menores en tamaño a dos milímetros corresponden a las arenas, limos, y arcillas, cuya distribución

de dichas partículas minerales se realiza según su tamaño. Para determinar la textura de un suelo se conocen algunos métodos como: el tacto, el método de la pipeta y Bouyoucos (Chavarría, 2012).

2.5.2. Infiltración

Es el agua que penetra hacia el interior del suelo, por lo tanto, se define como: (...) “el proceso por el cual el agua penetra en el suelo, a través de la superficie del suelo, y queda retenida por él, o alcanza un nivel de un acuífero incrementando el volumen anterior acumulado” (...) (Chavarría, 2013)

2.5.3. Escorrentía

Es el exceso de agua superficial de lluvia que escurre por la red de drenajes hasta llegar a los causes fluviales mayores, es un actor principal en los procesos básicos del ciclo del agua. (Aqua, 2020)

2.5.4. Materia Orgánica (MO)

Es la cantidad de materia orgánica que ha sido incorporada al suelo a lo largo de cierto tiempo y que al descomponerse en el suelo generan sustancias nutritivas y fértiles para el suelo. (Chavarría, 2013)

2.5.5. Contenido hídrico del suelo

Capacidad de Campo (CC)

Es el contenido de agua o humedad que se encuentra retenido en el suelo después de haber drenado libremente por 24 horas (suelos livianos) y 48 horas (suelos pesados), ya sea causado por riego, por lluvia abundante o después de haber sido saturado (Chavarría, 2013).

Punto de marchitez permanente (PMP)

Es el contenido de humedad que se encuentra en el suelo (SIC) por debajo del cual las hojas de las plantas sufren una reducción permanente de su contenido de húmeda, debido a que las plantas no son capaces de absorber el agua presente en el suelo. El PMP se ha estimado que se encuentra entre 10 y 20 atm, considerando 15 atm como valor promedio (Chavarría, 2013).

Agua útil (AU)

Es el contenido de agua disponible para las plantas, es la cantidad de agua que se encuentra entre CC y PMP (Chavarría, 2013).

Densidad aparente

Es la relación que existe entre la masa del suelo y el volumen total que ocupa, se toma en cuenta el espacio poroso que hay entre las partículas sólidas (Chavarría, 2013).

2.6. DRENAJE

2.6.1. Drenaje Superficial

Aspectos del diseño hidrológico

Trazado y delimitación de áreas de influencia

Para ubicar los drenes colectores se deben de conocer las cotas bajas, para lo que se requiere un plano de curvas de nivel bien detallada, la red de drenaje se debe de trazar independientemente de cómo este dividido el terreno, por lo que es recomendable realizar la red de drenaje antes de hacer el parcelamiento. Una vez que se ha llevado a cabo el trazado de los drenes se debe de obtener el área de influencia de cada dren, ya que la capacidad de cada dren depende del área que deba drenar (Villalobos, 2005).

Lluvia de diseño

Menciona Villalobos (2005) que para determinar la lluvia de diseño es necesario conocer dos factores: el periodo de retorno (T_r) y el tiempo de drenaje; esta lluvia será aquella correspondiente igual al tiempo de drenaje (t_d).

Cálculo de la escorrentía (E)

Se deberá calcular ese exceso de agua superficial que se debe remover en el tiempo de drenaje (t_d), para ello el método más practico será el del balance hídrico, donde se utilizaran ecuaciones con relaciones entre lluvias de diseño, escorrentía total, infiltración total. (Villalobos 2005)

Método del número de curva (NC)

Según Villalobos (2005), es el método más utilizado para el cálculo de la escorrentía total, a partir de los datos de precipitación y parámetros de la cuenca de drenaje en estudio.

Condición de Humedad Antecedente (CHA)

El número de curva depende de los factores del tipo de suelo, cultivo y condición hidrológica de la zona, por lo tanto, se confeccionaron cuadros donde contempla estas variantes para poder obtener el número de Curva. (Villalobos, 2005)

Coeficiente de drenaje (C_d)

Es el exceso de agua que debe de ser removido por unidad de tiempo, esto con el objetivo de que el cultivo no sufra. Se expresa como lámina por unidad de tiempo. El coeficiente se da como un caudal por unidad de tiempo y área, siendo lo común litros por segundo por hectárea (L.p.s./Ha). (Villalobos, 2005)

Caudal de drenaje superficial

Obteniendo todas las variables de la precipitación, hasta llegar a la escorrentía, y con el área de estudio se logra obtener el caudal de agua a drenar por escorrentía. (Villalobos, 2005)

2.6.2. Caudal máximo

Método racional

Menciona Villalobos (2005) que este método se basa en la suposición de que el máximo caudal que se presentará por consecuencia de la lluvia se da cuando la duración de esta es igual al tiempo de concentración (T_c) de una cuenca o área específica. El T_c va a depender de las características geográficas y topográficas del área de estudio.

Se menciona que cuando la duración de lluvia es igual al tiempo de concentración, toda la cuenca está aportando al caudal en el punto de salida, en el caso que lluvia dure un tiempo mayor a T_c toda la cuenca está contribuyendo al caudal de salida, pero la intensidad de la lluvia es menor, ya que la duración es mayor, lo que genera un caudal menor, si pasará el caso contrario la duración es menor al T_c , la intensidad de lluvia es mayor, pero cuando cesa la lluvia, el agua que ha caído en los puntos más lejanos, aún no ha llegado a la salida, en otras palabras se contribuye una parte del área en estudio al caudal.

Coeficiente de escorrentía

De la lluvia total que llega al suelo, no toda llega a las salidas del cauce sino solo una parte es la que se evacua. A la fracción de esta agua que llega al cauce es a lo que se le denomina coeficiente de escorrentía, la cual es adimensional. (Villalobos, 2005)

Intensidad máxima

El valor de la intensidad máxima que se utiliza en la fórmula del método racional, es aquella que se produce para un período del retorno determinado (5 a 10 Años), y para una duración igual al tiempo de concentración T_c . (Villalobos, 2005)

Área de influencia

Es el área la cual le va aportar agua a la cuenca por lo cual se determina utilizando planos, hojas cartográficas o fotografías aéreas de la zona en estudio. (Villalobos, 2005)

2.6.3. Drenaje Subsuperficial

Según Villón (2006), este tipo de drenaje tiene como finalidad controlar la posición de la tabla de agua, nivel freático o napa freática, de forma que el balance de agua y sales en la zona radicular sea favorable para los cultivos. Para ello se elimina el agua infiltrada procedente de la lluvia, riego u otros orígenes.

Clases de drenes

En general los drenes por su construcción se pueden agrupar en dos clases

- a. Zanjas abiertas: Controlan el drenaje subterráneo y superficial. Estas por lo general quedan sobre dimensionadas para el caudal a evacuar, porque el dren se debe de profundizar, a un valor mucho mayor que el tirante requerido, a fin de controlar el nivel freático.
- b. Tuberías enterradas: Dejan pasar el agua a través de perforaciones o por las uniones de cada dos drenes. En todos los cálculos de las fórmulas, se supondrá que el tirante de agua en las tuberías es el 50% del diámetro. (Villón, 2006)

Parámetros para el cálculo de espaciamiento de drenes

En el diseño de un sistema de drenaje, es de suma importancia el cálculo del espaciamiento de drenes (L), (Figura 1), que depende de los siguientes parámetros, para lograr obtener la profundidad de la tabla de agua deseada:

R: recarga normativa

PTA: profundidad de la tabla de agua

PD: profundidad del dren

PEI: profundidad del estrato impermeable

B: Altura deseable de la napa freática.

y: tirante

b: ancho de solera

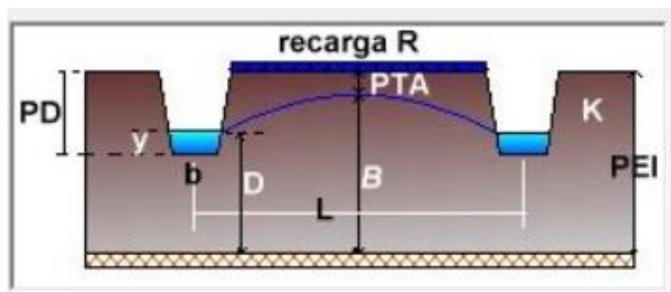


Figura 1. Parámetros para el cálculo de espaciamiento de drenes

Fuente: Villón, 2006.

Criterios de drenaje

Régimen del flujo

La velocidad de recarga y descarga definen el régimen del flujo y lo clasifican en permanente o no permanente, y este es el punto de partido para establecer los criterios de drenaje.

Descarga normativa

La descarga normativa, también conocido como coeficiente de drenaje, es el exceso de agua que un sistema de drenaje artificial debe extraer, adicionalmente a la salida natural de agua, para asegurar un nivel de tabla de agua que no sea restrictivo para el crecimiento del cultivo. (Villón, 2006)

Profundidad normativa

Es la profundidad a la que se debe mantener la tabla de agua, de forma que el balance de agua y sales en la zona radicular sea favorable para los cultivos esta distancia se controla con la profundidad de los drenes.

Tipos de flujo

En los sistemas de drenaje el flujo de agua se descompone en tres formas: flujo horizontal, flujo vertical y flujo radial.

La predominancia de un flujo sobre otro dependerá a la profundidad a cuál se encuentra la capa impermeable con respecto al nivel de drenes.

Fórmula de Donnan

La fórmula más sencilla para el régimen permanente es la Donnan. Sus puntos de partida son los siguiente:

- a. El flujo es solamente horizontal,
- b. El suelo es más o menos homogéneo en toda su profundidad hasta la capa impermeable.
- c. La recarga es uniformemente distribuida.

2.6.4. Hidráulica de canales

Dimensionamiento de los canales

Conociendo el caudal que llevará el dren, se debe dar el debido dimensionamiento a este con el fin de que sea capaz de evacuar dicho caudal. Al diseñar un canal, se deben tomar en cuenta los siguientes factores: coeficientes de rugosidad de Manning, velocidad máxima no erosiva y mínima que no cause sedimentación, tirante de agua, sección del canal, facilidad de mecanización. (Villalobos, 2005)

Taludes

Los taludes son la relación de la proyección horizontal a la vertical, de la inclinación de las paredes laterales. La inclinación de las paredes laterales depende de algunos factores, pero principalmente de la clase de terreno en donde se van a alojar, entre más inestable es el terreno menor será el ángulo de inclinación de los taludes. En el Cuadro 1 se observan taludes recomendados en función del material.

Cuadro 1. Taludes recomendados en función del caudal.

Fuente: Villalobos 2005

Características de los suelos	Canales poco profundos	Canales profundos
Roca en buenas condiciones	Vertical	1,25:1
Arcillas compactadas y conglomeradas	0,5:1	1:1
Limos arcillosos	1:1	1,5:1
Limos arenosos	1,5:1	2:1
Arenas sueltas	2:1	1

Pendiente (S)

La pendiente de un diseño debe ser aquella que permita dominar la mayor superficie posible de tierra y que, a la vez, dé valores de para la velocidad, que no causen erosión del material en que este alojado el canal. La pendiente Máxima para canales va a depender de la textura. En el Cuadro 2 se observan las pendientes para cada tipo de suelo.

Cuadro 2. Pendientes admisibles en función del tipo de suelo.

Fuente: Villalobos 2005

Tipos de Suelo	Pendiente (S)
Suelos sueltos	0,5-1,0
Suelos francos	1,5-2,5
Suelos arcillosos	3,0-4,5

Ancho de solera (b)

Menciona Villón (2012) que, para canales pequeños, el ancho de solera estará en función del ancho de la pala de la maquinaria disponible para la construcción. También menciona que el ancho de solera se calcular en función del caudal. En el Cuadro 3 se observan los anchos de solera con respecto al caudal.

Cuadro 3. Ancho de solera en función del caudal.

Fuente: Villalobos 2005

Caudal Q (m³/s)	Solera (b)
Menor de 0,100	0,3
Entre 0,100 y 0,200	0,5
Entre 0,200 y 0,400	0,75
Mayor de 0,400	1

Coefficiente Rugosidad (n)

Los n que se utilizan para el diseño de canales alojados en tierra están comprendidos entre 0,025 y 0,033 y para canales revestidos de concreto entre 0,013 y 0,015. En el Anexo 3 en la Figura 13 se observan algunos valores de n dados por Horton.

Velocidad permisible

Las velocidades en los canales se dividen en rangos: velocidad mínima que no produzca depósitos de materiales solidos en suspensión y la máxima que no produzca erosión en las paredes del canal. Los límites de velocidad para canales situados en la tierra se encuentran comprendido entre 0,30 y 0,90 m/s (Villón, 2012).

En el Cuadro 4, se presentan velocidades máximas según la característica de los suelos

Cuadro 4. Velocidades máximas recomendadas en función de las características del suelo.

Fuente: Villalobos 2005

Características de los suelos	Velocidades máximas
Canales de tierra franca	0,60
Canales de tierra arcillosa	0,90
Canales revestidos con piedra y mezcla simple	1,00
Canales con mampostería	2,00
Canales revestidos con concreto	3,00
Canales en roca pizarra	1,25
Canales en roca areniscas consolidadas	1,50
Canales en rocas duras, granito, etc.	3 a 5

2.7. RIEGO

La aplicación del agua al suelo se puede efectuar por medio de diferentes métodos, estos tipos de riego de agua se tendrán que realizar con el conocimiento de las características del cultivo, limitantes de la zona, topografía del terreno, y muchas otras variantes que hay que tener en cuenta. (Valverde 2016)

2.7.1. Goteo

Es un sistema de riego a presión, que permite aplicar agua al suelo gota a gota, mojando solo una parte del área (López, 2016))

Actualmente existen muchos criterios sobre la zona que se debe de humedecer, teniendo como mínimo un 33% de la zona radical del cultivo. La cantidad de suelo a humedecer se lleva a cabo mediante la colocación de menor a mayor cantidad de goteros, espaciados a diferentes distancias entre cada uno, según el tipo de suelo y el cultivo.

El movimiento del agua en el suelo va a depender de las características esté presente, por lo que en el riego por goteo se tiene 3 tipos de bulbos de humedeciendo en el perfil del suelo.

Suelo arcilloso

Al ser un suelo pesado, el movimiento del agua es más rápido en forma horizontal que en forma vertical, tal como se demuestra en la Figura 2.

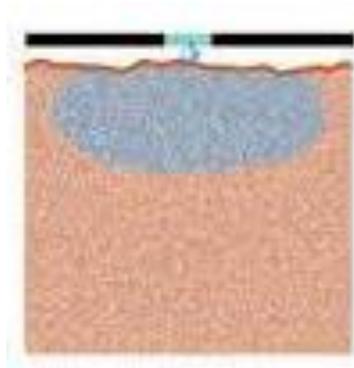


Figura 2. Movimiento del agua en suelo arcilloso.

Fuente: Fernández, 2010.

Suelo Arenoso: el bulbo de humedecimiento tiene un mayor valor en el sentido vertical, que en el sentido horizontal tal como se demuestra en la Figura 3.

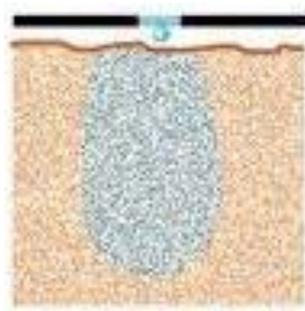


Figura 3. Movimiento del agua en suelo arenoso.

Fuente: Fernández, 2010.

Suelo franco: en este tipo de suelo el bulbo de humedecimiento el movimiento vertical es aproximadamente igual al movimiento horizontal, ejemplificado en la Figura 4.



Figura 4. Movimiento del agua en suelo franco.

Fuente: Fernández, 2010.

Ventajas y desventajas

Villalobos (2017) enlista algunas ventajas y desventajas del riego por goteo, estas son las siguientes:

Ventajas

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

Desventajas

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

Componentes de un equipo de riego

Según Villalobos (2017) los componentes de un sistema de riego por goteo son:

- a. Sistema de filtros
- b. Equipo de fertilización
- c. Red de tuberías
- d. Goteros
- e. Dispositivos de regulación
- f. Dispositivos de control

Porcentaje de riego humedecido (PAR)

Para cultivos de alto espaciamiento es necesario humedecer un 33% del área cultivada (Villalobos, 2017). En el caso contrario, en donde el espaciamiento es corto, es necesario humedecer un área mayor y cuando el riego se utiliza como complemento es aceptable utilizar un PAR de 20%, sin embargo, Keller y Karmelli propusieron un cuadro (ANEXO 4) tomando en cuenta la descarga del gotero, la textura del suelo y el espaciamiento de los goteros sobre el lateral.

Elección de gotero

Cuando se siembran frutales, es conveniente ir utilizando una cantidad mayor de goteros conforme se dé el desarrollo del árbol (Villalobos, 2017). Además, se mencionan algunos criterios que se pueden tomar en cuenta para la elección de los goteros:

- a. Alta uniformidad de fabricación.
- b. Baja pérdida de carga en el sistema de conexión.
- c. Caudales bajos que no varíen mucho con los cambios de presión.
- d. Diámetros de pasos de agua grandes para evitar obturaciones.
- e. En cultivos de alta densidad y suelos de textura fina, se recomienda goteros de bajo caudal, menor a 2 l/h.
- f. Estabilidad de caudal
- g. Poco sensibles a cambios de temperatura.

Colocación de laterales y goteros

Para la colocación de los goteros y los laterales existen dos formas: la primera de ellas es crear una franca continua de humedad y la segunda es crear una serie de puntos de humedecimiento, de tal manera que la planta dirija sus raíces a las partes húmedas.

2.7.2. Subarbóreo o microaspersión

Este tipo de riego se refiere a la utilización de emisores de tamaño pequeño (microaspersores), que lanzan caudales mucho menores que los aspersores comunes y que operan a presiones muy bajas, con gran economía de agua y eficiencia de operación muy alta. (Calvo 2005)

Microaspersores

Los microaspersores cumplen con la función de proveer de agua a los cultivos; además de mantenimiento del microclima. Son de tamaño pequeño, modulares, montados sobre la misma base

y conectados sobre los laterales mediante injertadores (fijos y desarmables) y tubería flexible de PVC o Polietileno. (Calvo 2005)

Componentes

Está constituido por las siguientes partes:

- a. Insertado
- b. Manguera flexible
- c. Mariposa con posición normal o invertida del emisor
- d. Base (Estaca)
- e. Puente
- f. Boquilla
- g. Distribuidor giratorio tamaño pequeño y grande para mediano y largo alcance
- h. Distribuidor estático del micro jet
- i. Distribuidor dinámico vibratorio
- j. Distribuidor sectorial (protector del tronco).
- k. Distribuidor



Figura 5. Microaspersor AquaSmart 2002 NaanDanJain.

Fuente: NaanDanJain

Ventajas de riego por microaspersión

- a. Economía de agua, especialmente huertas de frutales
- b. Adaptación del patrón de humedad al desarrollo del follaje del árbol
- c. Control del radio de mudad a través del intercambio de boquillas, elementos giratorios, distribuidores, ángulo del emisor, entre otro.
- d. Control económico de malas hierbas debido a que la mayoría del área húmeda está bajo la sombra del árbol.
- e. No interrumpe las labores de cultivo los caminos se mantienen secos
- f. Posibilita el riego durante las 24 horas del día, debido a que el follaje de los árboles reduce la influencia del viento
- g. El sistema es fijo por lo que requiere de poco trabajo.
- h. Evita el humedecimiento del follaje de los árboles en riego subarbóreo
- i. Ahorro de energía, ya que funciona a presiones de trabajo de 14 a 20mca
- j. Alta eficiencia de riego
- k. Menor riesgo de obstrucción.

Desventajas de riego por microaspersión

- a. Limitaciones en cultivos de campo. El sistema es estático, fijo y caro, comparado con sistema móvil de aspersión.
- b. Sujeto a daños mecánicos ocasionados por maquinas, trabajadores y animales.
- c. El funcionamiento se ve afectado por la presencia de malas hierbas.
- d. Sensibilidad a la posición vertical de trabajo para garantizar el buen funcionamiento.
- e. Sensibilidad al viento, especialmente en áreas desprotegidas o en plantaciones jóvenes.
(Calvo 2005)

2.8. ANÁLISIS SOCIAL

Al momento de llevar a cabo un proyecto de ingeniería se debe de realizar un estudio de viabilidad social evaluando todas las consecuencias tanto positivas como negativas.

Vanclay (2003) citado por López, (2018) define impacto social como:

(...) todas las consecuencias de actos o circunstancias de diferente naturaleza que repercutan en la población humana, variando su forma de vida, comportamiento con la

gente que les rodea tanto a nivel familiar como social, creación y destrucción de empleo, sistemas políticos, revoluciones sociales, derechos y libertades, salud, etc. (p.33)

Esta viabilidad del proyecto se va a medir con la Metodología para la Evaluación de Impacto Social del Programa Energía Sustentable en México Fondo para la Transición Energética y el Aprovechamiento Sustentable de la Energía, con la finalidad de realizar una matriz para analizar los impactos que se van a generar con el proyecto.

2.9. ANÁLISIS ECONÓMICO

El riego por goteo y cualquier otra técnica de irrigación, siempre va a tener implícita una valoración económica, ya que como definen Bongiovanni y Lowenberg-DeBoer (2006) las técnicas de agricultura de precisión (el riego localizado y tecnificado lo es) obedecerán algunos de los siguientes criterios:

- A. Desde el punto de vista microeconómico o de la producción:
 - a) La eficiencia técnica y económica (rentabilidad).
 - b) La trazabilidad de la producción.
 - c) El control de plagas y enfermedades.
 - d) La fertilización
- B. Herramienta útil para proteger el medio ambiente y contribuir a la sustentabilidad de la agricultura.

2.9.1. Estudio Económico financiero

Es utilizado para dar a conocer si existen los recursos para desarrollar un proyecto.

Estados financieros del proyecto

Los estados financieros según Merton (1999) cumplen tres funciones económicas importantes, estas son:

- Proporciona a los propietarios información sobre el estado actual y su desempeño financiero anterior.
- Proporciona una forma conveniente para fijar metas de desempeño imponer restricciones a los administradores de la empresa.
- Proporcionan plantillas convenientes para la planeación financiera.

Estado de inversión inicial

Es la totalidad de ingresos por inversión y las salidas en efectivo que se realizan al determinar los costos y gastos iniciales n el año cero del proyecto.

Estado de Resultado

Resume la rentabilidad del proyecto, también es conocida como estado de ingresos o estado de pérdida o ganancia.

Balance General

Muestra activos y pasivos de un momento determinado, siendo la diferencia de estos el valor neto con el que se cuenta.

Flujo de efectivo

Se muestra todo el efectivo que entra y sale durante un periodo, es un implemento útil del estado de resultados, ya que concentra la atención en lo que pasa con el efectivo en el tiempo y permite a terceros conocer si aumenta o disminuye el efectivo y por qué.

Valor Actual neto (VAN)

Es un método que se utiliza para la valoración de distintas opciones de inversión, consiste en actualizar los cobros y los pagos de un proyecto o inversión y calcular sus diferencias. El VAN va a exponer una medida de rentabilidad del proyecto en términos absolutos netos (Sabalza, 2006).

El VAN sirve para generar dos tipos de decisiones, ver si las inversiones son efectuarles y ver qué inversión es mejor que otra en términos absolutos. Los criterios de decisión son los siguientes:

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

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

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

Tasa Interna de Retorno (TIR)

Nos da a conocer la rentabilidad de un proyecto, que con el tiempo se generan desembolsos y ganancias; cuanto más alta sea la TIR más alta será la rentabilidad esperada del negocio y, al revés, cuanto más baja la TIR más riesgo corremos al realizar la inversión. Si la TIR es mayor que el coste de oportunidad del capital, entonces el capital del proyecto evaluado genera una rentabilidad mayor que la que puede ser generada por la mejor alternativa de inversión. En ese caso es recomendable apostar por el proyecto.

La TIR se analiza de la siguiente manera:

$TIR > K$ $VAN > 0$: Se elige el proyecto

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

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

En Costa Rica, el TIR mínimo para decidir si el proyecto es rentable, debe ser de al menos 16,68% además cuando se comparan proyectos por medio de TIR, se escoge el mayor.

2.10. ANÁLISIS AMBIENTAL

Para llevar a cabo un análisis ambiental se hace uso de un procedimiento científico técnico el cual es llamado Evaluación de Impacto Ambiental (EIA), este se utiliza para analizar aspectos fisicoquímicos, biológicos, socioeconómicos y culturales del ambiente en que se desarrolle una acción, actividad, obra o proyecto. Esta herramienta está diseñada para identificar los posibles riesgos de proyecto para mejorar el bienestar ambiental y humano e identificar medidas para mitigar los riesgos. (Ruberto, 2006)

En Costa Rica la EIA es un “Instrumento de política ambiental y gestión que consiste en procedimientos, estudios y sistemas técnicos para estimar los efectos que las obras, actividades o proyectos pueden tener sobre el medio ambiente”. (Ruberto, 2006)

La secretaria técnica Nacional Ambiental de Costa Rica (SETENA), establece que para iniciar con un proyecto se debe de tramitar los formularios D1 y D2 en la plataforma digital de ellos, y estos formularios deberán ser utilizados para las actividad, obras o proyectos de categorías alto, moderado o bajo, en la cual se les dará una calificación A, B1 y B2 (Cuadro 5), para los cuales será necesario realizar el procedimiento requerido para la justificación de los impactos.

Cuadro 5. Clasificación del proyecto con los formularios del SETENA.

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

CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA

3.1. ANÁLISIS DEL LUGAR DEL PROYECTO

Se realizó una inspección del terreno con la finalidad de obtener una idea más amplia de las posibles soluciones a los problemas de drenaje que afecta el terreno, y a su vez poder obtener puntos estratégicos con GPS para poder georreferenciar el lugar.

3.1.1. Levantamiento topográfico

Materiales

- a) GPS
- b) Estacas y clavo
- c) Mazo
- d) RTK
- e) Trípode y bastón

Se desarrolló un levantamiento topográfico de la zona mediante navegación cinética satelital en tiempo real (RTK), con la finalidad de delimitar la finca, conocer el comportamiento topográfico del terreno y de conocer las coordenadas de los puntos para georreferenciar en las coordenadas CRTM05. Además, se realizaron distintas pruebas de campo y se tomaron muestras de suelos para analizarlas y llevar a cabo prácticas para determinar datos necesarios para el desarrollo como tal del proyecto.

3.2. DISEÑO DE LAS OBRAS DE DRENAJE

3.2.1. Parámetros climatológicos.

Precipitación

Se descargaron los datos climatológicos de la zona, por medio de la aplicación web, GIOVANNI de la NASA, y se obtuvieron los datos de lluvias diarias de los últimos 10 años, con esto se realizaron una selección anual de las precipitaciones máximas 5 días consecutivos.

3.2.2. Textura

Se tomaron 4 muestras de suelo disturbado en la finca con 2 muestras a 20 cm y las otras a 40 cm, las cuales fueron llevadas al laboratorio de suelos de la Escuela de Ingeniería Agrícola, primero que todo a las muestras se le eliminó la materia orgánica, colocando las muestras por 24 horas

dentro del horno a una temperatura de 105°C, una vez transcurrido el tiempo, de cada muestra se tomaron 40 g, estas se macerizaron y se pasaron por un tamiz de 2 mm.

Seguidamente se agregaron 15ml de hexametáfosfato y 250ml de agua al vaso agitador y se colocó en el dispensador eléctrico durante 15 min, luego se pasó a muestra a un cilindro de Bouyoucos y se le agregó agua destilada hasta llegar a la marca inferior de un litro con el hidrómetro dentro, se sacó el hidrómetro, se tapó el cilindro y se agitó la suspensión vigorosamente, de manera que se separara bien del fondo el suelo que se sedimentó, después se sumergió cuidadosamente el hidrómetro y se tomó la primera lectura a los 40 segundos; inmediatamente después de la lectura del hidrómetro se tomó la temperatura introduciendo el termómetro durante 4 minutos y posteriormente se anotaron los datos.

Se sacó el hidrómetro, se lavó con agua destilada y después de 2 horas se tomó la última lectura en el tope del menisco, a las lecturas del hidrómetro y termómetro se les aplicó una corrección. Para la primera lectura del hidrómetro se debe realizar una corrección, la cual consiste en agregar 0,3 a la lectura por cada grado arriba de 19,4 °C. Una vez obtenidas las diferentes lecturas anteriormente mencionadas, se procedió a calcular el porcentaje de material en suspensión por medio de la siguiente ecuación:

Ecuación 1

$$\% \text{ de material en suspensión} = \frac{\text{Lec.hidro corregida 40 min}}{\text{Peso de la muestra}} * 100$$

La lectura corregida por temperatura del hidrómetro al final de dos horas representa los gramos de arcilla en la muestra, por lo que se debe de realizar la misma corrección por temperatura para la lectura del hidrómetro a las dos horas. El porcentaje de arcilla se calculó por medio:

Ecuación 2

$$\% \text{ de arcilla coloidal} = \frac{\text{Lec.hidrometro corregida 2 horas}}{\text{Peso de la muestra}} * 100$$

Después de que se obtuvo el porcentaje de arcillas, se procedió a calcular el porcentaje de limo de cada muestra, mediante:

Ecuación 3

$$\% \text{ de limo} = 100 - (\% \text{ de arenas} + \% \text{ de arcillas})$$

Debido a que se obtuvieron los porcentajes de arenas, arcillas y limos, se determinó el nombre de la textura para cada muestra trazando líneas paralelas a la base del triángulo textural (Anexo 5) El punto donde se intersecan las líneas dentro del triángulo da la clase o textura del suelo.

3.2.3. Drenaje superficial

Trazado y delimitación de áreas de influencia

Con ayuda del mapa elaborado mediante el levantamiento topográfico se logró trazar y delimitar el área de influencia.

Lluvia de diseño

Se obtuvo la precipitación máxima para diferentes duraciones, se ordenaron los datos de mayor a menor, a cada valor se le asignó un número de orden consecutivo, desde uno hasta n, luego se calculó el periodo de retorno con la siguiente ecuación.

Ecuación 4

$$Tr = \frac{(n + 1)}{m}$$

Donde

Tr : periodo de retorno.

m : número de orden.

n : es el total de datos .

En el programa de Microsoft Excel se ordenaron los datos como si fuera en un papel de Gumbell y se ploteó la precipitación contra el periodo de retorno para cada día consecutivo, luego se ajustó la línea recta para cada día. Entonces de dicha gráfico se obtuvo la lluvia de diseño.

Método de curva

Para determinar la escorrentía se utilizó el Método del número de curva.

Ecuación 5

$$E = \frac{(P - 0,2 * S)^2}{P + 0,08 * S}$$

Donde

E: es la escorrentía de diseño (cm).

P : es la lluvia de diseño (cm).

S : la infiltración potencial (cm).

Infiltración potencial.

Mediante la siguiente ecuación se determinó la infiltración potencial.

Ecuación 6

$$S = \left(\frac{1000}{NC} - 10 \right) * 2,54$$

Donde

NC: es el número de curva, el cual se obtiene con el Anexo 6.

Coefficiente de drenaje

Se determinó aplicando la siguiente ecuación.

Ecuación 7

$$Cd = \frac{(2,78 * E)}{Td}$$

Donde

C_d: es el coeficiente de drenaje (l.p.s/ha).

E: escorrentía total(mm).

T_d: es el tiempo de drenaje.

Caudal de diseño para drenaje superficial

Para determinar el caudal de diseño se aplicó la Ecuación 8.

Ecuación 8

$$Q = Cd * A$$

Donde

Q: es el caudal de diseño (l.p.s).

C_d: es el coeficiente de drenaje (l.p.s/ ha).

A: el área (ha).

Caudal Máximo

Coefficiente de escorrentía

Para el cálculo del coeficiente de escorrentía se aproxima con el cuadro de la Figura 12 del Anexo 2, donde con la pendiente, tipo de textura y tipo de vegetación se puede aproximar el valor.

Intensidad máxima

Utilizando las fórmulas de Intensidades máximas IDF para la zona de Cartago.

Ecuación 9

$$I_{max} = 156,892 - 28,4612 \times \ln(D) + [42,2027 - 8,0731 \times \ln(D)] \times \ln(T)$$

Donde

I_{max}: Intensidad máxima (mm/hr)

D: Duración de la precipitación (min)

T: Periodo de retorno (años)

Tiempo de concentración

Para utilizar la fórmula de la curva IDF es necesario conocer el tiempo de concentración descrito en la siguiente ecuación, ya que se introduce como la duración de la precipitación.

Ecuación 10

$$T_c = \frac{L^{1,155}}{H^{0,385}}$$

Ecuación de Kirpich donde:

T_c: Tiempo de concentración (min).

L: es la máxima longitud de recorrido del agua (m).

H: es el desnivel entre el punto más alejado y la salida del agua(m).

Área de influencia

Se determino el Área influencia por medio del software QGIS3 con el cual por medio del Atlas de Costa Rica con capa de ríos se determinó los afluentes que recargan la quebrada de agua, y analizando la topografía de la zona se determinó el área total.

Cálculo del caudal por área

Utilizando el método racional para caudales máximos se determina el Caudal máximo a pasar por la quebrada para un evento máximo; utilizando la siguiente formula.

Ecuación 11

$$Q = \frac{CxiA}{360}$$

Donde

Q: Caudal máximo (m³/h).

C: Coeficiente de escorrentía.

i: Máxima intensidad de la lluvia para una duración igual al tiempo de concentración (mm/h).

A: Área de influencia (ha).

3.2.4. Drenaje Subsuperficial

Recarga Hidráulica

La Recarga por unidad de superficie (R) es la diferencia entre la escorrentía y la precipitación.

Ecuación 12

$$R = P - E$$

Donde

P: precipitación en mm/día.

E: escorrentía en mm/día.

Conductividad Hidráulica

Para la conductividad hidráulica se utilizó el método en laboratorio de Permeámetro de Carga Constante, y con la siguiente ecuación se calculó la conductividad.

Ecuación 13

$$K = \frac{QxL}{Ax\Delta h}$$

Donde

K: conductividad hidráulica (m/día).

Q: flujo de agua a través de la muestra (m³/día).

L: longitud de la muestra (m).

Δh : carga hidráulica (m).

Espaciamiento entre drenes

Para el dimensionamiento de los canales Subsuperficiales se tomó como base el ancho de la pala de la retroexcavadora, y luego se utilizó la Formula de Donnan en zanjas abiertas.

Ecuación 14

$$L = \sqrt{\frac{4K(B^2 - D^2)}{R}}$$

Donde

L: espaciamiento entre drenes (m).

R: recarga por unidad de superficie (m/día).

Q: descarga de los drenes por unidad de superficie (m/día).

K: conductividad hidráulica del suelo (m/día).

B: altura de la capa freática respecto a la capa impermeable.

D: altura del nivel de agua en los drenes respecto a la capa impermeable.

3.3. DISEÑO DE LOS SISTEMAS DE RIEGO

3.3.1. Evapotranspiración

El cálculo de la Evapotranspiración se hizo por medio de las herramientas CLIMWAT y CROPWAT, tomando los datos registrados de la estación de Pacayas de la herramienta CLIMWAT, se descargaron y posterior se importaron en CROPWAT y se le calculo en la opción “Climate/ETo” y se seleccionó el ETo más crítico.

Por medio del programa Microsoft Excel se acomodaron los datos obteniendo las precipitaciones máximas de 5 consecutivos.

3.3.2. Infiltración

Para el cálculo de la infiltración se utilizó el Mini Disk Infiltrometer, donde se utilizó una presión de 2 atm y se tomaron los datos del tiempo de cuanto se infiltraba por minuto, para luego cargar los datos en la Macro del Excel del mini Disk donde nos determinó el valor de la infiltración.

3.3.3. Contenido hídrico del suelo

Densidad aparente

Se tomaron muestras indisturbadas de suelo a 20 cm y 40 cm, estas se procesaron en el laboratorio de ingeniería Agrícola, estas se saturaron hasta que llegaran. La capacidad de campo, luego se pesó el suelo dentro del cilindro y se midieron las dimensiones de este, luego se introdujo a la estufa por 24 horas a 105° C, una vez transcurridas las 24 horas se sacó de la estufa se volvieron a pesar, y se sacó la diferencia del suelo con respecto al cilindro con la finalidad de obtener el peso del suelo seco.

Con la siguiente ecuación se determinó la densidad aparente

Ecuación 15

$$\rho_{ap} = \frac{P_{ss}}{Volc}$$

Donde

ρ_{ap} : Densidad aparente.

P_{ss}: Peso suelo seco (g)

Volc: Volumen del cilindro (cm³)

Capacidad de campo (CC) y punto de marchitez permanente (PMP)

Con las muestras de suelo para la determinación de textura, donde se calculó el porcentaje de arena, limo y arcilla, de cada muestra a diferentes profundidades; con ayuda de las ecuaciones generales se calcularon los porcentajes de capacidad de campo y punto de marchitez permanente.

Capacidad de Campo

Ecuación 16

$$CC = 0,6382 * \%arcilla + 0,2845 * \%limo + 0,507 * \%arena$$

Donde:

CC: Capacidad de Campo (Humedad %)

Punto de marchitez permanente PMP

El punto de marchitez permanente también se puede estimar conociendo previamente el valor de la capacidad de campo, por eso se utilizó la siguiente ecuación.

Ecuación 17

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

Donde

PMP: punto de marchitez permanente (Humedad %)

CC: capacidad de campo (Humedad %)

3.3.4. Diseño del sistema de riego por goteo

3.3.4.1. Diseño Agronómico

Porcentaje de área regado (PAR)

Se llevó a cabo el cálculo de PAR, con los valores de caudal del gotero seleccionado, la textura del suelo y el espaciamiento entre hileras; utilizando el cuadro del Anexo 4, se utilizará la siguiente ecuación ya que va a ser un riego tipo “rabo de chancho”, y utilizaremos el cuadro del anexo para ubicar el Sep que es el sugerido por el cuadro.

Ecuación 18

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

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.

Sep: Espacio sugerido en la tabla.

Lámina neta

Para determinar la lámina neta se utilizó la siguiente ecuación.

Ecuación 19

$$Ln = \left(\frac{CC - PMP}{100} \right) * p_e * p_r * Ag * PAR) * 1000$$

Donde

Ln : Lámina neta (mm).

CC : Porcentaje de capacidad de campo en base a suelo seco.

PMP : Porcentaje de punto de marchitez permanente en base a suelo seco.

Pe : Densidad aparente (g/ cm³).

Pr : Profundidad radicular efectiva (mm).

PAR : Porcentaje de suelo humedecido (decimal).

Ag : agotamiento permitido (decimal).

Nota: el valor 1000 es un factor de conversión para obtener la Lámina Neta en milímetros.

Evapotranspiración del cultivo

Es el resultado de la relación del producto de la evapotranspiración potencial (ETo) y el coeficiente del cultivo (Kc).

Ecuación 20

$$Etc = ETo \times Kc$$

Donde,

Etc: Evapotranspiración real (mm/día).

ETo: Evapotranspiración potencial (mm/día).

Kc: Coeficiente del Cultivo.

Frecuencia de riego

Para determinar la frecuencia de riego, primero se hizo la corrección de la evapotranspiración utilizando las siguientes ecuaciones para determinar efecto de la sombra en el riego por goteo.

Factor de sombreo

El factor de sombreo es la división que queda del área riego bajo sombra y la sobra generada por el árbol.

Ecuación 21

$$A = \text{área riego bajo sombra} / \text{área árbol}$$

Donde,

A: factor de sombreo.

Ecuación 22

$$K1 = A + 0,5 (1 - A)$$

Ecuación 23

$$K1 = 1,34 \times A$$

Ecuación 24

$$K1 = 0,1 + A$$

Ecuación 25

$$K_{1prom} = \frac{k_1 + k_1 + k_1}{3}$$

Ecuación 26

$$Etcg = Etc * K1$$

Donde

Etc: Evapotranspiración del cultivo (mm/día).

K1: Coeficiente de localización, depende de la fracción del área sombreada por el cultivo. al medio día. (se puede utilizar un promedio de los tres métodos).

Etcg: Una corrección a la Etc considerando el coeficiente de localización del cultivo (mm/día).

Frecuencia de riego

Seguidamente se calculó la frecuencia de riego con la siguiente ecuación.

Ecuación 27

$$Fr = \frac{Ln}{Etcg}$$

Donde

Fr: Frecuencia de riego (días).

Ln: Lámina neta (mm).

Lámina neta corregida

Se recalculo aplicando la siguiente ecuación.

Ecuación 28

$$Ln = Fr * Etcg$$

Lámina bruta

Para calcular la lámina bruta se aplicó la siguiente ecuación.

Ecuación 29

$$Lb = \frac{Ln}{CU * TR}$$

Donde

Ln: Lámina neta (mm).

Ln: Lámina bruta (mm).

CU: Coeficiente de uniformidad de Christiansen.

TR: En función de la profundidad radicular, En cuadro ver Anexo 7.

Volumen Bruto

Después de obtener la lámina bruta se procedió a calcular el volumen bruto aplicando la siguiente ecuación.

Ecuación 30

$$Vb = Lb * Se * Sa$$

Donde

Lb: Lámina bruta (mm).

Se: Espaciamiento entre hileras (m).

Sa: Espaciamiento entre plantas (m).

Vp: Volumen bruto (L).

Tiempo de riego

Se determino mediante la siguiente ecuación

Ecuación 31

$$Tr = \frac{Vp}{q}$$

Donde

Tr: Tiempo de riego (h).

Vp: Volumen bruto por árbol (L).

q: Caudal del gotero (L/h).

Caudal de la Quebrada

El caudal de la quebrada se va a medir con la ecuación de Caudal la cual es la relación de la velocidad por un área tal como se denota en la siguiente ecuación.

Ecuación 32

$$Q = V * A$$

Donde

Q: caudal (m/s³).

V: velocidad (m/s).

A: área de la sección (m²).

Velocidad superficial

La velocidad superficial de la quebrada se realizó midiendo 1,5 metros de la quebrada y con un flotador se toma el tiempo que dura el flotador en transcurrir la distancia.

Ecuación 33

$$V = d/t$$

Donde

V: velocidad (m/s).

D: distancia (m).

t: tiempo (s).

Velocidad media

La velocidad media de un curso de agua se ha establecido con el 0,6 a 0,85 % de la velocidad superficial tal como se ve en la siguiente ecuación.

Ecuación 34

$$V_m = V * 0,85.$$

Donde

V_m: velocidad media (m/s).

V: velocidad superficial (m/s).

3.3.4.2. Diseño Hidráulico

Se diseño para los dos lotes más críticos uno con la mayor cantidad de árboles y el otro con el de menos de cada parte de la finca, dividiendo la finca en dos partes, la Norte y la Sur, en la Sur es la que más tiene árboles y la norte la de menos; el mapa de los lotes con los árboles se puede ver en la Figura 22 en el Anexo 10.

Perdidas por fricción

Ecuación 35

$$H_f = 1,131 \times 10^9 \times \left(\frac{Q}{C}\right)^{1,852} \times D^{-9,872} \times L \times f$$

Donde

H_f: pérdidas principales en la tubería (m.c.a.).

Q: caudal que conduce la tubería (m³/h).

C: coeficiente del material.
D: diámetro de la tubería (mm).
L: longitud de la tubería (m).

Diámetro teórico

Ecuación 36

$$D = \sqrt{\frac{Q * 4}{V_{per} * \pi}}$$

Donde

D: diámetro teórico (mm).
Q: caudal de la tubería (m³/h).
V_{per}: velocidad permisible (0,6 a 3 m/s).

Tubería del Árbol

Al árbol se le aplicara riego con goteros dándole vuelta a la redonda (“Cola de Cerdo”), donde el caudal de la tubería va a ser el caudal de los micros por la cantidad y con ello se calculará las perdidas por ficción con el diámetro más pequeño de manguera de polietileno ya que el caudal es muy pequeño.

Tubería Lateral

Con el caudal de cada rabo de chanco, se calculan el caudal de la tubería multiplicándolo por la cantidad de salidas para los árboles, luego con la se le determina el diámetro teórico, posterior se analiza y se elige el diámetro real que mejor se adapte.

Tubería múltiple

De la misma forma que para el lateral se calcula los parámetros de la tubería para la múltiple, siempre calculado las perdidas por fricción calculadas con la Ecuación 35.

Presión admisible

Ecuación 37

$$P_{ad} = 0,2 * P_o$$

Donde

P_{ad} : Presión admisible (m.c.a).

P_o : Presión media de operación del gotero (m.c.a).

Presión de entrada

Ecuación 38

$$P_e = P_o + 0,77H_{fm} \pm 0,23\Delta z$$

Donde

P_e : presión de entrada (m.c.a).

H_f : pérdida por fricción principal.

Δz : diferencia de altura.

Presión distal

Ecuación 39

$$P_d = P_e + h_{fm} \pm \Delta z$$

Donde

P_d : presión distal (m.c.a).

Presión en la válvula

Ecuación 40

$$P_v = P_e + 0,77H_{fm} \pm 0,23\Delta z$$

Donde

P_v : Presión en la válvula (m.c.a).

P_e : Presión en la entrada del lateral (m.c.a).

H_{fm} : pérdidas por fricción en la tubería múltiple (m.c.a).

Δz : diferencia de altura en la tubería múltiple (m).

Carga dinámica total

Par determinar la carga dinámica se utilizó la ecuación.

Ecuación 41

$$CDT = Pm + Hf + hfs + \Delta Z$$

Donde

CDT: Carga dinámica total de la bomba (m.c.a).

Hf: Perdida de carga en la tubería principal (m.c.a).

hfs: Perdidas secundarias (m.c.a). = 5%Hf.

ΔZ : Desnivel desde la toma de agua hasta el punto más alejado.

Equipo de bombeo (Potencia)

Ecuación 42

$$HPb = \frac{Q * CDT}{270 * Eb}$$

Donde

Q: Caudal del sistema (m³/h).

CDT: Carga dinámica total de la bomba (m.c.a).

Eb: Eficiencia de la bomba (%).

3.3.5. Diseño del sistema de riego subarbóreo

3.3.5.1. Diseño Agronómico

El diseño agronómico se inició primero el Porcentaje de área regada, bueno en este caso se asumió un PAR de 70%, y luego se recalculo para buscar un diámetro de humedecimiento para lograr encontrar un micro aspersor con ese diámetro, para luego recalcular el PAR utilizando la Ecuación 43.

Porcentaje de área regada (PAR)

Ecuación 43

$$Par = (\text{área efectiva} / \text{área árbol}) \times 100$$

Lámina Neta

Ecuación 44

$$L_n = ((cc - pmp) / 100) \times pes \times prof \times ag \times Par$$

Donde

CC: capacidad de campo (%).

Pmp: punto de marchitez permanente (%).

Pes: densidad aparente.

Prof: profundidad de las raíces (mm).

Ag: agotamiento del cultivo.

Par: porcentaje de área regada.

Área efectiva

Ecuación 45

$$A_{efectiva} = A_{arbol} \times Par$$

Área árbol

Ecuación 46

$$A_{arbol} = Sp \times Sh$$

Donde

Sp: espaciamiento de plantas (m).

Sh: espaciamiento entre hileras (m).

Lámina bruta

Antes de calcular la lámina bruta se deberá de recalculer la lámina neta tal como se realizó para goteo y de la misma forma la frecuencia de riego.

Ecuación 47

$$L_b = L_n / Ef$$

Donde

Lb: lámina bruta (mm).

Ln: lámina neta corregida (mm).

Ef: eficiencia de riego (%).

Aplicación bruta por árbol

Ecuación 48

$$Abp = Lb \times Aarbol$$

Donde

Abd: Aplicación bruta por árbol (l/árbol/días).

Caudal mínimo del micro aspersor

Ecuación 49

$$qmin = Abp / \text{horas disponibles de riego}$$

Donde

qmin: caudal mínimo del micro aspersor (l/h).

Caudal máximo del micro aspersor

Ecuación 50

$$qmax = Ib \times Aef$$

Donde

qmax: caudal máximo del micro aspersor (l/h).

Ib: infiltración básica (mm/h).

Tiempo de riego

Ecuación 51

$$Tr = Abp / qmicro$$

Donde

Tr: tiempo de riego (h).

Horas Totales

Ecuación 52

$$Ht = \text{Frecuencia de riego} \times \text{Tiempo de riego}$$

Donde

Ht: horas totales (h).

Caudal mínimo del sistema

Ecuación 53

$$qms=(Lb*Aterreno*10)/Ht$$

donde

qms: caudal mínimo del sistema (m³/h).

Aterreno: área del terreno (ha).

Turnos de riego al día

Ecuación 54

$$Trd= \text{Horas disponibles al día} / \text{Tiempo de riego}$$

Donde

Trd: turnos de riego al día.

Divisiones máximas del área

Ecuación 55

$$Dma= \text{Frecuencia de riego} * Trd$$

Donde

Dma: divisiones máximas del área.

Superficie de riego en forma simultanea

Ecuación 56

$$Srs=Aterreno/Dma$$

Donde

Srs: superficie de riego en forma simultánea (ha).

Aterreno: área de terreno en (ha).

Caudal real del sistema

Ecuación 57

$$Qrs= (Srs/Aarbol) \times qmicro \times 10$$

Donde

Qrs: caudal real del sistema (m³/h).

3.3.5.2. *Diseño Hidráulico*

Para los dimensionamientos de las tuberías para laterales, múltiples y principales se utilizó la misma metodología y la división de lotes con diferencia que los lotes son más pequeños pero si bajo la misma premisa del mayor y menor cantidad de árboles.

Presión admisible

Ecuación 58

$$P_{ad} = 0,2 * P_o$$

Donde

P_{ad} : Presión admisible (m.c.a).

P_o : Presión media de operación del gotero (m.c.a).

Presión de entrada

Ecuación 59

$$P_e = P_o + 0,75Hf_m + h_e \pm 0,38\Delta z$$

Donde

P_e : presión de entrada (m.c.a).

Hf : pérdida por fricción principal.

Δz : diferencia de altura.

h_e : altura del elevador.

Presión distal

Ecuación 60

$$P_d = P_e + h_{fm} \pm \Delta z$$

Donde

P_d : presión distal (m.c.a).

Presión en la válvula

Ecuación 61

$$P_v = P_e + 0,75Hf_m \pm 0,38\Delta z$$

Donde: P_v : Presión en la válvula (m.c.a).

P_e : Presión en la entrada del lateral (m.c.a).

H_{fm} : pérdidas por fricción en la tubería múltiple (m.c.a).

Δz : diferencia de altura en la tubería múltiple (m).

Carga dinámica total

Par determinar la carga dinámica se utilizó la ecuación

Ecuación 62

$$CDT = Pm + Hf + hfs + \Delta Z$$

Donde

CDT: Carga dinámica total de la bomba (m.c.a).

Hf: Pérdida de carga en la tubería principal (m.c.a).

hfs: Perdidas secundarias (m.c.a). = 5%Hf.

ΔZ : Desnivel desde la toma de agua hasta el punto más alejado.

Equipo de bombeo (Potencia)

Ecuación 63

$$HPb = \frac{Q * CDT}{270 * Eb}$$

Donde

Q: Caudal del sistema (m³/h).

CDT: Carga dinámica total de la bomba (m.c.a).

Eb: Eficiencia de la bomba (%).

3.4. EVALUACIÓN AMBIENTAL, SOCIAL Y ECONÓMICO.

3.4.1. Análisis social

En la relación del proyecto y la sociedad más directa existen varios impactos por lo cual se decidió realizar un análisis de la empresa GreenMomentum S.A.P.I de C.V, donde se realizó un cuestionario (Anexo #) para determinar donde el proyecto impactara, y posterior se establecieron esos impactos en una matriz para luego crearles un plan de mitigación.

Este análisis es de carácter preventivo orientado a identificar los impactos sociales que puedan generarse con la ejecución del proyecto y para que en caso de identificar impactos negativos se

contemplan las medidas para mitigarlos, y si fuera necesario encontrar en la posibilidad de implementar un plan de monitoreo.

Objetivo general de la metodología de impacto social

La presente Metodología tiene como objetivo ofrecer orientación para que los solicitantes evalúen los Impactos Sociales de las Propuestas que presenten al Fideicomiso, con el fin de que, en caso de ser aprobado, el Proyecto cumpla de mejor manera con los principios de sustentabilidad, equidad social y respecto a los derechos humanos.

Objetivos Específicos

- a. La identificación y evaluación de los posibles Impactos Sociales que se pueden derivar de su Proyecto.
- b. El establecimiento de Medidas de Mitigación de Impactos Negativos.
- c. La selección de parámetros de seguimiento de que serán monitoreados y reportados de manera periódica al Fideicomiso.

Proceso de evaluación e impacto social

Esta metodología posee varias etapas entre las que se adecuan a la magnitud de este proyecto están:

Revisión e incorporación de Buenas Practicas

Esta etapa se basó en un análisis en una revisión general de todo las áreas y sectores donde el proyecto tenga alcance.

Aplicación de Cuestionario para la identificación y Evaluación de Impactos Sociales

Esta etapa primero se debió de completar un cuestionario (descrito en los resultados) y con ello realizar la evaluación de los impactos sociales en la matriz de impactos (Anexo 22).

Elaboración de plan de monitoreo

Y por última etapa, tiene la finalidad de crear un plan de monitoreo a los impactos negativos del proyecto y con ello tratar del que impacto sea mínimo o en el mejor de los casos que se logre revertir.

3.4.2. Análisis económico

Para realizar el análisis se realizaron los cálculos de los costos del proyecto, tanto materiales, como todos los factores que intervienen en el desarrollo y mantenimiento de este.

- a. Presupuesto de diseño y construcción del proyecto.

- Los recursos materiales por utilizar y sus costos.
 - Las acciones necesarias para establecer el terreno para la ejecución del proyecto.
- b. Presupuesto de funcionarios del proyecto.
- Los recursos humanos necesarios y sus costos.

Posterior se realizó un balance general teniendo en cuenta.

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

Valor Actual Neto (VAN)

El Valor actual neto es la relación del valor presente de las entradas de efectivo y la inversión inicial para la determinación de la rentabilidad, por lo cual se utilizó la siguiente ecuación.

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

Ecuación 64

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

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).

t: tiempo.

Tasa Interna de Retorno o Tasa Interna de Rendimiento (TIR)

La tasa interna de retorno se calculó utilizando los datos realizando una comparación del valor presente de las entradas del efectivo y la inversión inicial, por ello se utilizó el programa Microsoft Excel con la función “TIR” para que lo calculara.

Ecuación 65

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

3.4.3. Análisis ambiental

Para el análisis ambiental se utilizó la plataforma Digital para tramitar los requisitos para revisión del proyecto de forma ambiental estos son los formularios D1 y D2, de SETENA, esto se realiza en línea.

Se incluyeron los datos que el proyecta influyera todo debidamente clasificado en factores de tipo agua, suelo y energía, así como los impactos en aire, suelo y humano.

Al finalizar el formulario se le asigna una calificación o valor preliminar nombrado SIA, posterior ese valor es ajustado por regulaciones (SIAR), y la clasificación final del SIA, para finalmente obtener la calificación, que posterior se clasificara en 3 tipos de nivel de proyectos y sus respectivos requisitos, así como se observó en la Cuadro 5.

CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y ANALISIS DE RESULTADOS

4.1. UBICACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto se desarrollará en el valle de Coris que se divide entre el distrito de Quebradilla y Guadalupe en Cartago, en la Finca Nubes, en la Figura 6. Ubicación del proyecto en la Finca Nube. se muestra el mapa de ubicación del área donde se va a desarrollar el proyecto.

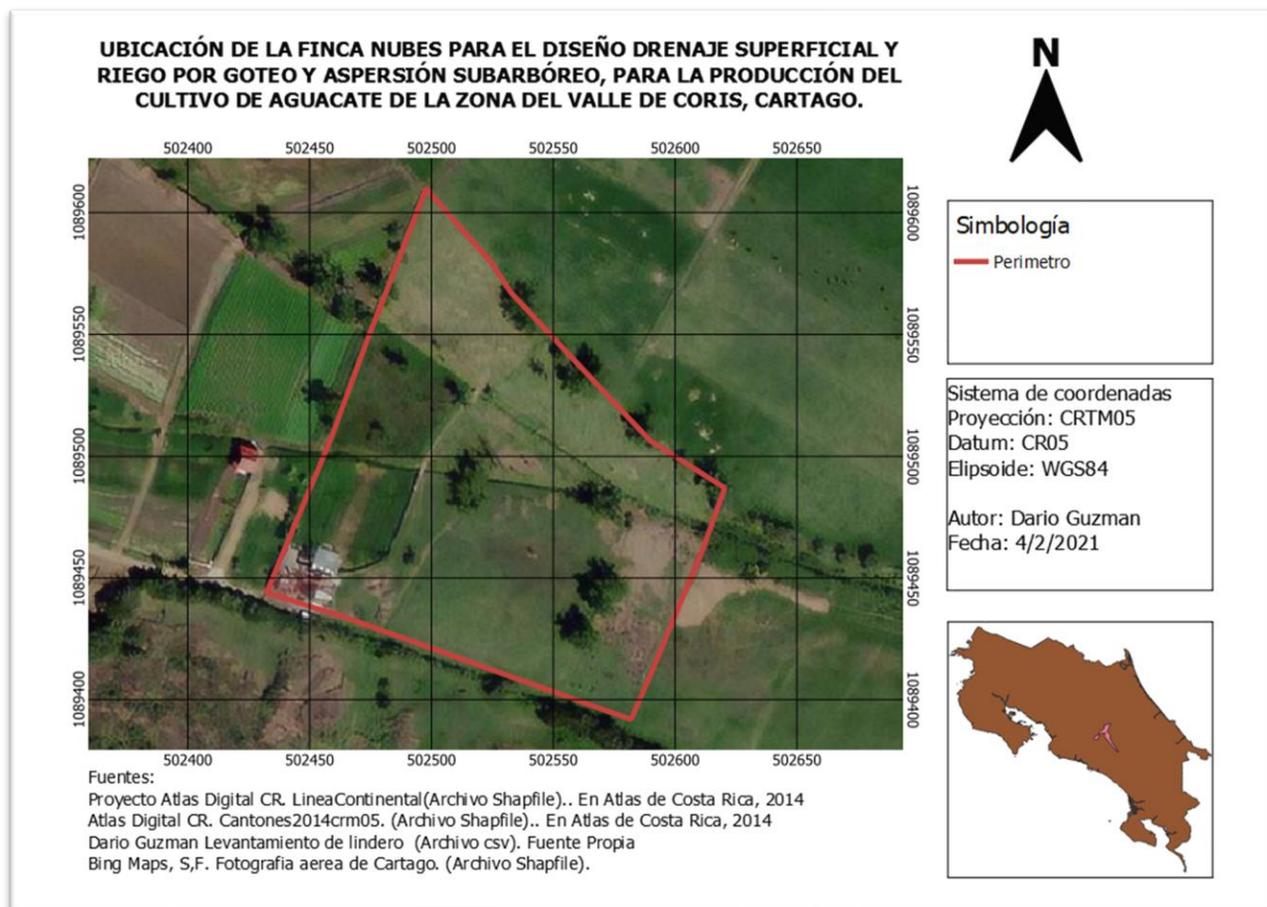


Figura 6. Ubicación del proyecto en la Finca Nube.

Elaborado con QGIS

4.2. ESTUDIO TOPOGRAFICO

Se analizaron los datos del levantamiento a través del Programa QGIS3 y se realizó un plano de curvas de nivel como se logra ver en la Figura 7. Mapa de curvas de nivel y pendientes de la finca Nubes, Fuente propia, que posteriormente se exportaron los datos para trabajar en AutoCAD, para poder realizar de una forma más sencilla algunas distribuciones de los diseños.

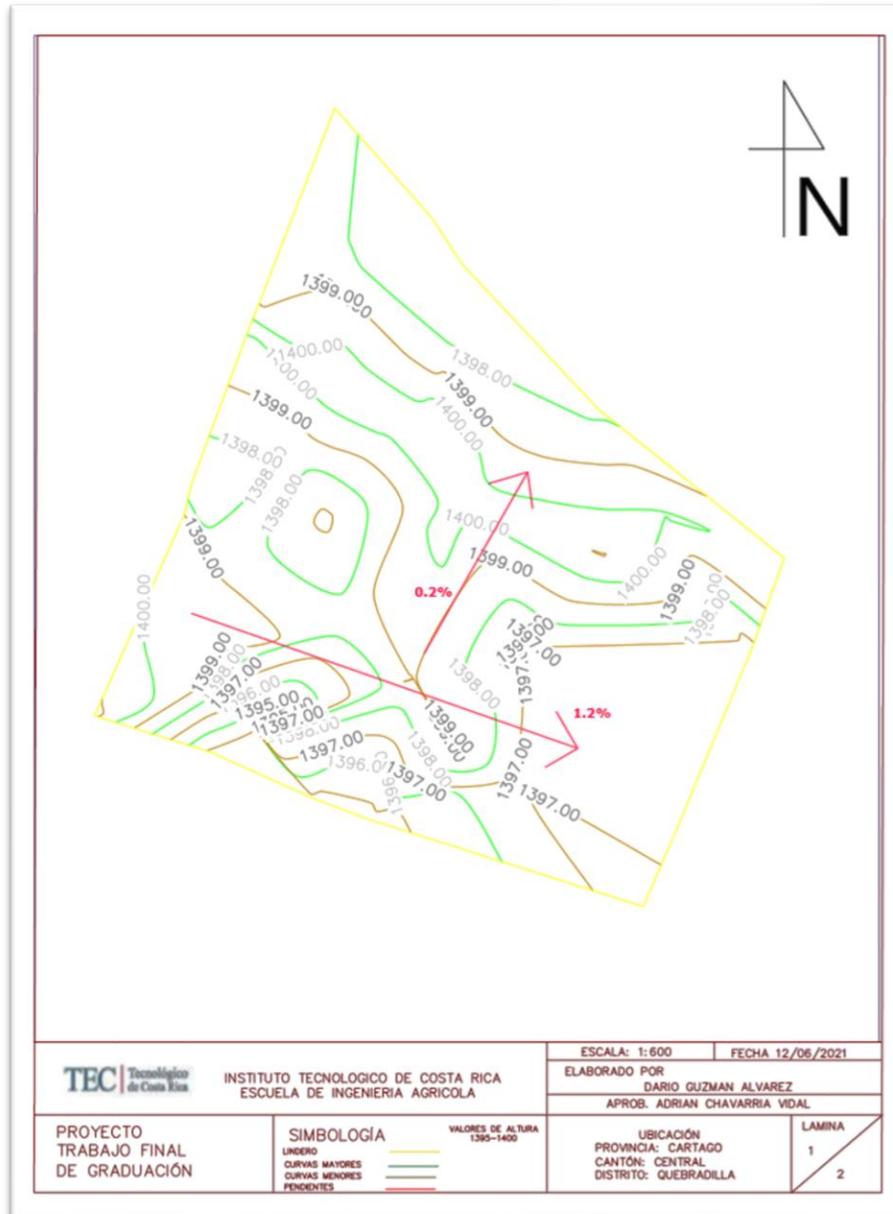


Figura 7. Mapa de curvas de nivel y pendientes de la finca Nubes, Fuente propia.
Elaborado con AutoCAD 2022

Tal como se denota en la anterior figura se puede observar que el terreno es bastante plano con una diferencia de altura entre sus alturas máximas, y mínimas de 5 metros, estableciendo la pendiente de Sur-Norte de un 0,2% y de Oeste-Este del 1,2%.

4.3. DISEÑO DE LAS OBRAS DE DRENAJE

4.3.1. Drenaje superficial

Cálculo de la lluvia de diseño

La lluvia de diseño está en función del periodo de retorno y del tiempo de drenaje, el tiempo de drenaje para el aguacate Hass ya que es un árbol frutal, pero con la idea de que está bien drenado el terreno es de 24 horas tiempo suficiente para poder drenar sin que reciba más del 10% en daños.

El periodo de retorno se tomaron los datos de la lluvia descargados del programa de la NASA GIOVANNI, en el cual se obtuvieron los datos de precipitaciones del 2010 al 2019 tal como se muestra en el Anexo 1 donde están ordenados los datos para poder aplicar la Ecuación 4, para determinar el periodo de retorno y poder plotear los datos en la Figura 11 y determinar la Precipitación de Diseño., basándonos con un periodo de retorno de 10 años ya que el área de diseño es pequeña por lo tanto con esa probabilidad es suficiente para calcular una lluvia de diseño significativo tal como lo detalla Ponce (2008) ver Anexo 27.

Cuadro 6. Lluvia de diseño para un periodo de retorno de 10 años.

Periodo de retorno	Lluvia diseño
10 años	81 cm

Con esta lluvia de diseño se logró calcular la escorrentía y la infiltración potencial con las Ecuaciones 6 y 5, en el Anexo 6 se obtuvieron los valores del Numero de Curva y la Condiciones hidrológicas, tal como se aprecian el Cuadro 7.

Cuadro 7. Cálculo de precipitación, escorrentía, infiltración potencial y recarga hidráulica.

Precipitación (P)	81,00	cm
	810,00	mm
Escorrentía (E)	78,06	cm
	780,62	mm
Infiltración potencial (S)	2,51	cm
	25,12	mm
Recarga (R)	2,94	cm
	0,03	m
Numero de Curva (NC)	91	
CHA	II	
Condición	D	
Uso de la tierra	Hileras rectas	

Con los datos de escorrentía ya calculados y con el tiempo de drenaje que se tiene para el cultivo de aguacate Hass, se utiliza la Ecuación 7, para calcular el coeficiente de escorrentía el cual esta descrito en el Cuadro 8.

Cuadro 8. Cálculo del coeficiente de Escorrentía.

Coeficiente de drenaje (Cd)	90,421	lps/ha
Escorrentía (E)	780,62	mm
Tiempo de drenaje (Td)	24	h

Con el área de la finca calculada y con el coeficiente de escorrentía también, se puede conocer ya el caudal de escorrentía que hay que evacuar para tener drenado de manera superficial el terreno, en el siguiente cuadro se denota el caudal.

Cuadro 9. Cálculo del caudal de escorrentía en toda la finca.

Caudal	181,29	l.p.s
Caudal	0,1812	m ³ /s
Coeficiente de drenaje (Cd)	90,42	l.p.s/ha
Área (A)	2,0049	ha

Como la finca va a tener drenaje subsuperficial, el drenaje superficial va a ser canales tipo colectores de la altura de la pala que van a ir atravesando los lotes y cayendo en los drenes subsuperficiales que se diseñaron tal como se observa en el plano del Anexo 28 y el diseño de los mismos en el Anexo 29, esta decisión se toma porque el caudal a evacuar por escorrentía no es muy grande por lo cual estos colectores lo podrán evacuar de la mejor manera.

Caudal Máximo

En la propiedad la atraviesa una quebrada la cual cuando hay un evento máximo tiende a desbordar e inundar la finca, estas aguas no quedan más de 24 horas empozadas siempre se drenan en tiempos de 12 a 18 horas, de igual manera se calculó ese caudal que pasa en una avenida máxima, por medio del método racional de la Ecuación 11, calculando el tiempo de concentración y la intensidad máxima utilizando las Ecuaciones 9 y 10, tal como se demuestran los resultados en el siguiente cuadro, en el Anexo 15 se podrá ver el área de influencia.

Cuadro 10. Caudal máximo de la Quebrada Barahona.

Área		
Área de influencia	748	ha
Intensidad Máxima (Im)		
Longitud (L)	4074,00	m
Altura (H)	197,00	m
Tiempo de concentración (Tc)	37,69	min
Im	83,39	mm/hr
Coeficiente de escorrentía		
Tipo de vegetación	Forestal	
Pendiente	2%	
Textura	Franco arcillo arenoso	
C	0,3	
Caudal máximo		
Q	51,98	m ³ /s

El caudal máximo que pasa por la quebrada supone un aumento en la altura de la estructura de más de 20 cm por encima de la profundidad actual de las dimensiones de la Quebrada Barahona ya que esta tiene una profundidad de 2 metros y según lo que se observa en el Anexo 14, por lo cual se sugiere colocar parte de la tierra excava para los drenes subsuperficiales y colocarlos en forma de dique y aumentar la altura del ancho de corona en no más de 50 cm para evitar que estas aguas lleguen a los cultivos.

4.3.2. Drenaje sub superficial

Para este drenaje se tomó en cuenta la experiencia del conocimiento del dueño de la finca sobre el suelo ya que nos comentó que la capa impermeable está a 3 metros y que por encima de esa capa suelen encontrar cuerpos de agua ya que la propiedad no tiene un buen drenaje y se mantienen confinados.

Por lo tanto, se estableció calcular los dimensionamientos del drenaje, con la capa impermeable a 3 metros y para no hacer zanjas grandes se estableció una profundidad de drenes de 2 metros.

Para ello se calculó la conductividad Hidráulica, con la Ecuación 13, los datos se observan el Anexo 17, para poder utilizar la fórmula de Donnan para determinar el espaciamiento entre drenes con la Ecuación 14.

Cuadro 11. Dimensionamiento del dren subsuperficial.

Datos	Unidades	Valores
Recarga (R)	0,0294	m/día
Profundidad estrato Impermeable (PEI)	3	m
Profundidad del dren (PD)	2	m
Profundidad de la Tabla de agua (PTA)	0,75	m
Conductividad Hidráulico (K)	1,92	m/día
Tirante del dren (y)	0,1	m
Ancho de solera (b)	0,5	m
Talud del dren (Z)	1	-
Distancia entre drenes (L)	31,72	m

Con estos datos se diseñaron los drenes y quedaron como se demuestra en la Figura 8 donde el agua a drenar va a salir por una compuerta especial, tal como se observa en el Anexo 28 que va a abrir para drenarse si la presión de la quebrada es menor a que la del drenaje y si la quebrada posee más presión entonces no se permitirá abrir y con ello evitamos que el agua de la quebrada ingrese al sistema de drenaje.

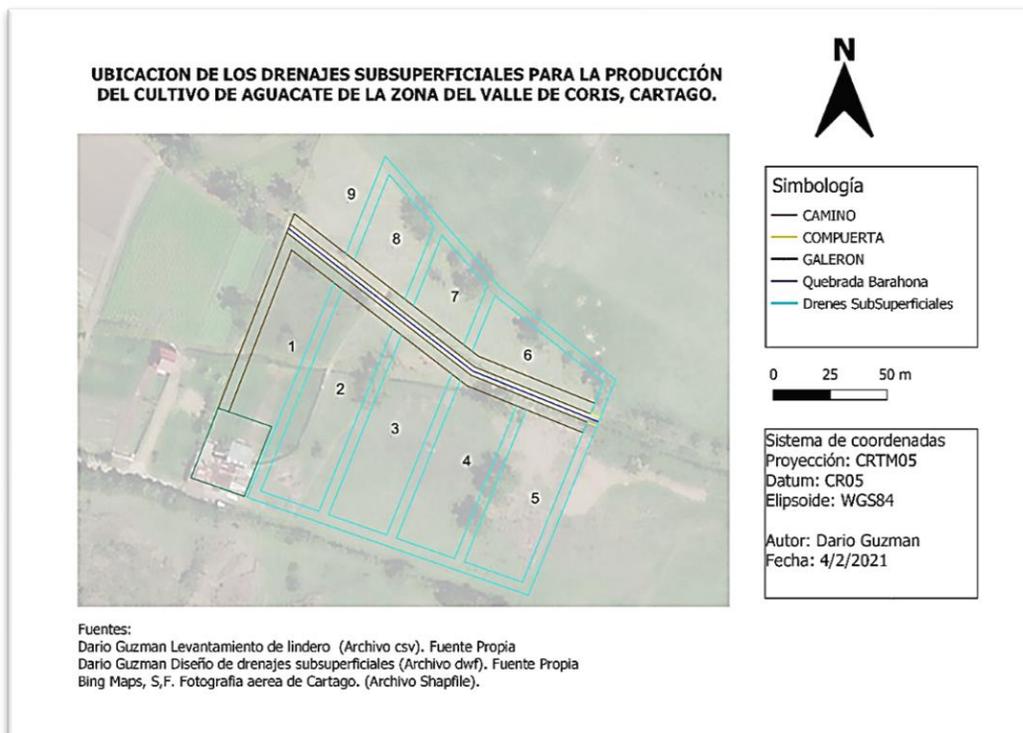


Figura 8. Mapa del diseño de los drenajes subsuperficiales.

Recordar que los drenajes superficiales irán en sentido perpendicular a los drenajes subsuperficiales para que descargue su caudal en ellos y así poder evacuarlos de la manera más eficiente, tal como se observa en el mapa del Anexo 28.

4.4. DISEÑO DE LOS SISTEMAS DE RIEGO

4.4.1. Cultivo del aguacate Hass

El cultivo de aguacate Hass, al igual que otros cultivos, tiene sus características, por lo cual se estableció algunos parámetros que se van a ocupar a lo largo de los cálculos del diseño de todo el proyecto, los cuales se demuestran en el Cuadro 12, con los datos obtenidos de la información descrita en la revisión de literatura.

Cuadro 12. Características del cultivo del aguacate Hass.

Características del Cultivo	
Cultivo	Aguacate
Variedad	HAS
Coefficiente del cultivo	0,85
Tiempo de drenaje (h)	24
Profundidad de raíz para riego (m)	0,5
Agotamiento	60%
Densidad de siembra (spxsh)	3x4

4.4.2. Estudio del suelo

Textura

La textura de la finca Nubes ya que durante años se ha realizado la misma actividad en la zona y esto ha ayudado a no cambiar sus propiedades físicas, que sea muy homogéneo, existen un poco más de Arena en las zonas más cercas de la Quebrada Barahona, pero aun así la Textura resulta la misma tal como se muestran los datos en el Cuadro 13 y analizándolo con la Figura 15 en el Anexo 5.

Cuadro 13. Porcentajes de Arena, Arcilla y Limo.

Muestra	Profundidad	M. suspensión	Arena	Arcilla	Limo	Suma	Textura
1	20cm	40,74	59,26	23,44	17,30	100	Franco arcillo arenosa
2	20cm	46,64	53,36	23,44	23,20	100	Franco arcillo arenosa
3	40cm	44,14	55,86	25,94	18,20	100	Franco arcillo arenosa
4	40cm	45,39	54,61	23,44	21,95	100	Franco arcillo arenosa

En el anterior cuadro están los porcentajes de Arena, arcilla y limo y material en suspensión tales datos se calcularon utilizando las Ecuaciones 1,2 y 3, con esto se determinó el tipo de textura.

Infiltración

Utilizando la macro que proporciona el fabricante del mini disk Infiltrómetro se calculó la infiltración ingresando los datos del tiempo vs. infiltración, y se obtuvieron los datos descritos en el Cuadro 14.

Cuadro 14. Resultados de las pruebas de infiltración.

Infiltraciones mm/hr		
1	2	3
13,06	12,52	14,82
13,47		

Teniendo las infiltraciones promedio de la finca en un aproximado a 13,47 mm/hr, y para el tipo de suelo que tenemos el cual es Franco Arcillo Arenoso, se puede decir que la infiltración es correcta ya que está relacionada a la velocidad de infiltración que tienen estos suelos tal como se observa en el Cuadro 58 (Anexo 26), por lo cual no se realizó otro método para corroborarla. Se tomará la infiltración de la finca la promedio ya que es el mismo tipo de suelo en toda la finca.

Contenido Hídrico del suelo

Para lo que fue el contenido hídrico del suelo se realizaron los cálculos necesarios para obtener los porcentajes de humedad de capacidad de campo y punto de marchitez permanente y por ello se utilizaron los porcentajes de arena, arcilla y limo de las pruebas de textura tanto a 20 cm como a

40cm, y calculados con las Ecuaciones 16 y 17 se obtuvieron los resultados que se observan en el Cuadro 15.

Cuadro 15. Porcentajes de CC y PMP.

Humedad	Profundidad	%	%
Capacidad de Campo (CC)	20 cm	22,89	23,58
		24,27	
	40 cm	24,56	24,27
		23,97	
Puntos de Marchitez Permanente (PMP)	20 cm	12,37	12,71
		13,05	
	40 cm	13,20	13,05
		12,91	

Con respecto a la densidad aparente se establecieron muestras en tres puntos estratégicos de la finca, en los mismos donde se tomaron las muestras de textura y que con la Ecuación 15 se calculó y nos dio como resultado los datos del Cuadro 16.

Cuadro 16. Valor de la densidad aparente.

Promedio de la densidad aparente		
20cm	1,212	g/cm ³
40cm	1,308	g/cm ³

4.4.3. Riego por goteo

Para todo sistema de riego se requiere una fuente de agua, en este caso tenemos la Quebrada Barahona, la cual se le midió el caudal por el método de velocidad media (Ecuación 32), tal como se observa en el siguiente cuadro.

Cuadro 17. Caudal de la Quebrada Barahona.

Tiempo	Velocidad (m/s)	Velocidad media (m/s)	Caudal Q(m3/s)	Caudal Q(m3/h)
Invierno	0,0339	0,0288	0,0063	22,7064
Verano	0,0241	0,0205	0,0017	6,0246

En este caso se realizaron 10 mediciones del caudal en temporada lluviosa y seca, para poder obtener el recurso total en todo el año, tomando en cuenta el caudal menor como el más crítico.

4.4.3.1. Diseño Agronómico

Los datos que vemos en el siguiente Cuadro 18 corresponden a los valores necesarios para calcular lámina neta la cual nos da un valor pequeño esto debido a que el % del PAR calculado con

la Ecuación 18 fue pequeño ya que por ser un riego localizado de tipo goteo por rabo de cerdo, el volumen por árbol se entregara alrededor de él, y al tener una profundidad de 50 cm se tomaron muestras a 20 y 40 cm ya que, aunque no se ven dos horizontes (Anexo 26) sus densidades y porcentajes de humedad son distintos. y con ello se determinó una lámina neta para cada profundidad y luego se sumaron para poder dar un resultado más ajustado.

Cuadro 18. Datos agronómicos para el cálculo de la lámina neta.

Lamina Neta			
Profundidad	0-20	20-50	cm
Capacidad de campo (CC)	23,58	24,27	%
Punto de marchitez permanente (PMP)	12,71	13,05	%
Profundidad	200,00	300,00	mm
Agotamiento	50,00	50,00	%
Densidad	1,21	1,31	g/cm ³
PAR	18,67	18,67	%
Lamina Neta por secciones.	2,46	2,74	mm
Lamina Neta	5,196		mm

Se utilizo la Ecuación 18 para calcular el PAR, y la Ecuación 19 para calcular la lámina neta, teniendo en cuenta que, aunque es un mismo tipo de suelo se decidió dividir como en dos horizontes ya que la densidad aparente es distinta por ello se calculo la lámina a 20 cm y posterior a 40 cm y luego se sumaron esto ajustando mejor el valor.

Para logra obtener la evapotranspiración real se calculó determino el coeficiente del cultivo (kc) que según la FAO (2013) es de un 0,85, por lo cual se utiliza la Ecuación 20 y se obtuvo la Etc, tal como se observa en el Cuadro 19.

Cuadro 19. Cálculo de la evapotranspiración real.

Evapotranspiración potencial (Eto)	3,04	mm/día
Coeficiente de cultivo (Kc)	0,85	-
Evapotranspiración del Cultivo (Etc)	2,584	mm/día

Por ser un riego por goteo el efecto sombra tiene una gran importancia por lo cual se calculó un factor sombra y el efecto que tiene sobre el Etc, con las Ecuaciones de la 22 a la 26, teniendo un factor de área sombreada de 1 ya que todo queda bajo sombra.

Cuadro 20. Efecto de la sombra en la evapotranspiración.

Evapotranspiración del Cultivo (Etc)	2,584	mm/día
K1	1,147	-
Evapotranspiración del cultivo Corregida por sombreado (Etcg)	2,963	mm/día

Cuadro 21. Recalcular la lámina neta según la nueva Evapotranspiración.

Lamina neta	5,169	mm
Evapotranspiración del cultivo Corregida por sombreado (Etcg)	2,963	mm/día
Frecuencia de Riego	2,22	días
Frecuencia de Riego corregida	2	días
Lamina Neta corregida	5,926	mm

Utilizando la Ecuación 27 se calculó la frecuencia de riego teniendo en cuenta la nueva evapotranspiración, y con la Ecuación 28 se recalculo la lámina neta.

Cuadro 22. Cálculo de la eficiencia de riego y lámina bruta.

Eficiencia de riego	
Coeficiente de Uniformidad (CU)	0,90
Relación de transpiración (TR)	0,95
Eficiencia de riego	0,855
Lámina Bruta (mm)	
Lamina bruta	6,93

La eficiencia de riego se estableció con la relación entre Coeficiente uniformidad y la relación del Terreno y las raíces que está en la Figura 19 del anexo 7, y posteriormente se calculó la lámina bruta con la Ecuación 29.

Cuadro 23. Cálculo del tiempo de riego, caudal del gotero y turnos de riego posible.

Tiempo de riego	
Área Efectiva (m ²)	3,14
Caudal del gotero Qgot (m ³ /h)	0,002
Número de goteros	5
Tiempo de riego (h)	2,18
Horas Disponibles	15
Turnos	6
Número de divisiones	13
Divisiones reales	9

En el Cuadro 23 están los datos ya calculados del área efectiva con la Ecuación 45 y con el caudal del gotero el cual es un PCJ Dripper de Netafim de 2 L/h autocompensado de 0.5 a 4 bares de presión (Anexo 20) y por línea de riego se colocarán 5 goteros, y con la Ecuación 31 se calcula el tiempo de riego y con las horas disponibles para riego se estableció que se pueden regar 6 turnos por días y se pueden hacer 13 lotes de riego, pero en realidad se van a dividir en 9 lotes.

4.4.3.2. *Diseño Hidráulico*

Para el diseño hidráulico se diseñó para los dos lotes más críticos uno con la mayor cantidad de árboles y el otro con el de menos de cada parte de la finca, dividiendo la finca en dos partes, la Norte y la Sur, en la Sur es la que más tiene árboles y la norte la de menos por lo cual se dispuso esa división ya que los diámetros de tuberías varían por el caudal a entregar, el mapa de los lotes con los árboles se puede ver en la Figura 22 en el Anexo 10, y al final se revisaron las presiones de todos los demás lotes y todos quedaron dentro del rango de los dos más críticos.

Cuadro 24. Partes y lotes por analizar en diseño hidráulico.

Parte	Lotes
Sur	2
	1
Norte	6
	9

Lote 2

Línea de riego para árbol “Cola de cerdo”.

Para el caudal del Rabo se calculó multiplicando el número de goteros por el caudal del gotero, y al ser un caudal tan pequeño vamos a utilizar una manguera de polietileno de 12mm, en ella las pérdidas son despreciables calculadas con la Ecuación 35, ya que tienden a cero por lo tanto la presión sigue siendo la misma la de operación P_o tal como se describe en el siguiente cuadro.

Cuadro 25. Cálculo de los parámetros hidráulicos de la tubería del árbol del lote 2.

Cola de cerdo	
Presión (bar)	1,5
Presión (m.c.a)	15
Perdidas admisibles	3
Perdidas en Manguera de Goteo	
Longitud (m)	2,2
Diámetro (mm)	9,6
Coefficiente de material	140
f	0,41
Caudal(m ³ /h)	0,01
Velocidad (m/s)	0,04
hf	0,00035

Una vez calculado el caudal del árbol nos disponemos a diseñar la tubería de conducción llamada lateral de conducción como se observa en el Cuadro 26.

Cuadro 26. Cálculo de los parámetros hidráulicos de la tubería lateral del lote 2.

Perdidas en Lateral	
Longitud(m)	94,5
Diámetro Teórico (mm)	8,69
Diámetro Real (mm)	9,6
Coefficiente del material	140
f (32)	0,3694
Caudal Q (m ³ /h)	0,32
Velocidad (m/s)	1,23
Perdidas por fricción H _f (m.c.a)	8,31
Cota a (m)	1400
Cota b (m)	1396
Diferencia de altura ΔZ (m)	4
Salidas	32
Presiones	
Presión entrada (m.c.a)	22,92
Presión distal (m.c.a)	18,61

En esta tubería tenemos unas salidas de 32 árboles a regar por lo cual se calculó el factor f de salidas extrapolando de la Figura 20 del Anexo 8 y con la metodología descrita se calculó el diámetro del lateral, posterior se calculó las pérdidas por fricción y con la diferencia de altura se calcularon las presiones utilizando las Ecuación 38 y Ecuación 39, obteniendo los datos descritos en el cuadro anterior.

De la misma forma que se diseñó ese lateral de conducción, también diseñaremos la tubería de la múltiple para poder estimar el diámetro y las pérdidas, en el siguiente cuadro se denota los resultados de los cálculos.

Cuadro 27. Cálculo de los parámetros hidráulicos de la tubería en la múltiple del lote 2.

Perdidas en Múltiple	
L(m)	12,4
Diámetro Teórico (mm)	17,17
Diámetro Real (mm)	16,5
Coefficiente del material	140
f	0,337
Caudal Q (m ³ /h)	1,25
Velocidad (m/s)	1,62
Perdidas por fricción H _f (m.c.a)	0,88
Diferencia de altura ΔZ (m)	0
Presión de la múltiple	
Presión de la múltiple (m.c.a)	23,58

En este caso el diámetro teórico da 17,17 mm, pero el que mejor se ajusta es el de 16,5 mm de diámetro interno, ya que genera pocas pérdidas por fricción y se mantiene en velocidades óptimas, facilitando el diseño de la red.

Para la presión de la múltiple se calcula con la Ecuación 40 tomando en cuenta las pérdidas por fricción y en este caso no hay diferencia de alturas, adicional siempre hay que calcular el coeficiente f de salidas para ajustar bien los cálculos.

Por último, para este lote se dispone del cálculo de la tubería de conducción principal, en la cual ya se suma todo el caudal del lote 2 y por ende el diámetro nos dará más grande.

Cuadro 28. Cálculo de los parámetros hidráulicos de la tubería en la múltiple del lote 2.

Perdidas en Principal	
Longitud (m)	61
Diámetro Real (mm)	27
Coefficiente del material	140
f	-
Caudal Q (m ³ /h)	2,15
Velocidad (m/s)	1,04
Caudal Q (m ³ /s)	0,000597
Perdidas por fricción H _f (m.c.a)	3,21
D Teórico (mm)	22,52
Presiones CDT	
CDT (m.c.a)	26,95

En esta tubería no tiene salidas por lo cual el coeficiente de salidas f no se toma en cuenta, en este caso se debe de usar el diámetro de 32 mm porque uno más pequeño nos generara más pérdidas por fricción y uno más grande nos perjudica en la velocidad, y la carga dinámica total del sistema se calculó utilizando la Ecuación 41.

En los siguientes cuadros se hizo un resumen de los cálculos hidráulicos de los lotes críticos de cada parte tanto la Norte como la Sur, ahí se pueden observar los diferentes diámetros a utilizar y las pérdidas, velocidades obtenidas y las presiones del sistema.

Cuadro 29. Datos hidráulicos de la tubería del árbol (Rabo cerdo).

Datos hidráulicos de la tubería del árbol (Rabo cerdo)				
Parte	Sur		Norte	
Lotes	2	1	6	9
Longitud(m)	2,2	2,2	2,2	2,2
Diámetro (mm)	9,6	9,6	9,6	9,6
Coefficiente del material	140	140	140	140
f	0,41	0,41	0,41	0,41
Caudal (m ³ /h)	0,01	0,01	0,01	0,01
Perdidas por fricción (m.c.a)	0,0003503	0,00035028	0,00032807	0,00032038

En el Cuadro 30 se observa un resumen de resultados de las medidas de los laterales de conducción

Cuadro 30. Datos hidráulicos de la tubería de conducción de lateral.

Laterales de Conducción				
Parte	Sur		Norte	
Lotes	2	1	6	9
Longitud(m)	94,50	73,50	25,50	49,50
Diámetro Teórico (mm)	8,69	7,68	4,61	6,33
Diámetro Real (mm)	9,60	9,60	9,60	9,60
Coefficiente del material	140,00	140,00	140,00	140,00
f	0,37	0,37	0,37	0,37
Caudal (m ³ /h)	0,32	0,25	0,09	0,17
Velocidad (m/s)	1,23	0,96	0,78	0,65
Perdidas por fricción (m.c.a)	8,31	4,11	0,21	1,36
Cota a (m)	1400,00	1400,00	1400,00	1400,00
Cota b (m)	1396,00	1398,00	1398,00	1398,00
Diferencia de altura ΔZ (m)	4,00	2,00	1,00	2,00
Salidas	32,00	25,00	9,00	17,00
Presiones				
Presión entrada (m.c.a)	22,92	18,92	15,55	16,80
Presión distal (m.c.a)	18,61	16,81	16,33	17,45

En el Cuadro 31 a continuación son las medidas de las múltiples de Conducción.

Cuadro 31. Datos hidráulicos de la tubería de conducción de lateral.

Múltiple de Conducción				
Parte	Sur		Norte	
Lotes	2	1	6	9
Longitud(m)	12,40	6,30	29,00	6,40
Diámetro Teórico (mm)	17,17	10,75	12,28	8,82
Diámetro Real (mm)	16,50	16,50	9,60	9,60
Coeficiente del material	140,00	140,00	140,00	140,00
f	0,34	0,34	0,34	0,34
Caudal (m ³ /h)	1,25	0,49	0,64	0,33
Velocidad (m/s)	1,62	0,64	2,46	1,27
Perdidas por fricción (m.c.a)	0,89	0,08	8,40	0,54
Diferencia de altura ΔZ (m)	0	0	0	0
Presiones				
Presión de múltiple (m.c.a)	23,58	18,98	21,85	17,21

Cuadro 32. Datos hidráulicos de la tubería de conducción de lateral.

Principal de Conducción				
Parte	Sur		Norte	
Lotes	2	1	6	9
Longitud(m)	61,00	61,00	28,00	88,00
Diámetro (mm)	27,00	27,00	16,50	16,50
Coeficiente del material	140,00	140,00	140,00	140,00
f	-	-	-	-
Caudal (m ³ /h)	2,15	1,26	0,99	0,65
Velocidad (m/s)	1,04	0,61	1,29	0,84
Q(m ³ /s)	0,00	0,00	0,00	0,00
Perdidas por fricción (m.c.a)	3,21	1,19	3,86	5,56
V teórica (m/s)	1,50	1,50	1,50	1,50
D Teórico (mm)	22,52	17,24	15,28	12,38
Presiones				
CDT	26,95	20,24	25,90	23,05

Teniendo como resultado los CDT del Cuadro 33 se procede a calcular los HP necesario con la Ecuación 42 para buscar una bomba con ese caballaje, tal como se denota en el siguiente cuadro.

Cuadro 33. Cargas dinámicas totales de los lotes críticos.

Cargas dinámicas Totales				
Parte	Sur		Norte	
Lotes	2	1	6	9
Caudal (m ³ /h)	2,15	1,26	0,99	0,65
Carga Dinámica Total CDT	26,95	20,24	25,90	23,05
Carga de la Bomba HP	0,357	0,157	0,1586	0,092

Se selecciono la Bomba 0,5 -1 hp Evergush ECM-40 (Anexo 18), la cual tiene la siguiente curva de operación con los datos del Cuadro 34.

Cuadro 34. Curva de operación de la Bomba para goteo.

Curva de operación de la Bomba								
Q	0,5	1	2	3	4	5	6	7
H	29,5	28	27	26	23,5	20,5	17	13

Tal como describe la bomba y los caudales con las cargas de los lotes esta Bomba cumple perfectamente con nuestro sistema, aunque provoca una presión más alta en los lotes más pequeños, pero como los lotes son planos y además de bajo caudal, se mantienen en el rango de presiones de operación de los gateros el cual es de 0,5 a 4 Bar, y las tuberías soportan hasta 4 Bar también entonces si es viable utilizar esta Bomba.

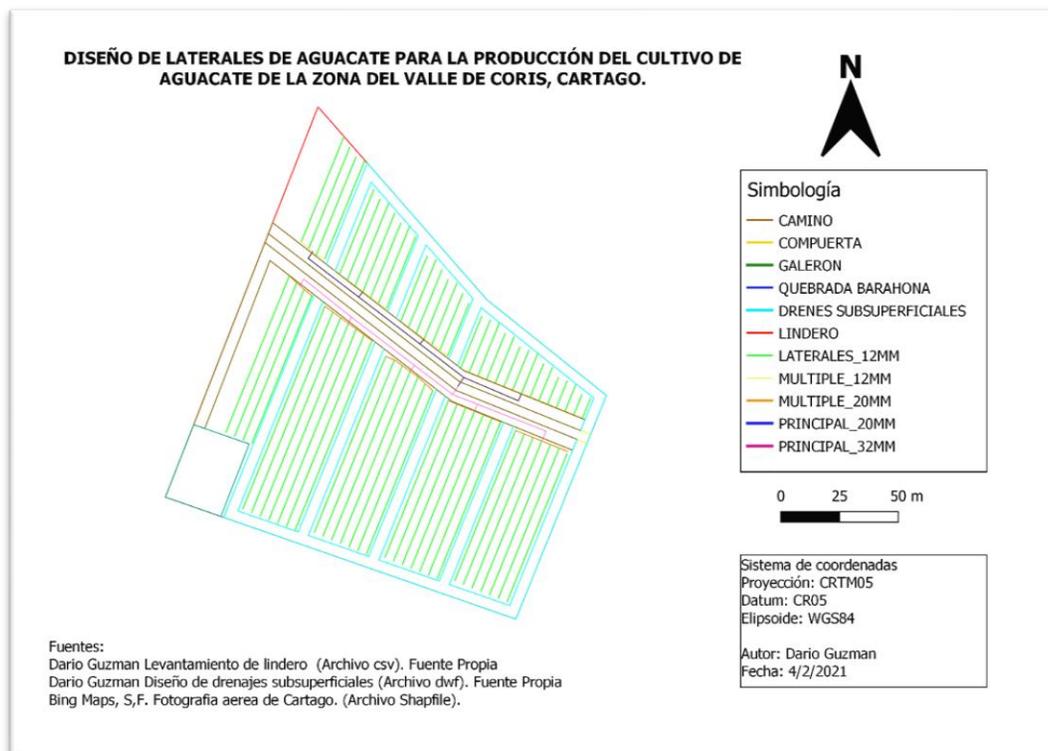


Figura 9. Mapa de la distribución de la red hidráulica.

4.4.4. Riego por microaspersión

4.4.4.1. Diseño Agronómico

El diseño agronómico del micro aspersor inicio parecido al del goteo por lo cual lo primero que calculamos fue el Porcentaje de área regada (PAR), bueno en este caso se asumió un PAR de 70%, y luego se recalculo para buscar un diámetro de humedecimiento para lograr encontrar un micro aspersor con ese diámetro, para luego recalcular el PAR utilizando la Ecuación 43 y así fue como se obtuvo el resultado se observa en el siguiente cuadro.

Cuadro 35. Cálculo del porcentaje de área bajo riego.

Par asumido (%)	70
Diámetro del micro teórico (m)	3,27
Área efectiva (m²)	3,14
Área árbol (m²)	12
Diámetro del Micro Real (m)	3,5
Par Real (%)	80,18

Adicional para calcular el área efectiva y el área del árbol se utilizaron las Ecuaciones 45 y 46, que fueron de utilidad para encontrar el PAR real.

Luego se calculó la lámina neta teniendo lo valores ya calculados de capacidad de campo punto de marchitez permanente, densidad aparente, profundidad, agotamiento, se utilizó la Ecuación 44 y se obtuvo una lámina neta, que como se especificó en el Cuadro 18 se realizó el cálculo como si fueran dos horizontes ya que la densidad aparente si vario un poco y con ello ajustar mejor la estimación de la lámina neta.

Cuadro 36. Cálculo de la lámina neta y de la frecuencia de riego.

Capacidad de Campo (%)	23,58	24,27
Punto de Marchitez Permanente (%)	12,71	13,05
Densidad Pes (g/cm²)	1,21	1,31
Profundidad (mm)	200,00	300,00
Agotamiento (%)	50,00	
Lamina neta profundidad (mm)	11,05	17,65
Lamina neta (mm)	28,70	
Evapotranspiración de cultivo Etc (mm/día)	2,58	
Frecuencia de riego (días)	11,11	
Frecuencia Corregido (días)	11,00	
Lamina neta corregida (mm)	28,42	

Pero esa lámina se tiene que corregir ya que la frecuencia de riego que se calcula con la Ecuación 28, se tiene que recalcular y posteriormente se recalculo una nueva lámina neta y se colocaron los datos en el Cuadro 37.

Cuadro 37. Cálculo de la lámina Bruta para microaspersión.

Lamina neta (mm)	28,42
Eficiencia Riego	0,85
Lamina bruta (mm)	33,44

La lámina bruta se calculó con la Ecuación 47, donde se dividió la lámina neta entre la eficiencia en este caso se asumió una eficiencia de un 85%.

Con las variables agronómicas calculas y teniendo en cuenta todas las necesidades de la planta se procedió a calcular todos los parámetros necesarios para el riego por microaspersión, como los caudales mínimo o máximo del micro aspensor, entre otras más variables calculadas con las ecuaciones de la 45 a la 54 que se detallan en el Cuadro 38.

Cuadro 38. Cálculo de los parámetros agronómicos para riego por microaspersión.

Aplicación bruto por árbol (abp)	401,28	l/árbol/días
Caudal mínimo micro aspensor (qmin)	16,72	(l/h)
	0,02	(m3/h)
Caudal mínimo micro aspensor (qmax)	105,05	(l/h)
	0,11	(m3/h)
Caudal del micro aspensor (qmicro)	35,00	l/h
	0,04	m3/h
Tiempo de riego (Tr)	11,47	h
Horas Totales (Ht)	126,12	h
Caudal mínimo del sistema (qms)	3,47	m3/h
Horas disponibles	24	h
Turnos de riego diario (Trd)	2	-
Divisiones máximas del sistema (Dms)	22	-
Superficie de riego simultaneo (Srs)	0,06	ha
Caudal real del sistema (Qrs)	1,74	m3/h

El caudal del micro debe estar en el medio del qmin y qmax por lo cual se escogió el micro aspensor NaanDanJain Aquasmart 2002 (Anexo 21) con un caudal de 35l/h y un diámetro de humedecimiento de 3,5 m.

Se obtuvieron una cantidad máximo de divisiones del sistema de 22 lotes, pero en este caso solo se va a dividir en 18 lotes. Ya que es más fácil dividirlo y el caudal de la quebrada si permite realizar el riego de esa manera.

4.4.4.2. Diseño Hidráulico

De la misma manera que en el Agronómico se dividió el terreno en dos partes, Sur y Norte, y se van a analizar dos lotes por cada parte y serán los más críticos de igual forma.

Cuadro 39. División de los lotes para análisis del sistema.

Parte	Lotes
Sur	1
	11
Norte	17
	14

En este caso el caudal de los laterales va a ser el caudal del micro aspersor multiplicado por las salidas que tenga cada lateral, es decir a cada árbol, en el Cuadro 40, se encuentra el análisis general de los lotes críticos.

Cuadro 40. Datos hidráulicos de la tubería de conducción de lateral en microaspersión.

Laterales de Conducción				
Parte	Sur		Norte	
Lotes	1	11	17	14
Longitud (m)	73,50	70,50	37,50	19,50
Diámetro Real (mm)	16,50	16,50	12,70	12,70
Diámetro Teórico (mm)	16,37	16,04	15,34	11,25
Coefficiente de material	140,00	140,00	140,00	140,00
f	0,37	0,37	0,38	0,39
Caudal Q(m ³ /h)	0,88	0,84	0,46	0,25
Velocidad (m/s)	1,14	1,09	1,00	0,54
Perdidas por fricción hf (m.c.a)	2,99	2,66	1,67	0,28
Cota a (m)	1400,00	1399,00	1400,00	1400,00
Cota b (m)	1399,00	1397,00	1398,00	1399,00
Diferencia de altura ΔZ (m)	1,00	2,00	2,00	1,00
Salidas	25,00	24,00	13,00	7,00
Presiones				
Presión de entrada (m.c.a)	22,68	22,81	22,05	20,60
Presión distal (m.c.a)	20,69	22,15	22,38	21,32

Los diámetros de la tubería del lateral se diseñaron utilizando el método de la velocidad permisible y con ello nos dan un diámetro teórico y con nos dimos la base para obtener el diámetro real en este caso los diámetros quedaron diferentes para las dos partes, pero no va a influir mucho en las presiones, tal como se observan las presiones fueron calculadas con las Ecuaciones 59 y 60.

En el siguiente cuadro se calcularon de igual forma que en aspersión los datos hidráulicos de la tubería de la múltiple.

Cuadro 41. Datos hidráulicos de la tubería de conducción de la múltiple en microaspersión.

Múltiple de Conducción				
Parte	Sur		Norte	
Lotes	1	11	17	14
Longitud(m)	6,22	2,00	12,40	16,00
Diámetro Real (mm)	21,10	21,10	21,10	21,10
Diámetro Teórico (mm)	17,92	12,54	18,46	14,26
Coefficiente de material	140,00	140,00	140,00	140,00
f	0,37	0,37	0,37	0,36
Caudal Q(m ³ /h)	1,72	0,84	1,82	1,09
Velocidad (m/s)	1,36	0,67	1,45	0,86
Perdidas por fricción hf (m.c.a)	0,26	0,02	0,58	0,28
Diferencia de altura ΔZ (m)	0,00	0,50	0,00	0,00
Presiones				
Presión de la múltiple (m.c.a)	22,88	23,32	22,50	20,81

En este caso los diámetros si quedaron del mismo tamaño, esto facilitará los costos y la colocación de las múltiples, la presión la múltiple se calculó con la Ecuación 61.

Y para la tubería principal se procedió con el cálculo de la misma manera que en las demás tuberías, por el método de velocidad permisible para obtener un diámetro teórico.

Cuadro 42. Datos hidráulicos de la tubería de conducción de la principal en microaspersión.

Principal de Conducción				
Parte	Sur		Norte	
Lotes	1	11	17	14
Longitud(m)	87,64	41,23	62,95	45,46
Diámetro Real (mm)	28,15	19,90	26,95	22,62
Diámetro Teórico (mm)	33,80	33,80	33,80	33,80
Coefficiente de material	140,00	140,00	140,00	140,00
f	0,00	0,37	0,00	0,00
Caudal Q(m ³ /h)	3,36	1,68	3,08	2,17
Velocidad (m/s)	1,04	0,52	0,95	0,67
Caudal Q(m ³ /s)	0,00	0,00	0,00	0,00
Perdidas por fricción hf (m.c.a)	3,53	0,46	2,16	0,81
Velocidad teórica	1,50	1,50	1,50	1,50
Presiones				
Carga dinámica total (CDT)	26,59	23,81	24,76	21,67

En esta tubería se va utilizar el mismo diámetro para todas teniendo en cuenta que el lote 11 puede utilizar un diámetro más pequeño, pero para evitar la combinación de diámetros en la principal se optó por utilizar la misma y aun así le no vario mucho la presión, solo en el Lote 1 aumenta la presión un poco más, pero no es necesario aumentar el diámetro ya que como los micos son auto compensados en un rango de 0,5-4 bar entonces si va a trabajar bien; la presión de la CDT se calculó con la Ecuación 62.

Cuadro 43. Cargas dinámicas totales de Microaspersión.

Cargas dinámicas Totales				
Parte	Sur		Norte	
Lotes	1	11	17	14
Caudal Q(m ³ /h)	3,36	1,68	3,08	2,17
Carga Dinámica Total	26,59	23,81	24,76	21,67
HP	0,55	0,25	0,47	0,29

Analizando el Cuadro 43 de las cargas dinámicas y el Cuadro 34 de la curva de operación de la bomba se puede utilizar la misma Bomba 0,5 -1 hp Evergush ECM-40, en el Anexo 18 se encuentran todos los datos de las especificaciones de la Bomba.

En la siguiente figura se le da la ubicación a cada lote en la finca y la distribución de la red hidráulica de microaspersión.

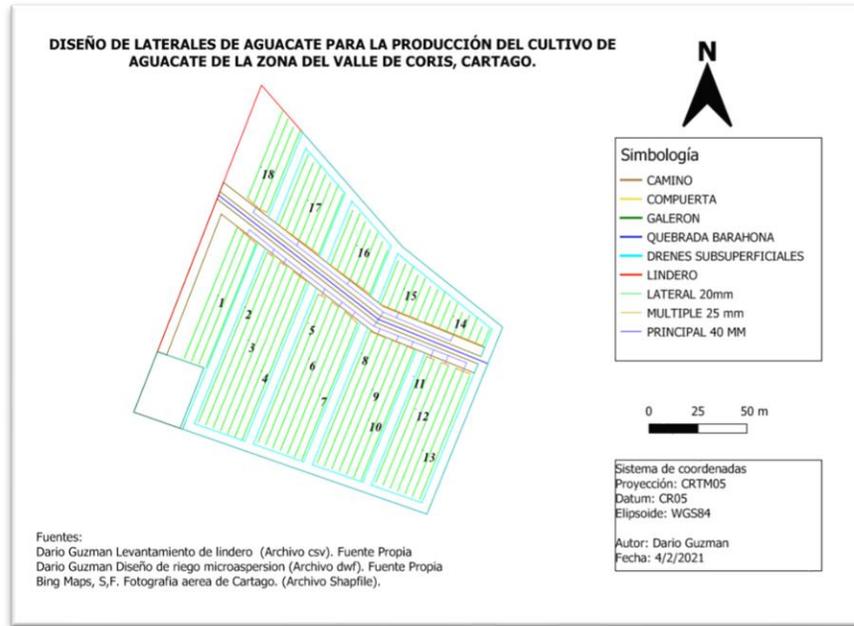


Figura 10. Distribución de los lotes y de la red hidráulica para el sistema de riego por microaspersión.

4.5. EVALUACIÓN AMBIENTAL, SOCIAL Y ECONÓMICO.

4.5.1. Análisis social

Se realizó la metodología propuesta por la empresa GreenMomentum S.A.P.I de C.V., en la cual se realizó unas preguntas tipo cuestionario de todas las áreas en que se puede afectar socialmente el proyecto algunas de ellas son:

- a. ¿El Proyecto tiene impactos en el nivel / frecuencia / duración de ruido?

El proyecto generara ruido al inicio de las obras para la creación de los drenajes subsuperficiales.

- b. ¿El Proyecto tiene impactos en el nivel / frecuencia de emisiones de polvos o cenizas?

El proyecto generara polvo al inicio de las obras para la creación de los drenajes subsuperficiales.

- c. ¿El Proyecto tiene impactos en torno a la erosión del suelo?

Al cambiar el uso del suelo de la finca se podrá generar una erosión la cual se tendrá que mantener en observación.

- d. ¿El Proyecto considera medidas para la conservación y el uso eficiente del agua?

La quebrada alberga vida por lo cual se decidió tomar el agua mínima requerida.

- e. ¿El Proyecto tiene impactos sobre el número de empleos permanentes o de largo plazo (> 1 año)? Por favor, indique el número de personas empleadas / a emplear.
Se propone mantener un mínimo de 2 personas fijas para que administren toda la producción.
- f. ¿El Proyecto tiene impactos sobre el número de empleos temporales o de corto plazo (< 1 año)? Por favor, indique el número de personas empleadas / a emplear.
Al momento de instalación de las tuberías o de cosecha se van a requerir de 5 a 6 personas con contratos temporales.
- g. ¿El Proyecto tiene impactos en difusión del conocimiento?
Al ser una nueva plantación de un cultivo totalmente nuevo en la zona, la difusión del conocimiento a los peones agrícolas de la zona será un impacto positivo.
- h. ¿Existen otros Impactos Negativos y/o Co-beneficios en torno a otros aspectos educativos y de capacitación?
Adicional se debe de manejar un programa de capacitaciones para los encargados del proyecto.
- i. ¿El Proyecto tiene impactos en el desarrollo comunitario o social?
Al tener una nueva fuente de empleo el desarrollo comunal debe de generar impactos.
- j. ¿El Proyecto tiene impactos en el nivel de vida y la pobreza de la comunidad?
Lo ideal siempre es contar con colaboradores que sean de la zona del proyecto, para así apoyar la zona.
- k. ¿El proyecto tiene otros impactos que afecten positiva o negativamente a las mujeres?
La cosecha y empacado del aguacate Hass puede generar una pequeña cooperativa de mujeres una herramienta para generar emprendimientos y crecimiento socioeconómicos de las mujeres.
- l. ¿El Proyecto tiene impactos en la generación de otros ingresos (por ejemplo, por la creación de nuevas actividades industriales/comerciales, reducción de costos de producción, bienes o servicios, nuevas oportunidades de negocios)?
Siempre que un proyecto nuevo llega a una zona se generar por efecto domino nuevos emprendimientos que crearan nuevas fuentes de ingresos.

En base a estas preguntas se desarrolló un matriz pero como los efectos negativos no son de gran impacto solo se realizó una clasificación y una sugerencia de mejora para evitar que esos impactos se generen más negativos, la matriz se encuentra en el Anexo 22.

4.5.2. Análisis económico

El proyecto se desarrolla en dos propuestas una la cual es con riego por goteo y la otra con riego por microaspersión, a cada una de las propuestas se les realizó un análisis económico teniendo que los costos de los diseños de los drenajes son los mismos para ambas propuestas.

4.5.2.1. Propuesta 1 Riego por goteo

La inversión inicial del proyecto consiste en los gastos de excavación demostrado en el Cuadro 44, materiales de instalación de la red hidráulica, la compra de los árboles y las obras que se tengan que realizar para la instalación de estas.

Cuadro 44. Costos de excavación de drenes.

Excavación de drenes			
Detalle	Precio U	Cantidad (días de operación)	Total
Excavación Drenes (día)	₪ 360 000,00	8	₪ 2 906 640,00

La excavación se realizará con la retroexcavadora para poder tratar de hacerlo en lo más rápido posible, pero si sale más caro que otra maquinaria la hora de uso.

En el Cuadro 45 se muestran los costos de los materiales para el proyecto.

Cuadro 45. Costos de los materiales del proyecto.

Materiales			
Detalle	Precio U	Cantidad	Total
Goteros PCJ Driper 2 l/h	₡ 150,00	5825	₡ 873 750,00
Polietileno (25mm) 100m	₡ 42 000,00	2	₡ 84 000,00
Polietileno (20mm) 100m	₡ 26 000,00	3	₡ 78 000,00
Polietileno (12mm) 100m	₡ 16 190,00	61	₡ 987 590,00
Final PE 12mm	₡ 450,00	65	₡ 29 250,00
Manómetro Glicerina 0-100 psi	₡ 5 500,00	1	₡ 5 500,00
Codos PE 25mm	₡ 2 600,00	2	₡ 5 200,00
Te PE 25mm	₡ 5 600,00	6	₡ 33 600,00
Reductor de 20mm a 25mm	₡ 5 200,00	6	₡ 31 200,00
Codos PE 20mm	₡ 1 200,00	4	₡ 4 800,00
Te PE 20mm	₡ 1 700,00	5	₡ 8 500,00
Filtro Discos 1 " 200mesh	₡ 210 000,00	1	₡ 210 000,00
Bomba 0.5 -1 hp Evergush ECM-40	₡ 132 500,00	1	₡ 132 500,00
Válvula de bola PE 20mm	₡ 4 300,00	6	₡ 25 800,00
Válvula de bola PE 12mm	₡ 5 400,00	5	₡ 27 000,00
IVA 13%			₡ 329 769,70
Total			₡ 2 866 459,70

La compra de los árboles de aguacate Hass también tiene una importancia económica bastante grande en la inversión inicial del proyecto, tal como se observa en el Cuadro 46.

Cuadro 46. Costo de los árboles de aguacate Hass.

Arboles			
Detalle	Precio U	Cantidad	Total
Arboles de Aguacate Hass	₡ 2 000,00	1165	₡ 2 330 000,00
Total			₡ 2 330 000,00

Otro aspecto a incurrir gastos en el presupuesto es el costo de la mano de obra, tanto al inicio del proyecto como durante del mismo, como se demuestra en el Cuadro 47.

Cuadro 47. Costos de la mano de obra.

Mano de Obra			
Detalle	Precio U	Cantidad	Total
Peón Agrícola (día)	₡ 10 652,48	10	₡ 106 524,80
Peón Agrícola (día)	₡ 10 652,48	10	₡ 106 524,80
Gastos preoperativos			
Servicio profesional (mes)	₡ 682 607,00	1	₡ 682 607,00
Total Neto			₡ 895 656,60
CCSS			₡ 237 349,00
Total de costos			₡ 1 133 005,60

Con datos del MAG (2020), se logró realizar una relación con los datos establecido por ellos y llevados a la realidad de este proyecto, donde se calculó los gastos de mantenimientos mensuales de la producción de aguacate Hass en Costa Rica.

Cuadro 48. Costos del mantenimiento de la producción de los árboles de aguacate Hass.

Cantidad de arboles	Costos de mantenimiento de la producción	arboles/ha
1165 arboles	₡7 013 065,09	582,5

Siempre hay que contemplar un porcentaje de árboles que hay que reponerlos ya sea por daños mecánicos o por alguna plaga o enfermedad por lo cual se dispone de un 2% en pérdida de árboles.

Cuadro 49. Porcentaje de pérdida de árboles.

Arboles totales	2% pérdida de arboles	Total
1165	23,3	1141,7

Teniendo en cuenta los datos establecidos por el PIMA (2021) para el precio del aguacate Hass en Costa Rica, se establece un precio de compra que siempre es menor al que ellos publican por lo cual se establecen los precios de la primera y la segunda (2da, 3ra y lo que quede de producción) para poder obtener el valor de las ganancias más reales.

Cuadro 50. Precio del aguacate Hass por el PIMA al 1/07/2021.

Precio	1800
Primera	¢1 200
Segunda	¢800

Con esos valores se calcularon los ingresos teniendo en cuenta que el 30% siempre es segunda y el 70% primera, para poder así mejorar la realidad económica del proyecto.

Cuadro 51. Ingresos por la venta del aguacate Hass.

Ingresos						
Año	Kg/árbol	Árboles	Calidad	Kg	Ganancia	Total
1	0	1142	Primera	0	¢0	¢0
			Segunda	0	¢0	
2	0		Primera	0	¢0	¢0
			Segunda	0	¢0	
3	10		Primera	7994	¢9 592 800	¢12 333 600
			Segunda	3426	¢2 740 800	
4	20		Primera	15988	¢19 185 600	¢24 667 200
			Segunda	6852	¢5 481 600	
5	30		Primera	23982	¢28 778 400	¢37 000 800
			Segunda	10278	¢8 222 400	
6	50	Primera	39970	¢47 964 000	¢61 668 000	
		Segunda	17130	¢13 704 000		
7	50	Primera	39970	¢47 964 000	¢61 668 000	
		Segunda	17130	¢13 704 000		
8	50	Primera	39970	¢47 964 000	¢61 668 000	
		Segunda	17130	¢13 704 000		
9	50	Primera	39970	¢47 964 000	¢61 668 000	
		Segunda	17130	¢13 704 000		
10	50	Primera	39970	¢47 964 000	¢61 668 000	
		Segunda	17130	¢13 704 000		

Una vez establecidos todos los ingresos y egresos se realiza un análisis horizontal del proyecto en base a 10 años dicho análisis o balance se encuentra en el Anexo 23, pero para dar los resultados basta con traer los montos del flujo de los años y de la inversión, teniendo en cuenta un interés del 8% tal como lo ofrece el INDER para sus proyectos.

Cuadro 52. Análisis económico VAN y TIR propuesta 1.

Inversión	-C\$10 159 715,83
Flujo año 1	-C\$7 013 065,09
Flujo año 2	-C\$7 013 065,09
Flujo año 3	C\$5 320 534,91
Flujo año 4	C\$17 654 134,91
Flujo año 5	C\$29 987 734,91
Flujo año 6	C\$54 654 934,91
Flujo año 7	C\$54 654 934,91
Flujo año 8	C\$54 654 934,91
Flujo año 9	C\$54 654 934,91
VAN	C\$138 145 154,21
TIR	54%
Periodo de recuperación de la inversión (años)	3,3

Con estos valores se determina que el proyecto es muy viable ya que el TIR es de un 54 % siendo un buen número más para un proyecto agrícola, y no olvidarse que la inversión se recupera en 3,3 años.

4.5.2.2. Propuesta 2 (Riego por microaspersión).

Para los gastos en el proyecto de riego por microaspersión, se tienen los mismos solo se varia en los materiales ya que es lo único en lo que cambia el proyecto ya que todo lo demás se debe de realizar igual.

Cuadro 53. Costos de los materiales para la propuesta de riego por microaspersión

Materiales			
Detalle	Precio U	Cantidad	Total
Naandanjain AquaSmart 2002 35l/h Brown /orange	₡ 1 500,00	1165	₡ 1 747 500,00
Polietileno (20mm) 100m	₡ 42 000,00	37	₡ 1 554 000,00
Polietileno (25mm) 100m	₡ 96 000,00	3	₡ 288 000,00
Polietileno (40mm) 100m	₡ 96 000,00	3	₡ 288 000,00
Final PE 20mm	₡ 600,00	65	₡ 39 000,00
Manómetro Glicerina 0-100 psi	₡ 5 500,00	1	₡ 5 500,00
Codos PE 25mm	₡ 2 600,00	36	₡ 93 600,00
Te PE 25mm	₡ 5 600,00	28	₡ 156 800,00
Reductor de 40mm a 25mm	₡ 5 200,00	2	₡ 10 400,00
Reductor de 25mm a 20mm	₡ 3 600,00	3	₡ 10 800,00
Codos PE 40mm	₡ 1 200,00	4	₡ 4 800,00
Te PE 40mm	₡ 1 700,00	16	₡ 27 200,00
Filtro Discos 1 1/2" 200mesh	₡ 210 000,00	1	₡ 210 000,00
Bomba 0.5 -1 hp Evergush ECM-40	₡ 132 500,00	1	₡ 132 500,00
Válvula de bola PE 40mm	₡ 4 300,00	6	₡ 25 800,00
Válvula de bola PE 25mm	₡ 5 400,00	5	₡ 27 000,00
IVA 13%			₡ 171 522,00
Total			₡ 1 490 922,00

Cuadro 54. Análisis económico VAN y TIR propuesta 2.

Inversión	-₡11 542 814,36
Flujo año 1	-₡7 013 065,09
Flujo año 2	-₡7 013 065,09
Flujo año 3	₡5 568 934,91
Flujo año 4	₡18 150 934,91
Flujo año 5	₡30 732 934,91
Flujo año 6	₡55 896 934,91
Flujo año 7	₡55 896 934,91
Flujo año 8	₡55 896 934,91
Flujo año 9	₡55 896 934,91
VAN	₡140 631 265,96
TIR	55%
PR	2,9

Al igual que en la propuesta 1, esta también es rentable y por poco es mejor, esto se debe a que hay más gasto en las mangueras de distribución de agua en el árbol, que hace que ese proyecto sea más caro que este, las Ecuaciones 64 y 65 fueron las ecuaciones utilizadas para realizar los cálculos del VAN y TIR.

4.5.3. Análisis ambiental

En el análisis ambiental de este proyecto por ser algo a nivel rural y en pequeño terreno hace que los efectos ambientales no sean muchos, pero como todo proyecto se realizó el respectivo llenado del formulario D1 de setena y se obtuvo una calificación final de 85.5 puntos por lo cual el proyecto es clasificado en un B2 y solo deberá de presentar una declaración jurada de que el proyecto no va a generar un impacto ambiental más grave de lo que se indicó en el formulario, parte del formulario está en el Anexo 25.

CAPITULO 5 CONCLUSIONES Y RECOMEDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

El cultivo de aguacate Hass tiene la característica de que es sensible al agua en las raíces por ello no se puede dejar que se produzca una asfixia radicular, lo cual el drenaje debe ser fundamental por esta situación y analizando el caso de la Finca Nubes, se diseñó un drenaje superficial y subsuperficial para reducir los efectos tanto de la lluvia por escorrentía como las aguas subsuperficiales, y así tener una plantación bien establecida sin problemas de acumulación de aguas y con los requerimientos específicos del cultivo a nivel de aireación en las raíces.

Contemplando todos los parámetros agronómicos e hidráulico del cultivo de aguacate Hass en la Finca Nubes, se establece como el mejor sistema de riego el de microaspersión o subarbóreo, ya que lograremos un mejor humedecimiento del suelo y por el tipo de suelo que contiene arcilla en una parte considerable y que tiende a agrietarse, lo ideal es siempre mantener el suelo con una buena humedad, y a nivel mecánico es más sencillo tanto instalar como estar revisando el correcto funcionamiento del sistema, y nos dará menos problemas de mantenimiento a su vez resulto ser la mejor propuesta a nivel económico.

Al evaluar los aspectos ambientales y sociales que van a generar el proyecto nos da como resultados más factores positivos que negativos, por tanto, es viable en estos aspectos, y posteriormente en el factor económico los índices VAN y TIR nos indican que los proyectos son rentables y con ganancias a corto plazo, es verdad que la inversión inicial será considerable pero las ganancias también y por ello el periodo de retorno esta para poco menos de los tres años y teniendo ese punto de balance lo convierte en un proyecto muy viable, y con buena mira para pronta ejecución de este.

5.2. RECOMENDACIONES

Los drenajes van a ser un eje principal por los problemas de aguas subsuperficiales presentes en el suelo, un buen mantenimiento de estas vías de evacuación de aguas tanto superficiales como subsuperficiales serán obligatorios para no tener pérdidas de árboles innecesarios y así tener una plantación bien establecida.

Las obstrucciones en las tuberías siempre están presentes en sistemas de riego donde los orificios de salida sean pequeños como en los microaspersores, para estas situaciones se deberán de establecer un sistema preventivo que será la utilización del filtro con mesh mayores a 180 y cada vez, antes de iniciar a regar se deberá de estar limpiándolo para asegurar un eficiente funcionamiento y posterior un plan de revisiones de emisores para evitar problemas de riego y drenaje.

Una recomendación a nivel económico será que antes de poner en marcha el proyecto se debería de iniciar una apertura en el mercado de este producto para empezar teniendo una buena colocación del cultivo, ya que la inversión si es considerable como para estar perdiendo cosechas por falta de mercado de venta.

CAPITULO 6. BIBLIOGRAFÍA

Ambientum. (2018, abril). Las precipitaciones atmosféricas. Ambientum Portal del Medioambiente.

https://www.ambientum.com/enciclopedia_medioambiental/atmosfera/las-precipitaciones-atmosfericas.asp

Aquae. (2020, febrero). La escorrentía: ¿qué es y cuántos tipos hay? | Fundación Aquae.
<https://www.fundacionaquae.org/escorrentia/>

Bongiovanni, R., & Lowenberg-DeBoer, J. (2006). PRECISION AGRICULTURE: ECONOMICS OF NITROGEN MANAGEMENT IN CORN USING SITE-SPECIFIC CROP RESPONSE ESTIMATES FROM A SPATIAL REGRESSION MODEL (1.a ed., Vol. 1).

Calvo L.R. (2005). Métodos de riego: un enfoque práctico para el diseño. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo, Costa Rica. 168 p.

Chavarría, A. (2012). Manual de Laboratorio Edafología. Cartago: Tecnológico de Costa Rica.

Chavarría, A. (2013). Apuntes de clase Relación Suelo-Agua-Planta (1.a ed., Vol. 1). Editorial Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Evergush. (2018). EVERGUSH-ECM-EN(50HZ)-201808.pdf

FAO. (2000). Manual de captación y aprovechamiento de agua de lluvia. Experiencias en América Latina. Serie Zonas Áridas y Semiáridas N.º 13. Santiago, Chile: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.

FAO. (2013). “Manual de Riego Parcelario”. Recuperado de: http://www.fao.org/tempref/GI/Reserved/FTP_FaoRlc/old/prior/recnat/pdf/MR_cap1.PDF

FAO. (s.f). MICROCAPTACIÓN, CULTIVOS ANUALES Y PERENNES, MÉXICO. Recuperado: <http://www.fao.org/3/ai128s/ai128s03.pdf>

Fernandez, R. (2010). *Manual de riego para agricultores*. Riego Localizado.

https://www.juntadeandalucia.es/export/drupaljda/1337160941RIEGO_BAJA.pdf

Garbanzo, M. 2011. Cultivo de aguacate. Buenas prácticas de cultivo variedad Hass. 2 ed. San José. 96 p.

GIZ México. (2016, abril). GIZ Metodología Evaluación Impacto Social 2016 (N.o 1).

https://energypedia.info/wiki/File:GIZ_Metodologia_Evaluaci%C3%B3n_Impacto_Social_2016.pdf

MAG. (2020). Modelo de costos de producción de aguacate (N.o 1).

http://www.infoagro.go.cr/EstadisticasAgropecuarias/CostosProduccion/Documents/AGUACATE_Nacional_2020.pdf

MAG. (2011). COMPENDIO CON INFORMACIÓN DE LAS OPCIONES TÉCNICAS DE COSECHA DE AGUA APLICABLES A NUESTRO MEDIO”. Recuperado:

http://www.mag.go.cr/biblioteca_virtual/bibliotecavirtual/a00268.pdf

Merton. R (1999) Finanzas. (1ed.). México, D.F. Editorial: Gráficos Universitarios, Inc.

NaanDanJain. (2010). Catálogo de productos. Recuperado 15 de febrero de 2021 de

<http://es.naandanjain.com/download-center/>

Netafim. (s. f.). PCJ Online Dripper. Netafim. Recuperado 15 de febrero de 2021, de

<https://www.netafim.com/en/products-and-solutions/product-offering/drip-irrigation-products/pc-online2/PCJ-migrated/>

López, R. (2016). “MANEJO Y USO EFICIENTE DEL AGUA DE RIEGO INTRAPREDIAL PARA EL SUR DE CHILE”. Recuperado de:

<http://biblioteca.inia.cl/medios/biblioteca/boletines/NR40569.pdf>

López, F y Blanco, M. (1976). Hidrología Forestal. 1ª. Parte. Madrid. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes. 134 p.

López, G. (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>

Ponce, V. (2008). *Periodo de retorno a ser usado para diseño*, Victor M. Ponce. PERÍODO DE RETORNO. http://ponce.sdsu.edu/periodos_de_retorno_articulo.html

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. (2008). Fundamentos de Riego – 1ª ed. Cartago, Costa Rica: Taller de Publicaciones del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Villalobos, M. (2005). Diseño de drenaje superficial – 1ª ed. Cartago, Costa Rica: Taller de Publicaciones del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Villalobos, M. (2017). Riego a Presión. Documentos del curso Riego a Presión, Instituto Tecnológico de Costa Rica Cartago, Costa Rica.

Villón, M. (2006). Drenaje (1.a ed., Vol. 1). Editorial Tecnológica de Costa Rica.

Villón, M. (2012). Manual Práctico para el Diseño de Canales (2da ed.). Cartago, Costa Rica: Centro de Desarrollo de Material Bibliográfico.

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

Sabalza, M. 2006. Evaluación económica de proyectos de cooperación, Hegoa, Bilbao. España

Sanchez, J. (2009). *Hidrología e Hidrogeología*. Hidrologia. <https://hidrologia.usal.es/>

Traxco. (2020, 5 noviembre). *Humedad en suelos según texturas - Velocidad de infiltración*.

Traxco, S.A. <https://www.traxco.es/blog/tecnologia-del-riego/humedad-en-suelos-de-diferente-textura>

CAPITULO 7. ANEXOS

ANEXOS 1. Análisis de datos de precipitación

Cuadro 55. Análisis de datos de precipitaciones máximas en 10 años.

Fuente Propia

Año	Días				
	1	2	3	4	5
2010	16,8	32,6	45,3	56,2	23,2
2011	12,3	46,2	63,5	80,6	32,4
2012	19,4	12,1	41,7	119,3	49,4
2013	27,6	50,3	62,1	14,9	49,2
2014	11,1	45,1	62,7	79,5	34,0
2015	49,9	41,1	76,4	74,1	55,4
2016	50,5	71,3	69,8	60,5	56,3
2017	37,2	64,7	44,9	41,5	40,0
2018	46,6	46,3	71,5	51,1	48,3
2019	39,3	38,1	46,1	43,6	40,8

N° Orden	Días					Tr (años)
	1	2	3	4	5	$Tr=(n+1) / m$
1	50,5	71,3	76,4	119,3	56,3	11,00
2	49,9	64,7	71,5	80,6	55,4	5,50
3	46,6	50,3	69,8	79,5	49,4	3,67
4	39,3	46,3	63,5	74,1	49,2	2,75
5	37,2	46,2	62,7	60,5	48,3	2,20
6	27,6	45,1	62,1	56,2	40,8	1,83
7	19,4	41,1	46,1	51,1	40,0	1,57
8	16,8	38,1	45,3	43,6	34,0	1,38
9	12,3	32,6	44,9	41,5	32,4	1,22
10	11,1	12,1	41,7	14,9	23,2	1,10

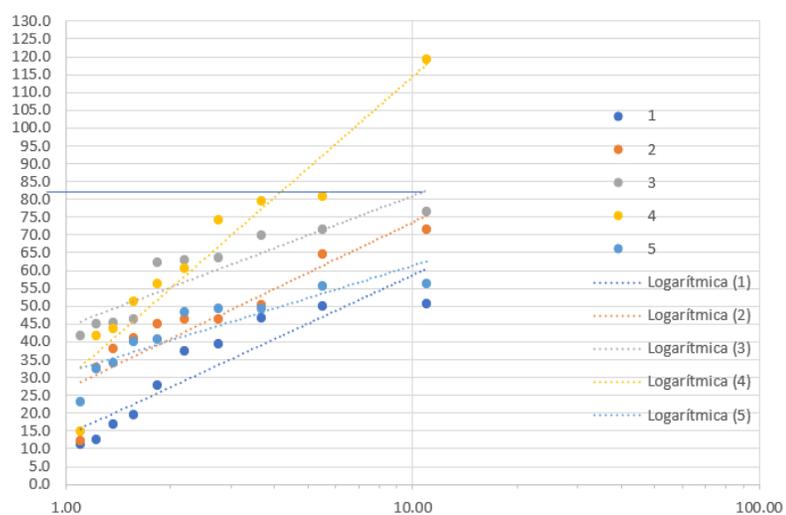


Figura 11. Gráfico de los datos de la precipitación vs Tiempo de retorno. Fuente Propia.

ANEXO 6. Condición de humedad antecedente CHA y numero de curva.

Condición de humedad antecedente (CHA)

Condición de humedad antecedente(CHA)	Precipitación acumulada de los 5 días previos al evento en consideración
I	0 - 3,30 cm
II	3,50 - 5,25 cm
III	más de 5,25 cm

Figura 16. Condición de humedad antecedente (CHA). Fuente Villalobos,2005.

Clasificación hidrológica de los suelos

Grupo de suelos	Descripción
A	Más bajo potencial de escorrentía: Incluye arenas con muy poco limo y arcilla. También incluye suelos profundos de alta permeabilidad por razones especiales (ejemplo oxisoles)
B	Moderadamente bajo potencial de escorrentía: Principalmente, suelos arenosos menos profundos que A. También suelos de alta permeabilidad por razones especiales menos profundos que A. Su capacidad de infiltración después de saturados es superior al promedio.
C	Moderadamente alto potencial de escorrentía: Comprende suelos superficiales y suelos que contienen alto contenido de arcilla y coloides, aunque menos que aquellos del grupo D. Después de saturación el grupo tiene una capacidad de infiltración menor que el promedio.
D	Más alto potencial de escorrentía: Suelos con infiltración muy lenta, cuando están muy húmedos. Incluye principalmente arcillas expansivas y suelos superficiales con horizontes casi impermeables (o roca) cerca de la superficie.

Figura 17. Clasificación Hidrológica de los suelos. Fuente Villalobos,2005.

Curvas de escorrentía para los complejos suelo-cobertura (NC), para condición de humedad II y $I_a = 0,2S$.

Uso de la tierra	Cobertura		Grupo de suelos			
	Tratamiento o práctica	Condición hidrológica	A	B	C	D
			Número de curva			
Rastrojo	Hileras rectas	—	77	86	91	94
Cultivo en hileras	Hileras rectas	Mala	71	81	88	91
	Hileras rectas	Buena	67	78	85	89
	C/curvas de nivel	Mala	70	79	84	88
	C/curvas de nivel	Buena	65	75	82	86
	C/curvas de nivel y terrazas	Mala	66	74	80	82
	C/curvas de nivel y terrazas	Buena	62	71	78	81
Cultivo en hileras estrechas	Hileras rectas	Mala	65	76	84	88
	Hileras rectas	Buena	63	75	83	87
	Curvas de nivel	Mala	63	74	82	85
	Curvas de nivel	Buena	61	73	81	84
	Curvas de nivel y terrazas	Mala	61	72	79	82
	Curvas de nivel y terrazas	Buena	59	70	78	81

Figura 18. Curvas de escorrentía para los complejos suelo-cobertura (NC). Fuente Villalobos,2005.

ANEXO 7. TR en función de las raíces y textura

PROFUNDIDAD RAICES (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

Figura 19. Cuadro del TR en función de las raíces y Textura. Fuente Villalobos, 2017.

ANEXO 8. Valores de F de Cristianasen.

Anexo 2. Valores de F de Cristianasen

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

Figura 20. Valores de F de Cristianasen. Fuente Villalobos, 2017.

ANEXO 9. Coeficiente del material de la tubería.

Material	Coeficiente C
Acero Nuevo	140
Aluminio Nuevo	140
Acero Viejo (15 años)	120
Acero Remachado (10 años)	110
Aluminio con acoples	120
Galvanizado con uniones	115
P.V.C	150
Polietileno	140

Figura 21. Coeficiente del material de la tubería. Fuente Villalobos, 2017.

ANEXO 10. Mapa de arboles en el terreno.

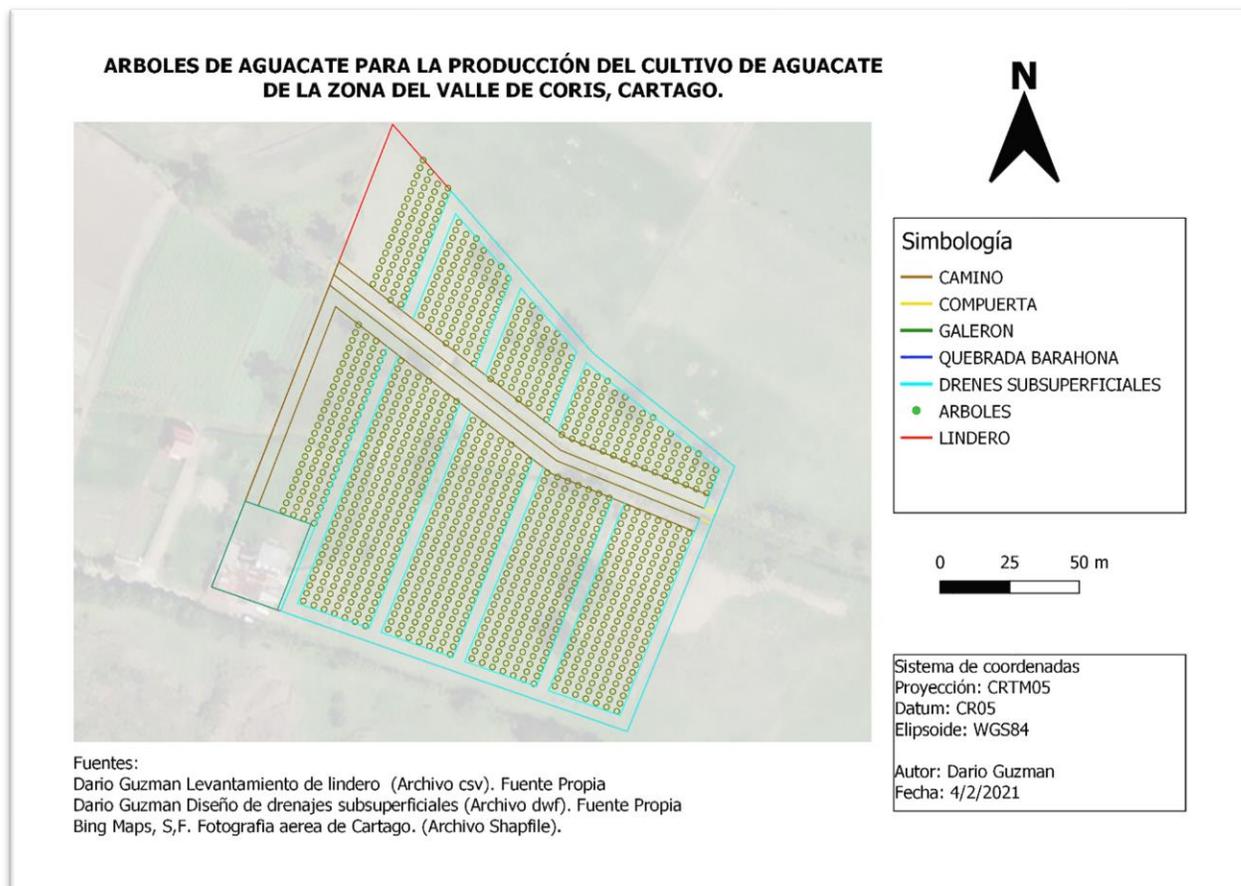


Figura 22. Distribución de los árboles en el terreno. Fuente propia.

ANEXO 11. Capacidad de Campo y Puntos de Marchitez Permanente a diferentes profundidades.

Cuadro 56. Determinación del CC y PMP., Fuente Propia.

Profundidad	CC	PMP
20cm	22,89	12,37
	24,27	13,05
	23,58	12,71
40cm	24,56	13,20
	23,97	12,91
	24,27	13,05

ANEXO 12. Densidades aparentes para las diferentes profundidades.

Cuadro 57. Determinación de la densidad aparente. Fuente Propia.

0-20cm		20-50 cm	
Datos		Datos	
Peso (g)	182,49	Peso (g)	180,23
Diámetro (cm)	5,8	Diámetro (cm)	5,7
Radio	2,9	Radio	2,85
Altura (cm)	5,7	Altura (cm)	5,4
Dap	1,2118	Dap	1,3080

ANEXO 13. Curvas IDF para zonas de Costa Rica.

Ciudad	Ecuación
Alajuela	$I_{max} = 209,844 - 38,7304 \times \ln(D) + [42,614 - 24,6041 \times \ln(\ln(D))] \times \ln(T)$
Liberia	$I_{max} = 200,556 - 35,9234 \times \ln(D) + [44,1334 - 7,49972 \times \ln(D)] \times \ln(T)$
Limón	$I_{max} = 155,052 - 25,8865 \times \ln(D) + [21,7857 - 3,13747 \times \ln(D)] \times \ln(T)$
San José	$I_{max} = 166,097 - 29,6018 \times \ln(D) + [20,3018 - 2,79158 \times \ln(D)] \times \ln(T)$
Cartago	$I_{max} = 156,892 - 28,4612 \times \ln(D) + [42,2027 - 8,0731 \times \ln(D)] \times \ln(T)$
Puntarenas	$I_{max} = 175,645 - 29,5811 \times \ln(D) + [43,0524 - 5,32126 \times \ln(D)] \times \ln(T)$

Figura 23. Fórmulas de las curvas IDF para diversas zonas de Costa Rica. Fuente Villalobos, 2005.

ANEXO 14. Dimensionamiento del Canal de la Quebrada Barahona.

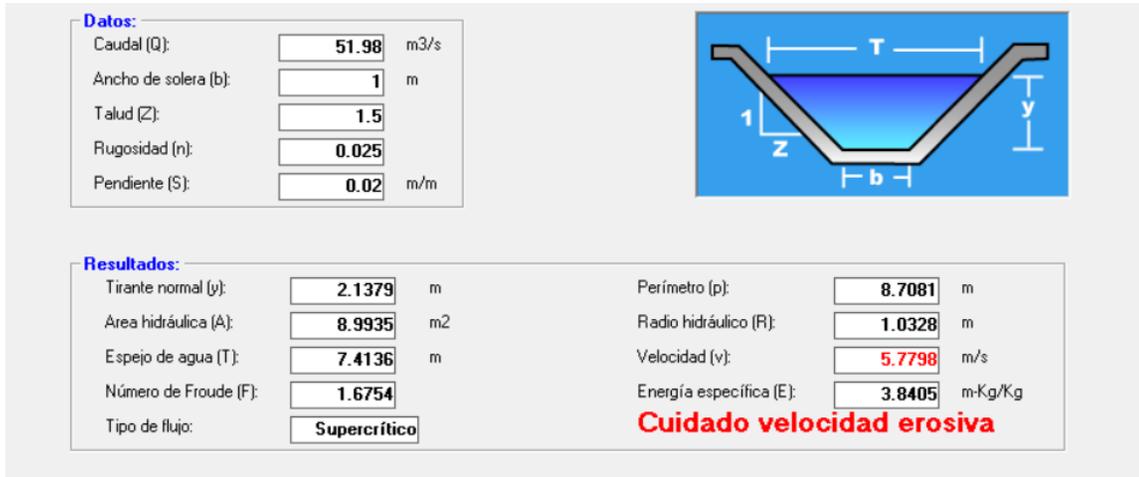


Figura 24. Dimensionamiento del canal de la Quebrada Barahona en una Avenida Máxima. Fuente Elaborado con HCanales.

ANEXO 15. Mapa del área de influencia de la quebrada Barahona.

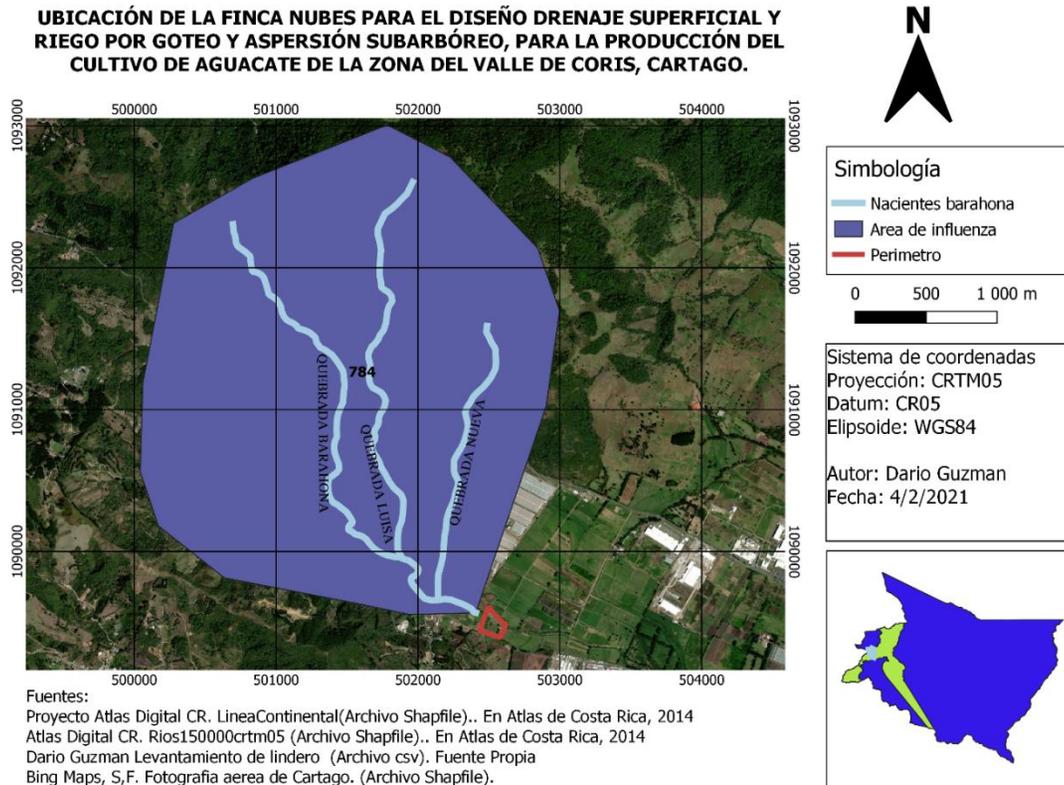


Figura 25. Mapa del área de influencia de la quebrada Barahona. Fuente Propia.

ANEXO 16. Dimensionamiento de los drenes subsuperficiales.

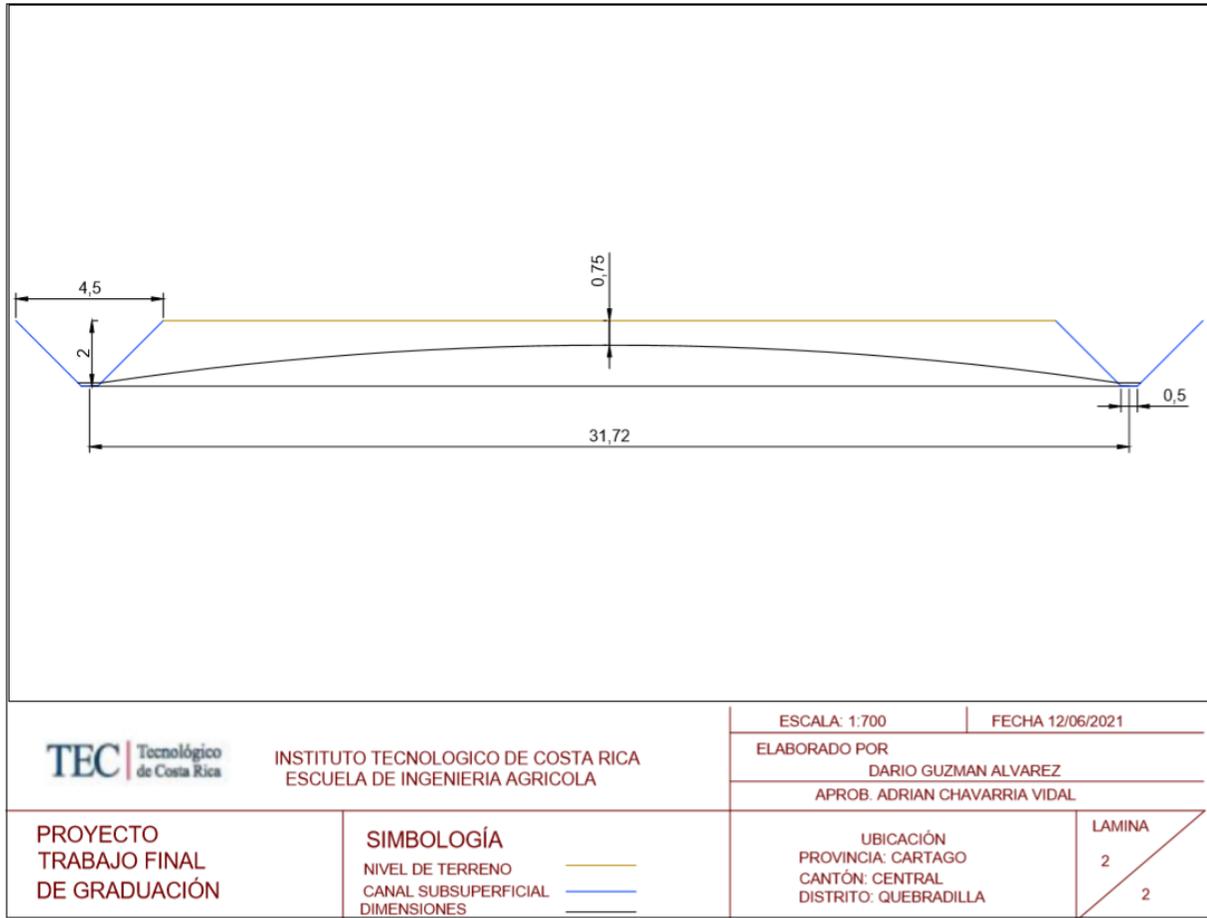


Figura 26. Dimensionamiento de los drenes subsuperficiales. Fuente Propia.

ANEXO 17. Conductividad Hidraulica.

L arriba (cm)	Diametro	Labajo	H total	Area				
5,5	4,5	6	11,5	15,90431281				
Conductividad 1						Variabilidad	Promedio de las ultimas cuatro lecturas	
Mediciones	hora	Tiempo (min)	Volumen (ml)	Q (cm/min)	K(cm/min)	#jDIV/0!		
1	03:40	0	0	#jDIV/0!	#jDIV/0!	#jDIV/0!		
2	03:49	4	19,8	4,95	0,162384174	-5,714285714		
3	03:51	4	21	5,25	0,172225639	43,83561644		
4	03:53	4	14,6	3,65	0,119737825	12,308		
5	03:55	4	13	3,25	0,106615872	-4,41		
6	03:57	4	13,6	3,4	0,111536604	-8,11		
7	03:59	4	14,8	3,7	0,121378069	1,37		
8	04:01	4	14,6	3,65	0,119737825	12,31		
9	04:03	4	13	3,25	0,106615872	1,56		
10	04:05	4	12,8	3,2	0,104975628	0,00		
11	04:07	4	12,8	3,2	0,104975628	10,34		
12	04:09	4	11,6	2,9	0,095134162	-3,33		
13	04:11	4	12	3	0,098414651	0,00		
14	04:13	4	12	3	0,098414651	1,69		
15	04:15	4	11,8	2,95	0,096774407	2,61		
16	04:17	4	11,5	2,875	0,09431404	2,68		
17	04:19	4	11,2	2,8	0,091853674	6,67		
18	04:21	4	10,5	2,625	0,086112819	#jDIV/0!		
						k		
						0,10	cm/min	
						1,41	m/dia	
						5,865513188	cm/h	

Figura 27. Datos de la muestra 1 de la conductividad hidráulica. Fuente Propia.

L arriba (cm)	Diametro	L abajo	H total	Area				
5,2	4,5	5,5	10,7	15,90431281				
Conductividad 2						Variabilidad	Promedio de las ultimas cuatro lecturas	
Mediciones	hora	Tiempo (min)	Volumen (ml)	Q (cm/min)	K(cm/min)	#jDIV/0!		
1	09:04	0	0	#jDIV/0!	#jDIV/0!	#jDIV/0!		
2	09:08	4	22	5,5	0,17775699	4,76190476		
3	09:12	4	21	5,25	0,16967713	10,5263158		
4	09:16	4	19	4,75	0,1535174	2,703		
5	09:20	4	18,5	4,625	0,14947747	0,54		
6	09:24	4	18,4	4,6	0,14866948	5,14		
7	09:28	4	17,5	4,375	0,14139761	0,57		
8	09:32	4	17,4	4,35	0,14058962	1,16		
9	09:36	4	17,2	4,3	0,13897365	2,38		
10	09:40	4	16,8	4,2	0,1357417	1,20		
11	09:44	4	16,6	4,15	0,13412573	0,00		
12	09:48	4	16,6	4,15	0,13412573	1,22		
13	09:52	4	16,4	4,1	0,13250976	0,00		
14	09:56	4	16,4	4,1	0,13250976	1,23		
15	10:00	4	16,2	4,05	0,13089378	0,00		
16	10:04	4	16,2	4,05	0,13089378	0,00		
17	10:08	4	16,2	4,05	0,13089378	#jDIV/0!		
						k		
						0,13	cm/min	
						1,90	m/dia	
						7,93673426	cm/h	

Figura 28. Datos de la muestra 2 de la conductividad hidráulica. Fuente Propia.

		L arriba (cm)	Diametro	Labajo	H total	Area		
		4,2	4,5	6	10,2	15,9043128		
Conductividad 3							Variabilidad	Promedio de las ultimas cuatro lecturas
tiempo acumulado	Mediciones	hora	Tiempo (min)	Volumen (ml)	Q (cm/min)	K(cm/min)		
0	1	09:09	0	0	0	0	0	
4	2	09:13	4	18,2	4,55	0,16828584	-10,7843	
8	3	09:17	4	20,4	5,1	0,18862808	6,2500	
12	4	09:21	4	19,2	4,8	0,17753231	-4,9505	
16	5	09:25	4	20,2	5,05	0,18677879	-1,9417	-2,8566
20	6	09:29	4	20,6	5,15	0,19047738	3,0000	0,5894
24	7	09:33	4	20	5	0,18492949	5,2632	0,3427
28	8	09:37	4	19	4,75	0,17568302	9,1954	3,8792
32	9	09:41	4	17,4	4,35	0,16088866	8,7500	6,5521
36	10	09:45	4	16	4	0,14794359	-5,8824	4,3316
40	11	09:49	4	17	4,25	0,15719007	-7,6087	1,1136
44	12	09:53	4	18,4	4,6	0,17013513	#iDIV/0!	#iDIV/0!

k	
0,17	cm/min
2,44	m/dia
10,1764057	cm/h

Figura 29. Datos de la muestra 3 de la conductividad hidráulica. Fuente Propia.

ANEXO 18. Datos de operación de la Bomba Evergush.

Performance Table

Model	Output (P ₂)		Q (m ³ /h)	1	2	3	4	5	6	7
	(kW)	(hp)								
ECM4-20(T)	0.37	0.5	H (m)	19	18	17	15	12.5	10	7.5
ECM4-30(T)	0.55	0.75		28	27	26	23.5	20.5	17	13
ECM4-40(T)	0.75	1		37.5	36	34	31	27	23	19
ECM4-50(T)	1.1	1.5		47	45	42.5	39	34	29	23
ECM4-60(T)	1.1	1.5		56	54	51	47	41.5	35.5	28

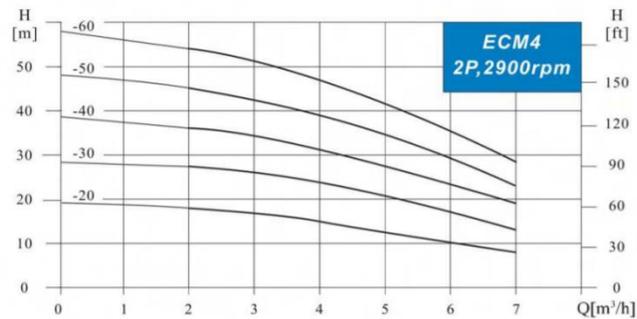


Figura 30. Datos de la curva de operación de la Bomba ECM4-30. Fuente Evergush., 2018.

ANEXO 19. Determinación del Eto por Software CropWat

País	Location 10		Estación	PACAYAS				
Altitud	1735	m.	Latitud	9.91	°N	Longitud	83.81	°W
Mes	Temp Min	Temp Max	Humedad	Viento	Insolación	Rad	ETo	
	°C	°C	%	km/día	horas	MJ/m²/día	mm/día	
Enero	10.7	20.7	82	61	4.6	14.5	2.50	
Febrero	10.4	21.2	78	69	4.8	15.7	2.80	
Marzo	10.7	21.3	78	78	5.0	16.9	3.04	
Abril	11.5	22.2	81	69	4.3	16.1	2.98	
Mayo	12.2	22.4	84	61	4.3	15.9	2.94	
Junio	12.6	22.5	85	52	3.8	14.8	2.79	
Julio	12.4	22.2	88	52	3.0	13.7	2.60	
Agosto	12.1	22.3	86	52	3.5	14.6	2.75	
Septiembre	12.1	22.7	86	52	3.4	14.5	2.74	
Octubre	12.1	22.2	86	52	3.2	13.5	2.53	
Noviembre	11.9	21.3	84	52	3.4	12.9	2.36	
Diciembre	11.3	21.0	84	52	4.3	13.6	2.38	
Promedio	11.7	21.8	84	58	4.0	14.7	2.70	

Figura 31. Pantallazo del programa CropWat para el cálculo de la Eto. Fuente Elaborado por CROPWAT.

ANEXO 20. Ficha técnica de los goteros PCJ drippers.

DRIPPERS TECHNICAL DATA

PCJ drippers

FLOW RATE* (L/H)	WORKING PRESSURE RANGE (BAR)	WATER PASSAGES DIMENSIONS WIDTH-DEPTH-LENGTH (MM)	FILTRATION AREA (MM²)	CONSTANT K	EXPONENT* X	BASE CODE COLOR	CAP COLOR CODE
0.5	0.5 – 4.0	0.54 x 0.60 x 40	1.8	0.5	0	Mustard	Black
1.2	0.5 – 4.0	0.67 x 0.77 x 35	2.0	1.2	0	Brown	Black
2.0	0.5 – 4.0	1.03 x 0.75 x 35	2.0	2.0	0	Red	Black
3.0	0.5 – 4.0	1.03 x 1.08 x 35	2.0	3.0	0	Blue	Black
4.0	0.5 – 4.0	1.32 x 0.95 x 35	2.0	4.0	0	Gray	Black
8.0	0.5 – 4.0	1.60 x 1.05 x 35	2.0	8.0	0	Green	Black
12.0	0.5 – 4.0	1.60 x 1.05 x 17.5	2.0	12.0	0	Fuchsia	Black
15.0	0.5 – 4.0	1.60 x 1.08 x 17	2.0	15.0	0	Black	Black

*Within working pressure range

Figura 32. Tabla de especificación del Gotero PCJ Dripper. Fuente Netafim (s.f).

ANEXO 21. Tabla de especificaciones del micro aspersor NaanDanJain.

DIÁMETROS DE RIEGO (m)

			Naranja* (corto alcance)	Negro (mediano alcance)		Azul (largo alcance)		Verde (invertido)**
Color de boquilla	Caudal (l/h)	Boquilla (mm)		primera etapa	Regular (segunda etapa)	primera etapa	Regular (segunda etapa)	
Violeta	20	0.84						
Grís	28	1.00	3.0	1.5	3.5			
Marrón	35	1.10	3.0	2.0	4.0	1.5	4.5	5.0
Azul	35	1.10	3.5	2.5	4.0	2.0	5.0	5.0
Azul	47	1.25	3.5	2.5	4.5	2.0	5.5	5.0
Verde	55	1.33	3.5	2.5	4.5	2.0	6.0	5.0
Naranja	70	1.48		2.5	5.0	2.5	7.0	5.0
Amarillo	95	1.75		3.0	5.5	3.0	7.5	5.0

Figura 33. Tabla de especificaciones del micro aspersor. Fuente NaanDanJain. 2010.

ANEXO 22. Matriz de Impacto Social.

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		
Aire	Generación de polvo y ruido por excavaciones		x		Creación de polvo que puede producir molestias a los vecinos y adicional el ruido generado.	Tratar de realizar las obras en momentos de poco viento para que no se lo levanten mucho
Suelo	Creación de drenajes profundos			x	Canales para drenar las aguas subsuperficiales	
Agua	Conservación y uso eficiente del agua			x	Se tomará el agua mínima requerida para no causar daños al ecosistema	
Trabajo y condiciones laborales	Empleos permanentes o de largo plazo (> 1 año)			x	Mantenimiento del sistema de riego y los drenes	
	Empleos temporales o de corto plazo (< 1 año)			x	Recolección de cosecha y aplicaciones de agroquímicos especializados	
	Número de Empleos generados			x	Durante el proyecto se generarán unos 5 empleos	
Educación y Capacitación	Difusión del conocimiento			x	Los peones que se harán cargos tendrán la información del nuevo tiempo de cultivo y el sistema de riego	
	Impactos en educación y capacitación			x	Se les capacitara para lograrán que puedan manejarlo de la manera mas optimas	
Bienestar social	Desarrollo comunitario y social	x				
Igualdad de género	Forma de vida, educación, capacitación para mujeres.		x		No es común ver mujeres realizando labores agrícolas.	Apoyar a las mujeres a que se integren a proyectos agrícolas
Patrimonio cultural	Afectación a patrimonio arqueológico, cultural histórico y religioso.	x				
Desarrollo Económico	Los ingresos procedentes del empleo generado	x				

Figura 34. Matriz de impacto social. Fuente propia.

ANEXO 23. Balance Económico de la propuesta 1.

Ciclo	0	1	2	3
Excavacion de Drenes	-€2 906 640,00			
Arboles	-€2 330 000,00			
Salarios trabajadores	-€1 133 005,60			
Materiales	-€2 866 459,70			
Imprevistos (10%)	-€923 610,53			
Costos de producción		-€7 013 065,09	-€7 013 065,09	-€7 013 065,09
Ventas		€0,00	€0,00	€12 333 600,00
Total	-€10 159 715,83	-€7 013 065,09	-€7 013 065,09	€5 320 534,91
Flujo neto financiero	-€10 159 715,83	-€7 013 065,09	-€7 013 065,09	€5 320 534,91
Utilidad acumulada	-€10 159 715,83	-€17 172 780,92	-€24 185 846,02	-€18 865 311,11

4	5	6	7	8	9
-€7 013 065,09	-€7 013 065,09	-€7 013 065,09	-€7 013 065,09	-€7 013 065,09	-€7 013 065,09
€24 667 200,00	€37 000 800,00	€61 668 000,00	€61 668 000,00	€61 668 000,00	€61 668 000,00
€17 654 134,91	€29 987 734,91	€54 654 934,91	€54 654 934,91	€54 654 934,91	€54 654 934,91
€17 654 134,91	€29 987 734,91	€54 654 934,91	€54 654 934,91	€54 654 934,91	€54 654 934,91
-€1 211 176,20	€28 776 558,70	€83 431 493,61	€138 086 428,52	€192 741 363,42	€247 396 298,33

Figura 35. Balance y análisis económico de la propuesta 1.

ANEXO 24. Balance Económico de la Propuesta 2.

Ciclo	0	1	2	3
Excavacion de Drenes	-€2 906 640,00			
Arboles	-€2 330 000,00			
Salarios trabajadores	-€1 133 005,60			
Materiales	-€4 123 822,00			
Imprevistos (10%)	-€1 049 346,76			
Costos de producción		-€7 013 065,09	-€7 013 065,09	-€7 013 065,09
Ventas		€0,00	€0,00	€12 582 000,00
Total	-€11 542 814,36	-€7 013 065,09	-€7 013 065,09	€5 568 934,91
Flujo neto financiero	-€11 542 814,36	-€7 013 065,09	-€7 013 065,09	€5 568 934,91
Utilidad acumulada	-€11 542 814,36	-€18 555 879,45	-€25 568 944,55	-€20 000 009,64

4	5	6	7	8	9
-€7 013 065,09	-€7 013 065,09	-€7 013 065,09	-€7 013 065,09	-€7 013 065,09	-€7 013 065,09
€25 164 000,00	€37 746 000,00	€62 910 000,00	€62 910 000,00	€62 910 000,00	€62 910 000,00
€18 150 934,91	€30 732 934,91	€55 896 934,91	€55 896 934,91	€55 896 934,91	€55 896 934,91
€18 150 934,91	€30 732 934,91	€55 896 934,91	€55 896 934,91	€55 896 934,91	€55 896 934,91
-€1 849 074,73	€28 883 860,17	€84 780 795,08	€140 677 729,99	€196 574 664,89	€252 471 599,80

Figura 36. Balance y análisis económico de la propuesta 2.

ANEXO 25. Formulario de SETANA D1.

5. CRITERIOS DE PONDERACIÓN



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

1. Valor preliminar de SIA, es decir la sumatoria de todos los valores individuales (Σ)	171.00
--	---------------

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

2.a Con Reglamento específico en materia ambiental que regule la actividad, obra o proyecto (p). Se multiplica la sumatoria de SIA (Σ) por un factor de 1 =	1	Decreto Ejecutivo No. _____	3. Sin Reglamento específico en materia ambiental (p) que regule la operación, se multiplica la sumatoria (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(p). Dicha norma o guía ambiental será de acatamiento obligatorio para el desarrollador, en lo que corresponda, desde el momento en que la SETENA le otorga la viabilidad ambiental. En este caso se multiplica la sumatoria de SIA (Σ) por un factor de 0,75 =	0.75			
		(p)	1	
4. Valor de SIA ajustado por regulaciones (SIA _a) =		171		

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 _a por un valor de 0,5 =	0.5	6. Localización autorizada por Plan Regulador NO aprobado por SETENA. Se multiplica el valor de SIA _a por un valor de 1,0 =	1
7. Localización en áreas sin Plan Regulador. Se multiplica el valor de SIA _a por un valor de 1,5 =	1.5	8. Localización en áreas ambientalmente frágil, excepto que este contemplado en el numeral 5. Se multiplica el valor de SIA _a 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)	0.5
-------------	-----

9. Calificación final de la SIA:	85.5
---	-------------

Figura 37. Formulario D1 Setena. Fuente Setena.

ANEXO 26. Perfil del suelo de Finca Nubes.



Figura 38. Perfil del suelo a 50cm en la finca Nubes. Fuente Propia.

ANEXO 26. Infiltraciones según tipo de suelo.

Cuadro 58. Velocidades de infiltración para los diferentes tipos de suelos.

Fuente: Traxo, 2020

Muy arenoso	20 - 25 mm/h
Arenoso	15 - 20 mm/h
Limo - arenoso	10 - 15 mm/h
Limo - arcilloso	8 - 10 mm/h
Arcilloso	< 8 mm/h

ANEXO 27. Periodos de retorno según tipo de obra.

Cuadro 59. Periodo de retorno según tipo de obra

Fuente: Ponce, 2008

No.	Tipo de proyecto o obra	Período de retorno (años)
1	Drenaje urbano y rural [bajo riesgo] (hasta 100 ha)	5 a 10
2	Drenaje rural [mediano riesgo] (más de 100 ha)	10 a 25
3	Drenaje urbano [mediano riesgo] (más de 100 ha)	25 a 50
4	Drenaje vial (mediano riesgo)	25 a 50
5	Aliviadero principal (presas)	25 a 100
6	Drenaje vial (alto riesgo)	50 a 100
7	Diques longitudinales [mediano riesgo]	50 a 100
8	Drenaje urbano [alto riesgo] (más de 1,000 ha)	50 a 100
9	Desarrollo de zona de inundación	100
10	Diseño de puentes (pilares)	100 a 500
11	Diques longitudinales [alto riesgo]	200 a 1000
12	Aliviadero de emergencia (presas)	100 a 10,000 (PMP)
13	Hidrograma de borde libre [para una presa de clase (c)]	10,000 (PMP)

ANEXO 28. Diseño de la red de drenajes.

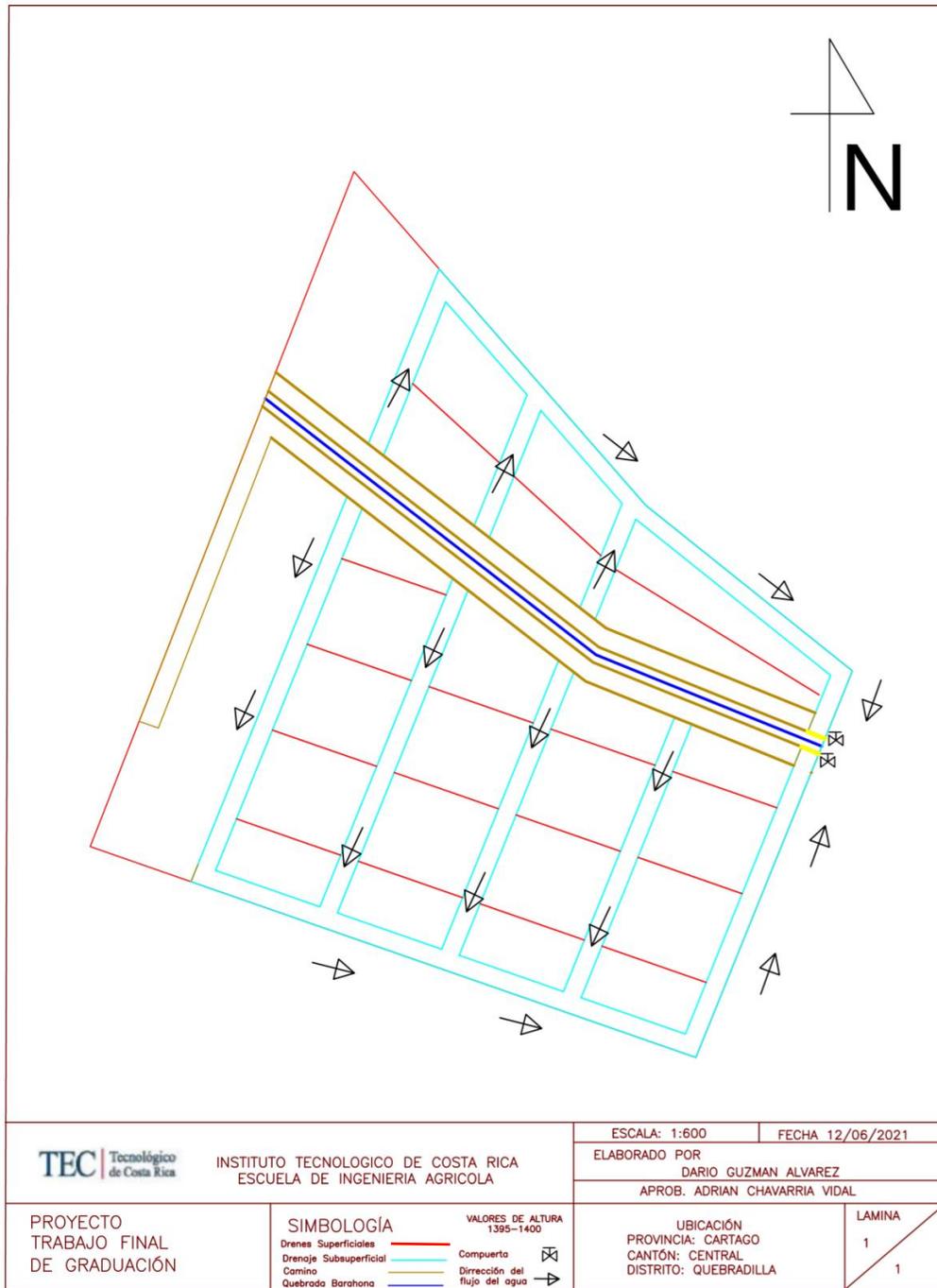


Figura 39. Diseño de la red del sistema de drenajes

Fuente: Propia, Elaborado con AutoCad

ANEXO 28. Dimensionamiento de los drenes superficiales.

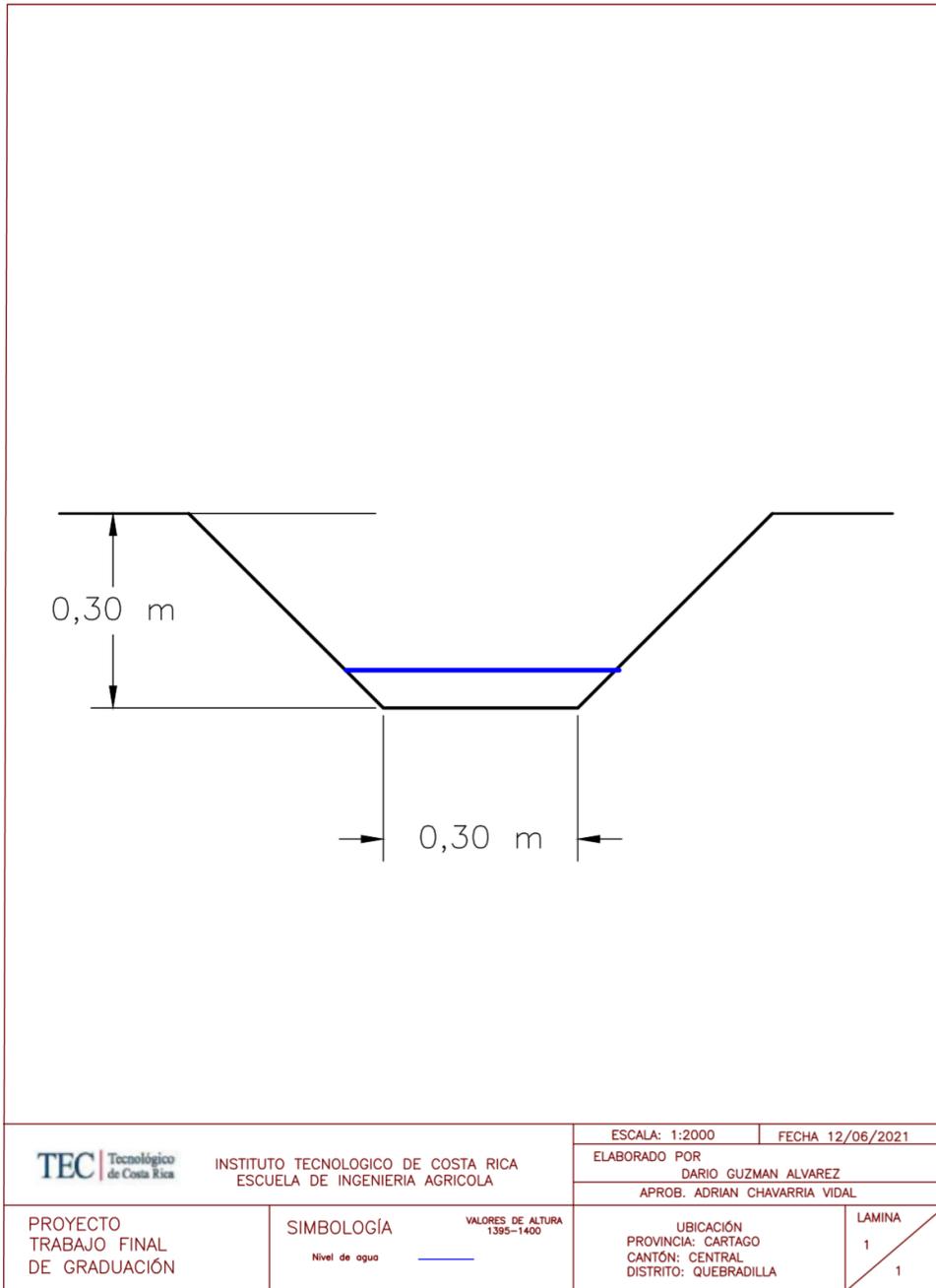


Figura 40. Dimensionamiento del dren superficial

Fuente: Propia, Elaborado con AutoCad