

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



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

REDISEÑO DEL SISTEMA DE EVACUACIÓN DE AGUAS Y MAXIMIZACIÓN DE LA COSECHA DE AGUAS, EN LA EMPRESA PLANTAS Y FLORES ORNAMENTALES C.A.B.H S.A, LLANO GRANDE, CARTAGO.

Esteban Josué Varela Briceño

Cartago, Noviembre 2013.

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



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

REDISEÑO DEL SISTEMA DE EVACUACIÓN DE AGUAS Y MAXIMIZACIÓN DE LA COSECHA DE AGUAS, EN LA EMPRESA PLANTAS Y FLORES ORNAMENTALES C.A.B.H S.A, LLANO GRANDE, CARTAGO.

Esteban Josué Varela Briceño

Cartago, Noviembre 2013.

REDISEÑO DEL SISTEMA DE EVACUACIÓN DE AGUAS Y MAXIMIZACIÓN DE LA
COSECHA DE AGUAS, EN LA EMPRESA PLANTAS Y FLORES ORNAMENTALES
C.A.B.H S.A, LLANO GRANDE, CARTAGO.

Esteban Josué Varela Briceño

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

Ing. Máximo Villón Béjar
Asesor de la Escuela

Ing. Karolina Villagra
Lectora

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
CARTAGO, COSTA RICA
Noviembre, 2013

Dedicatoria

*A Dios, que con su consejo, bendición y voluntad, me ha dado las fuerzas para salir adelante
con este trabajo...*

*A mi madre, Judith, que ha estado a mi lado desde el inicio de este camino, brindándome su
apoyo incondicional sin esperar nada a cambio...*

*A mi padre, Carlos, que ha inculcado en mí esta vocación que me apasiona, por todas sus
enseñanzas y consejos...*

*A ambos, por su apoyo incondicional, por los buenos y malos momentos en que me han
apoyado, por todos los sacrificios hechos para que mis estudios se realizaran...*

*A mi hermano y hermana, que de una u otra manera, han estado a mi lado brindándome su
cariño y ayuda...*

*A ella, que sacrificó su tiempo para que yo pudiera cumplir con el mío, por su paciencia y
compresión...*

A todos ellos, esta dedicatoria...

Agradecimientos

Al profesor Max, por su apoyo y ayuda durante la realización de este trabajo. Al profesor Marvin, que desinteresadamente brindó su ayuda y consejo desde antes de iniciar este trabajo...

A los miembros de la escuela, profesores y administrativos, que con su disposición y orientación, fueron muy importantes durante este recorrido...

A Danny Olivares, que más que un tutor fue un gran amigo, que me ayudó durante toda la pasantía y puso su total interés en la realización de este trabajo...

A Juan Pablo Villalobos y Mainor Chaves, por brindarme la oportunidad de realizar este trabajo en la empresa, por su ayuda incondicional, confianza y orientación durante la pasantía realizada...

A todo el personal de la empresa, que me tendieron su mano, ayudándome en todo lo necesitado durante mi estadía...

A mis amigos, Diego y Leo, que me brindaron su ayuda para realizar este trabajo, sin pedir nada a cambio, sacrificaron su tiempo para tenderme una mano...

A mis compañeros de generación, a todos los que en el camino nos tocó compartir clases, giras, trabajos, por todos los buenos y no tan buenos momentos juntos, por sus consejos...

A todos ellos, gracias...

Índice de Contenidos

RESUMEN	ix
ABSTRACT.....	xi
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Problema de Inundación.....	2
1.2 Problema de Cosecha de Agua.....	4
1.3 Objetivo General	5
1.4 Objetivos Específicos.....	5
2. REVISIÓN DE LITERATURA	6
2.1 Generalidades del Cultivo	7
2.1.1 Enfermedades	7
2.2 Parámetros Hidrológicos	8
2.2.1 Precipitación	8
2.2.2 Tormenta.....	9
2.2.3 Intensidad (IC).....	10
2.2.4 Curvas de Intensidad – Duración – Periodo de Retorno	10
2.2.5 Curvas de Variación Estacional.....	11
2.2.6 Escorrentía Superficial (E)	11
2.3 Drenaje	12
2.3.1 Drenaje Superficial	12
2.4 Infiltración (I).....	13
2.5 Caudales Máximos	14
2.5.1 Tiempo de Concentración (tc)	15
2.5.2 Métodos para la determinación de Caudales Máximos.....	16

2.6. Riego	18
2.7 Estructuras Hidráulicas	19
2.7.1 Reservorios	19
2.7.2 Canales	20
2.7.3 Vertederos de Demasías	25
2.7.4 Compuertas.....	26
2.7.5 Alcantarillas.....	27
2.7.6 Orificio	27
2.7.7 Sedimentador.....	28
2.7.8 Rápida.....	28
2.8 Cosecha de Aguas	29
2.8.1 Captación de aguas de lluvia	29
2.8.2 Ciclo Hidrológico	29
2.8.3 Evaporación.....	30
2.8.4 Evapotranspiración	31
2.8.5 Lluvias	31
2.8.6 Cambio Climático.....	32
2.8.7 Consumo Vegetal	32
2.8.8 Demanda de Agua	33
2.8.9 Área de captación	33
2.8.10 Técnicas de Captación de Agua de Lluvia	34
3. METODOLOGÍA.....	36
3.1 Inspección de la Zona de Estudio.....	37
3.2 Levantamiento topográfico	37

3.3 Suelo.....	37
3.3.1 Determinación de la Textura del Suelo	37
3.3.2 Taxonomía del Suelo.....	39
3.3.3 Determinación de la Infiltración.....	39
3.4 Determinación de Datos Hidrológicos	41
3.5 Análisis de las Inundaciones	45
3.6 Evaluación del sistema actual de drenaje.....	45
3.7 Diseño de Obras Hidráulicas.....	45
3.8 Análisis de la Cosecha de Agua	47
3.9 Costos.....	48
3.10 Análisis Financiero.....	48
4. RESULTADOS Y ANALISIS DE RESULTADOS.....	49
4.1 Datos de la Zona.....	50
4.1.1 Suelo	51
4.2 Datos Hidrológicos.....	51
4.2.1 Precipitación	51
4.2.2 Evapotranspiración	51
4.2.3 Evaporación.....	52
4.2.4 Intensidad Máxima (Imáx)	52
4.2.5 Curvas de Variación Estacional.....	52
4.3 Problemáticas	54
4.3.1 Inundaciones.....	54
4.3.1.1 Canal Guardia.....	56
4.3.1.2 Diseño del Canal Guardia.....	57

4.3.1.3. Canal Evacuación de Excesos del Reservorio del 34.....	61
4.3.1.4. Levantamiento Topográfico	61
4.3.2. Cosecha de Aguas	73
4.3.2.1. Situación Actual	74
4.3.2.2. Determinación del Área de Recolección Necesaria	80
4.3.2.3. Propuestas para la Cosecha de Aguas	81
4.3.2.4. Volúmenes Aprovechados.....	83
4.3.2.5. Canales Actuales	88
4.3.2.6. Mejoras en Abastecimiento del Reservorio del 34.....	89
4.3.2.7 Recolección Aguas invernaderos 18 y 19	89
4.3.2.8. Mejoras en Abastecimiento del Reservorio del 20.....	91
4.3.2.9. Conducción de Aguas de la Zona de Invernaderos 11-15 hasta el Reservorio 20.	91
4.3.2.10. Aguas Recolección Invernaderos 20 y 22 b	94
4.3.2.11. Aguas Caja Invernadero 26 hasta Reservorio 25	96
4.4. Costos de las obras	104
4.5. Análisis Financiero.....	104
4.5.1. Situación actual	106
4.5.2. Flujo de Caja del Proyecto	110
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	112
Conclusiones	113
Recomendaciones.....	114
6. BIBLIOGRAFIA	115
ANEXOS	118

Índice de Cuadros

Cuadro 2.1 Ecuaciones para calcular las intensidades máximas para diferentes zonas de Costa Rica.	11
Cuadro 2.2 Periodo de retorno recomendado para el diseño de ciertas estructuras.....	15
Cuadro 2.3 Velocidades medias de escurrimiento por laderas (m/min)	16
Cuadro 2.4 Valores de coeficientes de Escorrentía.	17
Cuadro 2.5 Tipos de reservorio aplicables en las diferentes zonas de Costa Rica.	19
Cuadro 2.6. Pendiente admisible en función del tipo de suelo.	22
Cuadro 2.7 Taludes recomendados según el material. Talud Z: 1 (Horizontal: Vertical).....	23
Cuadro 2.8 Ancho de solera en función del caudal.	23
Cuadro 2.9. Ecuaciones para determinar la probabilidad experimental.	32
Cuadro 2.10. Coeficientes de escurrimiento (C), para diferentes materiales.....	34
Cuadro 2.11 Sugerencias para la selección del sistema de captación de aguas, según la FAO (2013).....	35
Cuadro 3.1 Datos de prueba de infiltración	40
Cuadro 3.2 Descomposición de precipitaciones diarias en diferentes intervalos.	41
Cuadro 3.3 Intensidades máximas para diferentes duraciones.	42
Cuadro 3.4 Valores requeridos para realizar la regresión lineal múltiple	43
Cuadro 3.5. Probabilidades de ocurrencia de una determinada precipitación según el mes. ...	44
Cuadro 4.1. Evapotranspiración mensual en mm, para la zona de estudio.....	51
Cuadro 4.2. Precipitaciones Mensuales, en mm.	52
Cuadro 4.3. Precipitación en mm, para una determinada probabilidad de ocurrencia.	53
Cuadro 4.4 Detalle del área afectada por la inundación.	54
Cuadro 4.5. Afectación de labores y rendimientos, debido a la inundación.....	55
Cuadro 4.6. Resumen valores obtenidos para el diseño de canal guardia para sus 2 tramos. .	58
Cuadro 4.7. Parámetros hidráulicos y dimensiones de los tramos del canal guardia.	59
Cuadro 4.8. Capacidades máximas por tramos del canal de evacuación del reservorio del 34.67	
Cuadro 4.9 Acciones tomadas por tramos del canal.	70
Cuadro 4.10. Capacidades del canal, según el tramo requerido.	70

Cuadro 4.11. Afectación de labores y rendimientos, debido a la falta de agua disponible	73
Cuadro 4.12. Áreas de recolección, por cada reservorio de la finca.....	78
Cuadro 4.13. Distribución de las áreas irrigadas según el reservorio utilizado.....	78
Cuadro 4.14. Necesidades de riego, para la semana del 23 de febrero al 1 de marzo del 2013.	80
Cuadro 4.15. Fuentes de abastecimiento hídrico para la semana del 23 al 1 de marzo del 2013.	80
Cuadro 4.16 Áreas requeridas de captación de aguas de lluvia, según la probabilidad de ocurrencia de las precipitaciones.	81
Cuadro 4.17 Volúmenes recolectados de agua (m ³ /mes) según la probabilidad de ocurrencia mensual de un evento, para datos de precipitación de 1994 al 2009, para 79.587 m ² de recolección.	84
Cuadro 4.18 Posibles volúmenes acumulados (m ³ /mes) para un 96% de recolección del área total.	85
Cuadro 4.19. Evaporación mensual por reservorio, según su área.	85
Cuadro 4.20 Volúmenes acumulados anualmente, para diferentes probabilidades de ocurrencia de las precipitaciones.	86
Cuadro 4.21. Consumo mensual promedio (m ³ /mes).	87
Cuadro 4.22. Materiales de canales presentes en la finca.....	88
Cuadro 4.23 Resumen de valores obtenidos para los canales, utilizando Hcanales.....	90
Cuadro 4.24 Dimensiones para revestimiento de concreto de concreto, recolección aguas invernaderos 18 y 19.....	90
Cuadro 4.25 Resumen de Costos de las obras por realizar	104
Cuadro 4.26 Afectación de labores y rendimientos, debido a la inundación.....	105
Cuadro 4.27. Afectación de labores y rendimientos, debido a la falta de agua.	105
Cuadro 4.28 Afectación en el costo por hora de la siembra y la cosecha, debido a las inundaciones.	107
Cuadro 4.29 Costo bombeo para la evacuación de excesos del Reservorio del 34.	108
Cuadro 4.30 Rubros de actividades afectadas debido a la inundación	109
Cuadro 4.31 Resumen flujo de caja.	111

Índice de Figuras

Figura 2.1. Dimensiones de los canales.....	21
Figura 2.2. Ciclo hidrológico. (Chow, Maidment, & Mays, 1994).	30
Figura 3.1 Triangulo textural de la USDA.	39
Figura 4.1. Mapa Finca Llano Grande, P&F.	50
Figura 4.2. Curvas de Variación estacional de las precipitaciones.....	53
Figura 4.3. Área de influencia y afectación de la inundación.....	56
Figura 4.4. Ubicación canal guardia.	58
Figura 4.5. Perfil del canal guardia, rasante inferior del canal y perfil del terreno.	60
Figura 4.6. a) Sección tramo 1 canal guardia; b) sección tramo 2.....	60
Figura 4.7. Perfil longitudinal del canal de evacuación de excesos actual del reservorio del 34.	61
Figura 4.8. Rasantes superior e inferior del canal de evacuación de excesos del reservorio del 34.	62
Figura 4.9. Posibles Pendientes para el canal de evacuación de excesos.	63
Figura 4.10. Cotas cercanas al reservorio del 34.	64
Figura 4.11. Vertederos rectangulares de demasías con compuertas.	65
Figura 4.12. Ubicación de los puntos 160, 183 y 266.	69
Figura 4.13. Ubicación de los puntos 266, 282 y 311.	69
Figura 4.14. Longitudes a lo largo del canal.....	71
Figura 4.15. Aguas aprovechadas y no recolectadas de los invernaderos.	74
Figura 4.16. Distribución de aguas hacia el reservorio del 34, en verde oscuro.	75
Figura 4.17. a) Distribución de aguas hacia el reservorio del 20, en verde claro. b) Distribución de aguas hacia el reservorio del 25, en celeste.	76
Figura 4.18. Aguas no aprovechadas para su recolección, en rojo.	77
Figura 4.19. Potencial Recolectado versus Potencial No Recolectado.....	77
Figura 4.20. Porcentajes de las Áreas irrigadas por reservorio.	79
Figura 4.21. Nueva distribución de las aguas recolectadas	82
Figura 4.22 Potencial recolectado versus potencial no recolectado.	83

Figura 4.23 Precipitación mensual para el periodo 2008-2012.	87
Figura 4.24. Conducción de aguas de los invernaderos 11-15 hasta reservorio del 20.	92
Figura 4.25. Dimensiones del canal para el tramo 1.....	93
Figura 4.26. Aprovechamiento de las aguas del invernadero 20.	94
Figura 4.27 Detalle base de concreto para tubería recolección aguas invernadero 20.	96
Figura 4.28. Diagrama de colecta de aguas hacia el reservorio del 25.	97
Figura 4.29. Representación de canal.	100
Figura 4.30 Canal posterior invernadero 25.	102
Figura 4.31. Afectación inundación en cultivo.....	109

RESUMEN

Este proyecto fue desarrollado en la empresa Plantas y Flores Ornamentales C.A.B.H S.A, ubicada en Llano Grande de Cartago; la cual se especializa en el cultivo y comercialización de flores. Se estudiaron, dos diferentes problemáticas, una relacionada con riesgos de inundación y la otra, problemas relacionados con la cosecha de aguas.

Inicialmente, el problema de inundaciones, radica en el aporte de aguas de terrenos aledaños a la finca y al sistema de evacuación de excesos del reservorio del 34. Este problema, genera inundaciones en 6.644 m² de terreno. Además, del terreno aledaño, se tiene la hipótesis de que estas aguas ingresan contaminadas con hongos y nemátodos al reservorio y luego se esparcen por medio del sistema de riego al cultivo. Mediante un estudio hidrológico y un estudio topográfico del canal de evacuación de excesos, se expresa que este canal no posee las condiciones requeridas para evacuar los excesos de aguas y mediante un rediseño adecuado de ciertos sectores del canal se obtuvo una correcta evacuación de los excesos de aguas. También, con el bloqueo de las aguas provenientes del terreno aledaño, con un canal guardia, se soluciona dicho problema.

Por otra parte, en la cosecha de aguas, la lluvia se recolecta en reservorios para su posterior uso en la irrigación. El problema radica en que, un 40% del área total de recolección se desperdicia, debido a que no está dirigido hacia un reservorio. Esta situación, repercute, en la no disponibilidad de aguas para la irrigación y fumigación de los cultivos. Con esto, se determinó, las áreas aprovechadas y las no recolectadas, del total disponible. Además, de un estudio de probabilidad de las precipitaciones, esto para conocer la disponibilidad hídrica mensual. Así, se maximizó la recolección de aguas de lluvia, mediante el diseño de obras, las cuales mejoran el área de recolección por reservorio y dan un 96% del área de cultivo de recolección de aguas de lluvia.

Palabras Clave: Inundación, canal guardia, intensidad máxima, escorrentía, caudales máximos. Cosecha de aguas, potencial de recolección, precipitaciones, probabilidad, estructuras hidráulicas.

ABSTRACT

This project was developed in the company Plantas y Flores Ornamentales C.A.B.H. S.A., located in Llano Grande, Cartago, which specialized in growing and marketing of flowers. There were studied two different problems, one of them, risk of flooding and the second related to a water harvesting.

First, the flooding problem lies in water supply from lands near the farm and the evacuation system excesses of reservoir 34. This problem, affects 6,644 m² of land. In addition, in the surrounding areas, there is a hypothesis that contaminated water with fungi and nematodes is entering the reservoir and spreading through the irrigation system to the crop. A hydrological and a topographic study was performed to understand the excess discharge in the channel. It was evidenced that the channel does not have the qualifications required for the evacuation of the excess of discharge and an adequate redesign of some channel sections were necessary to obtain a proper excess evacuation from the reservoir. In addition, with blocking water from near lands, with a guard channel, this problem is solved.

Moreover, in water harvesting, rain is collected in reservoirs for later use in irrigation. The problem is that 40% of the total collection area is wasted because it is not directed to a reservoir. This situation has repercussions on the unavailability of water for irrigation and spraying crops. With this, it was determined, harvested areas and not collected, of the total available. In addition, a study of probability of precipitation, for monthly water availability. So, water harvesting was maximized, through the design of works, which improve the collection area for reservoir and give 96% of the crop area rainwater collection.

Keywords: Flood, guard channel, maximum intensity, runoff, maximum flows. Water harvesting, harvesting potential, precipitation, probability, hydraulic structures.

1. INTRODUCCIÓN

La empresa Plantas y Flores Ornamentales C.A.B.H. (P&F), se desempeña en el cultivo, proceso y comercialización de flores y follajes. El desarrollo de estas flores y follajes se lleva a cabo en ambientes protegidos, invernaderos, esto en distintas localidades como Llano Grande de Cartago, Guápiles y Heredia, en Costa Rica. La problemática que se mencionará tiene lugar en la comunidad de Llano Grande de Cartago, para ser más preciso en la zona central de la empresa. En la finca de Llano Grande zona central P&F, se lleva a cabo el cultivo de lirios, en sus variedades oriental y asiático y cultivos menores de flores como Alstroemeria, Fresia, Agapantos, Gerberas, Áster entre otras flores.

Así, las problemáticas que se van a desarrollar en este trabajo, se enuncian a continuación:

1.1 Problema de Inundación

Las inundaciones que se generan en cierta parte de la finca, ocurren en la época lluviosa debido a que el reservorio ubicado cerca del invernadero 34, para fines prácticos se le llamará reservorio 34, sobrepasa su capacidad y genera inundación en tres invernaderos, lo cual afecta un área de 6.644 m² destinados al cultivo de lirios, en sus variedades oriental y asiático. Existen dos razones, que generan dicha inundación, la primera radica en la entrada a la finca de aguas provenientes de terrenos cercanos, ubicados al norte de la empresa. En estos terrenos, se tiene el desarrollo de actividades ganaderas y pastos. Además, existe una parte del terreno en el cual se cultivan productos tradicionales de la zona de Llano Grande de Cartago, como lo son cebolla, zanahoria, repollo, papa, etcétera. De esta manera, el aporte para que se rebalse el reservorio del 34, se da con lo que ingresa proveniente de estos terrenos, 6,08 hectáreas más lo que se recolecta proveniente de la cosecha de aguas de 16 invernaderos y zona verde, lo que equivale a 5,6242 hectáreas de recolección de aguas, la cual se conduce hasta el reservorio del 34.

Este reservorio, posee un canal el cual como función principal tiene evacuar los excesos de aguas que se generen en este reservorio, llevarlas por el lindero de la finca, recolectar aguas de otros invernaderos y dirigirlos a un punto de descarga en el cual las aguas salen de la finca. Como contraparte de este canal, se tiene que en el momento de su construcción, no se realizó un estudio pertinente para determinar su ubicación, y características hidráulicas requeridas. De este modo, dicho canal no cumple su función de evacuar los excesos de agua del reservorio del

34. En vez de generar una evacuación, propicia un aporte de aguas que son dirigidas a este canal provenientes de otros invernaderos más adelante en su trayecto, lo que agrava la situación e incrementa el aporte de aguas hacia este reservorio. De este modo, se dan inundaciones en los invernaderos 33, 34 y 41, los cuales están ubicados alrededor de dicho reservorio.

Otro punto importante por considerar, que conlleva el problema de los ingresos de aguas provenientes de otros terrenos hasta este reservorio, son los posibles agentes biológicos que pueden estar presentes en estas aguas, como lo son hongos y nemátodos principalmente, los cuales provienen de estos terrenos cercanos y llegan hasta este reservorio. Todos los reservorios presentes en la finca son utilizados para irrigar los cultivos dentro de los invernaderos y para abastecer el agua para la fumigación.

El problema radica, en que si las aguas entrantes tienen estos agentes biológicos, ellos ingresan al suelo mediante el sistema de riego a presión, con microaspersión y goteo abastecidos de los distintos reservorios. Esta situación afecta, en que una de las labores antes de realizar la siembra de los bulbos en los invernaderos es la desinfección del suelo, mediante un producto químico, que posee un costo elevado para la empresa y es requerido para mantener un desarrollo óptimo del cultivo, controlar poblaciones de hongos y nemátodos y mantener rendimientos de cosecha aceptables. Esto justifica el bloqueo de estas aguas provenientes de otros terrenos, ya que si la hipótesis es correcta, se está desinfectando el suelo inicialmente, eliminando estos agentes y luego se vuelven a introducir al sistema por medio del riego, debido al origen de parte de las aguas que abastecen el reservorio y de no ser acertada, se tendría un medio de comunicación de las aguas de otras fincas con las aguas utilizadas para el riego, lo cual deja expectante la posibilidad en cierto momento de hongos, bacterias y nemátodos, ingresen al reservorio.

Este problema se intensifica, complementado con el problema de cosecha de aguas, en que este reservorio 34, por tener una capacidad mayor y un abastecimiento generado por la cosecha de aguas que se da por parte de los invernaderos que lo abastecen; de este reservorio se bombea agua en ciertas ocasiones, hacia el reservorio del 20, el cual posee una pobre alimentación debida a la cosecha de agua y que implica dos cosas, la primera un gasto energético en bombear agua desde un reservorio al otro y que además, al igual que en el reservorio anterior,

al irrigar con aguas con posibles agentes biológicos, los cuales se combaten con la desinfección del suelo previa a la siembra, se implementarían al suelo y esto sería otra fuente de ingreso de enfermedades y nemátodos a mayor área de la finca, mediante el riego.

Además de lo mencionado anteriormente, los problemas de inundaciones generan afectación en las actividades que se realizan diariamente, desde la mecanización de los suelos, la siembra, las labores del cultivo, la fumigación hasta la cosecha y labores previas a la siguiente siembra. Las actividades culturales se ven afectadas debido a que algunas, como el caso de la siembra y labores del cultivo, los rendimientos disminuyen o en un peor caso implica que no se pueda ingresar en un determinado momento al invernadero a realizar la labor, la cual se debe postergar, trayendo consecuencias importantes en la parte de riego, fumigación, labores del cultivo y cosecha. Todas las actividades se ven afectadas, debido a los excesos de agua en el suelo, generados por la inundación.

1.2 Problema de Cosecha de Agua

En esta zona de Llano Grande, el problema de la falta de agua en la estación seca, es grave ya que las precipitaciones en diciembre y en los primeros meses del año son muy reducidas lo que genera una escasez de agua, no solamente de la recolectada por los invernaderos que están conectados a un determinado reservorio para abastecerlo, si no también que se agotan las fuentes como lo son ríos y nacientes cercanas, con lo cual el abastecimiento para el riego y fumigación se vuelve muy limitado. Por lo tanto, la empresa desea contar con la mayor recolección de aguas de lluvia posible, aprovechando las aguas recolectadas mediante los invernaderos, lo cual es una fuente para abastecer a los reservorios presentes en la finca y prolongar el agua disponible en los reservorios durante la estación seca y aprovechar cualquier lluvia que se dé en esta época del año.

Principalmente con el abastecimiento, se tiene el problema del reservorio ubicado cerca del invernadero 20, el cual para fines prácticos lo llamaremos reservorio del 20, el cual posee una fuente de abastecimiento pobre, la cual está dada por la recolección de aguas de lluvia de pocos invernaderos con un área pequeña, a diferencia de los restantes reservorios (34 y 25) a los

cuales las áreas que se recolectan son mayores y que además, como es el caso del reservorio del 25, posee una fuente extra de abastecimiento como lo es una captación de aguas provenientes de ríos cercanos a la finca. Actualmente, se ha aplicado, cambiar esta captación de aguas y en vez de ser dirigidas al reservorio del 25, se ha dirigido al reservorio del 20, esto para mejorar un poco su abastecimiento.

Este problema del déficit hídrico, que afecta la recolección de aguas, ha influido en labores como el riego, fertirriego y la fumigación. Además la falta de agua, ha generado problemas en el desarrollo del cultivos, viéndose reflejado al momento de la cosecha, ya que la calidad de los tallos disminuye, se afectan los rendimientos de la cosecha debido a que se tienen que arrancar tallos en vez de cortarlos para aprovechar su largo, la lámina de riego se disminuye, se afecta el fertirriego y estos se postergan varios días. Además, la fumigación y otras labores, también se ven afectadas.

1.3 Objetivo General

- Evaluar y mejorar el sistema de evacuación de aguas y optimizar la cosecha de agua de lluvia de los reservorios para su abastecimiento.

1.4 Objetivos Específicos

- Evaluar y rediseñar el sistema de evacuación de aguas del reservorio 34 para evitar las inundaciones de los invernaderos 33, 34 y 41.
- Desviar la entrada de aguas provenientes de fincas aledañas, que influyen en las inundaciones y desarrollo de los cultivos.
- Maximizar el sistema de cosecha de aguas para el abastecimiento de los reservorios presentes en la finca.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Generalidades del Cultivo

Cultivo: Lirio (*Lilium* spp)

Familia: Liliaceae

Híbridos: Asiáticos, Orientales y longiflorum

Riego: agua suministrada de manera uniforme. Falta de riego se refleja en reducción de la longitud del tallo, crecimiento retardado. Riegos excesivos aumentan la posibilidad de aparición de *Pythium* y *Botritis*. Es recomendable distribuir el agua a aplicar en varias aplicaciones, para mantener menos húmedo el suelo y la humedad relativa, para reducir el riesgo de aparición de estos hongos. (IBC, s.f)¹.

Suelo: suelo bien aireado profundo, de preferencia franco. La mecanización de este debe darse entre los 35 a 45 cm de profundidad, para poder garantizar un desarrollo óptimo radicular. Es muy importante considerar el pH, oxigenación, materia orgánica, conductividad eléctrica y fertilidad.

2.1.1 Enfermedades

Botritis

Los síntomas de daño de *Botritis* pueden aparecer en las hojas con manchas de color marrón oscuro - gris. Bajo condiciones de humedad alta, las motas pueden expandirse rápidamente. Bajo las condiciones óptimas, el hongo se extiende muy rápidamente. Este hongo puede infestar tallo y botón de la planta. (IBC, s.f)

Fusarium

Según IBC (s.f.), este hongo infecta las partes subterráneas de las plantas como el bulbo, el tallo o las raíces debido a los daños causados por otros patógenos. La infestación se extiende en condiciones como altas temperaturas del suelo, suelos excesivamente húmedos y la excesiva fertilización contribuyen a la propagación de este hongo.

¹ IBC es el Internacional Flower Bulb, institución holandesa que difunde información general a cerca de los diferentes tipos de flores producidas en ese país.

Phytophthora

Conocida como la pudrición del pie o la pudrición del tallo. Un suelo excesivamente húmedo o una combinación de mojado de cultivos y altas temperaturas (superiores a 20 °C), fomentan el desarrollo de esta enfermedad. (IBC, s.f)

Pythium

Genera una forma de pudrición de la raíz. El desarrollo de este hongo se ve beneficiado por las no condiciones óptimas de cultivo, por ejemplo una estructura del suelo pobre, excesivamente alta la conductividad eléctrica, o suelos muy húmedos. (IBC, s.f)

Rhizoctonia

Se transfiere a las plantas por medio del suelo y se desarrolla más rápidamente en condiciones de humedad y a temperaturas por encima de 15 °C. Este hongo también se encuentra en muchos otros cultivos, por esta razón, muchos suelos previamente cultivados pueden contener este hongo. (IBC, s.f)

Sclerotium

Esta enfermedad, también conocido como podredumbre de la corona, es causa por *Sclerotium rolfsii* var. *Delphinii*, un hongo que puede desarrollar rápidamente, sobre todo en temperaturas del suelo a mayores 18 ° C. (IBC, s.f)

Nemátodos

Según Fernández y Quesada (2009), el cultivo del lirio se ve influenciado por los siguientes nemátodos:

Helicotylenchus spp.; *Meloidogyne* spp. y *Pratylenchus* spp.

2.2 Parámetros Hidrológicos

2.2.1 Precipitación

Para Chow, Maidment & Mays (1994), *la precipitación incluye la lluvia, la nieve y otros procesos mediante los cuales el agua cae a la superficie terrestre, tales como granizo y nevisca.*

Los tres mecanismos principales para la elevación de masas de aire son la elevación frontal, donde el aire caliente es elevado sobre aire frío por un pasaje frontal; la elevación orográfica, mediante la cual una masa de aire se eleva para pasar por encima de una cadena montañosa; y la elevación convectiva, donde el aire se arrastra hacia arriba por una acción convectiva, como ocurre en el centro de una celda de una tormenta eléctrica. (Chow, Maidment, & Mays, 1994).

2.2.1.1 Medición de la Precipitación

La precipitación se mide en términos de altura de lámina de agua y se expresa comúnmente en milímetros. Esta altura de lámina de agua indicaría la altura del agua que se acumularía en una superficie horizontal (Villón, 2004).

Los aparatos utilizados en la medición se basan en la exposición a la intemperie de cilindros abiertos en su parte superior, en el cual se recoge el agua producto de una precipitación y se registra su altura, entre estos se puede mencionar los pluviómetros y pluviógrafos. (Villón, 2004)

2.2.2 Tormenta

Es el conjunto de lluvias que obedecen a una misma perturbación meteorológica y de características bien definidas. Es de vital importancia su análisis ya que está muy relacionado con el diseño de obras hidráulicas, como lo son: estudios de drenaje, determinación de caudales máximos, cálculo de la luz de un puente, conservación de suelos y cálculo de los diámetros de las alcantarillas (Villón, 2004).

Algunos elementos importantes a considerar en el análisis de tormentas, son:

Duración: es el tiempo que transcurre entre el comienzo y el final de una tormenta.

Frecuencia: es el número de veces que se repite una tormenta, de ciertas características, intensidad y duraciones definidas en un periodo relativamente largo, basado en la probabilidad estadística (Villón, 2004).

Periodo de Retorno: intervalo de tiempo promedio, dentro del cual un evento de una cierta magnitud puede ser igualado o excedido, por lo menos una vez en promedio. Representa el inverso de la frecuencia.

2.2.3 Intensidad (IC)

Es la cantidad de agua caída por unidad de tiempo. Es lo que interesa particularmente de cada tormenta, la intensidad con que haya caída. La intensidad se define como la precipitación (mm) entre un tiempo (horas), con esto sus unidades son mm/h. (Villón, 2004).

La estimación de la intensidad de una precipitación, se puede determinar mediante métodos gráficos o formulas, con las cuales se obtiene dicha expresión y valor de la intensidad.

2.2.3.1 Métodos empíricos

En las ecuaciones, se puede mencionar la ecuación de Talbot, la cual relaciona la intensidad máxima de una precipitación con la duración y para un periodo de retorno dado. Esta intensidad posee unidades de mm/h, la cual depende de parámetros establecidos según el lugar y el periodo de retorno. También está, la formula empírica utilizada en Alemania y Perú, determinada por el método de Grobe, conocido como Dick y Peschke, que relaciona la intensidad máxima, con la duración y el periodo de retorno y se encuentra expresada en mm/h. Para determinar los parámetros de esta ecuación de intensidad máxima, se debe de realizar una correlación potencial múltiple (Villón, 2012).

2.2.3.2 Métodos Gráficos

Se ha ideado una manera gráfica para determinar la intensidad máxima de una zona, ya que necesita de mucha información y es un proceso muy laborioso. Por esto, Ellio Coen París, citado por Villalobos (2005) del Servicio Meteorológico Nacional de Costa Rica, ha procesado información de intensidades de precipitación.

2.2.4 Curvas de Intensidad – Duración – Periodo de Retorno

Vahrson Wilhelm y Alfaro Marvin, citados por Villón (2004), desarrollaron una investigación sobre las intensidades máximas de los principales centros urbanos de Costa Rica, en las cuales están: San José, Cartago, Puntarenas, Limón, Liberia y Alajuela. Con esta

investigación generaron curvas de intensidad, duración y periodo de retorno para diferentes duraciones y periodos de retorno, utilizando la distribución Gumbel.

Con esto, obtuvieron las ecuaciones para cada una de las ciudades, estas ecuaciones se muestran en el cuadro 2.1.

Cuadro 2.1 Ecuaciones para calcular las intensidades máximas para diferentes 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	$I_{\max} = 175,645 - 29,5811 \times \ln(D) + [43,0524 - 5,32126 \times \ln(D)] \times \ln(T)$

Fuente: (Villón, 2006)

2.2.5 Curvas de Variación Estacional

De acuerdo con Villón (2004), estas curvas brindan: información sobre la distribución de los valores hidrológicos, respecto al tiempo la probabilidad de que dichos eventos sean igualados o excedidos.

2.2.6 Escorrentía Superficial (E)

Según Villón (2006), la escorrentía la define como “*el exceso de agua superficial que se debe remover en el tiempo de drenaje, con el fin de evitar los problemas de drenaje*”.

Para la determinación de esta escorrentía, se pueden mencionar, el método directo, el cual consiste en medir la escorrentía en una parcela. El método del balance hídrico, el cual contempla la escorrentía, precipitación, evapotranspiración: método del número de curva del servicio de conservación de suelos (SCS) el cual contempla las precipitaciones, condición hidrológica de este o la capacidad de transmitir la escorrentía, grupo hidrológico, el cual se obtiene según el potencial del suelo para producir escorrentía, el uso y tratamiento que se le dé.

2.3 Drenaje

Según Villón, (2006) el drenaje se define como: *“la remoción o descarga de los excesos de aguas.”* Además, afirma que el drenaje agrícola *“consiste en un conjunto de técnicas que permiten eliminar cualquier exceso de agua y/o sales que se presente sobre la superficie del suelo, o en la zona radicular de los cultivos, con el fin de proporcionar un medio adecuado para su normal desarrollo, y mantener el suelo en condiciones favorables”*.

2.3.1 Drenaje Superficial

Según Villón (2006), el drenaje superficial se define como: *la remoción de excesos de agua que se acumulan en la superficie del terreno a causa de lluvias muy intensas y frecuentes; topografía plana e irregular y suelos poco permeables.*

Algunas de las causas para que se den problemas de drenaje, se muestran a continuación:

- *Precipitaciones*

Afecta principalmente en zonas húmedas, en las cuales la precipitación excede a la evaporación, se dan periodos en los cuales el suelo pasa con exceso de humedad y al volver las precipitaciones, con el suelo saturado, este no puede absorber las aguas, aumentando el escurrimiento y acumulándose el agua en puntos bajos de los terrenos. (Villón, 2006)

- *Inundaciones*

Se dan a consecuencia de altas precipitaciones y de limitantes edáficas y topográficas. Este fenómeno se da principalmente por las siguientes causas.

Poca capacidad de cauces, debido a limitantes en la pendiente, obstáculos y la sedimentación.

- Precipitaciones de magnitud totalmente anormal.
- Obstrucción de los drenajes naturales.

- *Limitaciones edáficas y topográficas*

Se dan en los suelos y la topografía del mismo. Además las características físicas de los suelos como la textura y la estructura, están ligados con este problema. Algunos factores que influyen en el drenaje, dadas limitaciones edáficas y topográficas, son:

- Suelos con texturas finas que limitan capacidad de infiltración y permeabilidad.
- Topografías muy planas que limitan el movimiento del agua.
- Micro relieve con pequeñas a medianas depresiones.
- Terrenos con posición baja, se ven afectadas por aguas de escorrentía de terrenos con cotas mayores.
- Depositiones de limos sobre el terreno, lo cual provoca una impermeabilidad de la superficie.
- Suelos con niveles freáticos elevados.

2.4 Infiltración (I)

Según Villalobos (2008), la infiltración es *la penetración del agua en el perfil del suelo, cuando se cubre la superficie del suelo con una delgada lámina de agua*. La cantidad de agua que absorbe el suelo, inicialmente es rápida pero con el paso del tiempo esta infiltración de agua se vuelve menor.

Las variaciones de la infiltración se deben a los siguientes factores:

- Características físicas del perfil del suelo.
- Nivel de humedad que tenga el suelo.
- Método de riego utilizado.
- Temperatura del suelo
- Aire atrapado en el suelo.

Debido a estas razones, no se puede generalizar una infiltración en función del tipo de suelo que se posea. Existen diferentes maneras de expresar la infiltración de agua en el suelo, dentro de las cuales están:

Infiltración Instantánea (Ii)

Es la velocidad de infiltración expresada en mm/h ó cm/h, con la cual el suelo absorbe agua en un intervalo dado, la cual decrece hasta llegar a un punto en la cual es aproximadamente constante. (Villalobos, 2008).

Infiltración acumulada (Icum)

Es la lámina acumulada con el paso del tiempo.

Infiltración Media (Ip)

Según Villalobos (2008), es conocida como la infiltración promedio, es la velocidad de infiltración correspondiente a un tiempo acumulado, la cual decrece con el tiempo.

Infiltración Básica (Ib)

Este tipo de infiltración instantánea, se denota cuando se vuelve constante y un parámetro para aseverar esto es cuando el decremento de la infiltración es de un 10% en una hora. (Villalobos, 2008)

Para la determinación de la infiltración, se han desarrollado ecuaciones empíricas según pruebas llevadas a cabo en campo. Dentro de las ecuaciones más comunes son las propuestas por Kostiaikov y Horton. (Villalobos, 2008).

2.5 Caudales Máximos

Villón (2006), denota la importancia de los caudales máximos para el diseño de:

- Dimensiones de un cauce
- Sistemas de drenaje, agrícola, aeropuertos, ciudad, carretera
- Muros de encauzamiento para proteger ciudades y plantaciones
- Alcantarillas
- Vertederos de demasías
- Luz de los puentes

Esta magnitud de los caudales máximos, está en función del periodo de retorno que se le asigne a la estructura a diseñar, esto depende del tipo de obra y la importancia que posea.

Para el diseño de estructuras, considerando los caudales máximos, se emplean distintos periodos de retorno, los cuales se denotan a continuación.

Cuadro 2.2 Periodo de retorno recomendado para el diseño de ciertas estructuras.

Estructura	Periodo de Retorno (T) años
Puente sobre carretera importante	50 a 100
Puente sobre carretera menos importante o alcantarillas sobre carretera importante	25
Alcantarillas sobre puente secundario	5 a 10
Drenaje lateral de los pavimentos, donde puede tolerarse encharcamiento con lluvia de corta duración	1 a 2
Drenaje de aeropuertos	5
Drenaje urbano	2 a 10
Drenaje agrícola	5 a 10
Muros encauzamiento	2 a 50•

Fuente: (Villón, 2006). • Puede aumentar si estas obras protegen poblados de importancia.

2.5.1 Tiempo de Concentración (tc)

De acuerdo con Villón (2004), el tiempo de concentración *es el tiempo transcurrido desde que una gota de agua cae, en el punto más alejado de la cuenca, hasta que llega a la salida de esta (estación de aforo). Está en función de las características geográficas y topográficas de la cuenca.*

Este tiempo de concentración, debe de incluir los escurrimientos generados en los terrenos, canales, cunetas, y recorridos sobre la estructura que se diseña.

El tiempo de concentración, se ve afectado por diversos factores como lo son: dimensiones, pendientes, vegetación entre otras, las cuales son características de la cuenca en estudio. (Villón, 2004).

2.5.1.1 Métodos para determinar el tiempo de concentración.

- Medida directa usando los trazadores radioactivos, los cuales se ponen en el punto más alejado de la cuenca y se mide el tiempo que tarda en llegar al punto requerido.
- Usando las características hidráulicas de la cuenca, este método pretende determinar la velocidad del flujo en un tramo de longitud conocida, esto para obtener el tiempo en el tramo buscado.

- Estimando velocidades, esto en base a velocidades de escurrimiento y en una determinada longitud, así se tiene el tiempo de concentración.

Cuadro 2.3 Velocidades medias de escurrimiento por laderas (m/min)

Pendiente (%)	Vegetación densa o cultivos	Pastos o vegetación ligera	Sin Vegetación
0 – 5	25	40	70
5 – 10	50	70	120
10 – 15	60	90	150
15 – 20	70	110	180

Fuente: (Villón, 2004)

- Utilizando fórmulas empíricas, como las ecuaciones de Kirpich, fórmula Australiana, fórmula de George Rivero, fórmula del SCS.

2.5.2 Métodos para la determinación de Caudales Máximos

2.5.2.1 Método Directo

Es el método también denominado *Sección y Pendiente*, para el cual determinar el caudal máximo se realiza después del paso de una avenida. Este método contempla la selección del tramo representativo de un río, el conocimiento de las secciones transversales del río, la pendiente, el coeficiente de rugosidad y la determinación de este caudal por medio de la ecuación de Manning.

2.5.2.2 Métodos Empíricos

2.5.2.2.1 Método Racional

Este es uno de los métodos más antiguos, su uso radica en más de 100 años de antigüedad, el cual se ha generalizado por todo el mundo. Este método, puede ser aplicado a pequeñas cuencas de uso agrícola, cuencas menores de 13 km² (Villón, 2006).

En este método supone que la máxima escorrentía ocasionada por la lluvia se produce cuando la duración de la precipitación es igual al tiempo de concentración. Si se da esta

situación, se afirma que toda la cuenca aporta en el caudal en el punto de salida. De tenerse duraciones mayores al tiempo de concentración, toda la cuenca aportará pero la intensidad será menor con lo cual el caudal también.

Si la duración de la precipitación es menor al tiempo de concentración, la intensidad será mayor, pero el caudal será menor también, ya que habrá partes de la cuenca que al terminar la lluvia, su aporte no llegará en ese menor tiempo al punto de salida (Villón, 2006).

Este método, implica el uso de factores como la intensidad máxima (mm/h), el área de la cuenca (ha) y el coeficiente de escorrentía (C). Además de una constante esto para obtener la ecuación en el sistema métrico internacional (SI).

Algunos de los valores del coeficiente de escorrentía, se muestran en el cuadro 2.4.

Cuadro 2.4 Valores de coeficientes de Escorrentía.

Tipo de Vegetación	Pendiente (%)	Textura		
		Franco Arenosa	Franco arcillolimoso franco limosa	Arcillosa
Forestal	0 - 5	0,10	0,30	0,40
	5 - 10	0,25	0,35	0,50
	10 - 30	0,30	0,50	0,60
Praderas	0 - 5	0,10	0,30	0,40
	5 - 10	0,15	0,35	0,55
	10 - 30	0,20	0,40	0,60
Terrenos Cultivados	0 - 5	0,30	0,50	0,60
	5 - 10	0,40	0,60	0,70
	10 - 30	0,50	0,70	0,80

Fuente: (Villón, 2006)

De esta manera, se tiene la ecuación del método racional, la cual se denota a continuación.

$$Q = \frac{CIA}{360} \dots \dots \dots (1)$$

Donde:

Q = caudal máximo, en m³/s

C = coeficiente de escorrentía, depende de la cobertura vegetal, pendiente y tipo de suelo, adimensional.

I = intensidad máxima de lluvia, para una duración igual al tiempo de concentración y para un periodo de retorno dado, en mm/h.

A = área de la cuenca, en ha.

Existen otros métodos para determinar el caudal máximo de manera empírica, como lo son el método de Mac Math, Burkli- Zieger y Kresnik.

2.6. Riego

Según Solórzano (2012), el riego se define como: *la aplicación oportuna y uniforme de agua a un perfil del suelo, con el objetivo de restituir en éste el agua consumida por evapotranspiración de los cultivos.*

Las aplicaciones de agua a los cultivos, se realizan con diversos fines, los cuales se enuncian a continuación:

- Abastecer del agua necesaria al cultivo para su óptimo desarrollo durante su vida.
- Poder cultivar todo el año.
- Mejorar los rendimientos de los cultivos.
- Generar mayores ingresos económicos.
- Poder cumplir con una demanda creciente en la necesidad de alimentos y cultivos.
- Realizar un lavado de sales del suelo, esto para mantener bajos niveles de sales y preservar la fertilidad del suelo.

Para poder llevar a cabo el riego, se necesita de una fuente cercana para el abastecimiento del sistema, como lo es ríos, embalses, pozos, etcétera.

2.7 Estructuras Hidráulicas

2.7.1 Reservorios

Estos también son llamados embalses, vasos de almacenamiento o presas de almacenamiento. El almacenamiento de agua en reservorios permite tener, al productor agropecuario, un suministro de agua de buena calidad en el verano o durante las sequías o veranillos que se presentan en invierno. Los reservorios se pueden construir para almacenar aguas de escorrentía provenientes de quebradas y ríos, o para capturar aguas llovidas, lo que se puede definir como cosecha de agua de lluvia. (Salinas Acosta, Rodríguez Quirós, & Morales Hidalgo, 2010).

Según Salinas, Rodríguez & Morales (2010), en Costa Rica, se enuncian los siguientes tipos de reservorios aplicables para las diferentes zonas del país, mostrados en el cuadro 2.5.

Cuadro 2.5 Tipos de reservorio aplicables en las diferentes zonas de Costa Rica.

Tipos de Reservorio
<i>Dique Represa</i>
Dique -Represa
Dique –Represa con Revestimiento
Dique –Represa con Gaviones
<i>Excavados</i>
Excavado
Excavado con Revestimiento
<i>Estanque</i>
Estanque
Estanque con Revestimiento
Envase
Dique Escalonado

Fuente: (Salinas Acosta, Rodríguez Quirós, & Morales Hidalgo, 2010).

Según Gómez & segura (1964), los embalses o reservorios, posee un efecto amortiguador sobre las riadas o caudales máximos que llegan a esto, esto es importante para la determinación del aliviadero o vertedero de demasías. Acorde con Linsley & Franzini (1980), usualmente, la avenida de diseño o estándar del proyecto es del 50%, pero este valor puede subir

o bajar, de acuerdo a las circunstancias encontradas, como dificultades de construcción, la fidelidad de los datos obtenidos, si las obras afectarían a poblaciones y están en juego vidas humanas, tolerancia económica de la obra, entre otros.

2.7.2 Canales

Los canales son conductos en los cuales el tránsito del agua se genera debido a la acción de la gravedad, la superficie libre del agua está en contacto con la atmósfera y es un flujo que no está sometido a ninguna presión. (Villón, 2004). Las secciones transversales de estos canales pueden ser rectangulares, trapezoidales, parabólicas y triangulares; dentro de las secciones se tienen abiertas y cerradas, como las circulares y en herradura.

2.7.2.1 Tipos de Flujo

Según Chow (1994), existen diferentes tipos de flujos, están: el flujo permanente y el no permanente tienen como criterio el tiempo, por esto se habla de permanente cuando sus parámetros hidráulicos se mantienen a lo largo del tiempo.

Acorde con Chow (1994), se tiene el flujo uniforme y flujo variado: espacio como criterio. Uniforme si los parámetros hidráulicos se mantienen en cada sección del canal y durante el tiempo.

Por otra parte, se encuentra el flujo no permanente. El cual varían sus condiciones a lo largo del tiempo y en los diferentes tramos de un canal. El flujo es variado si las condiciones hidráulicas de flujo cambian a lo largo del canal. Este flujo, se puede clasificar como gradualmente variado y rápidamente variado. (Villón, 2004).

Otra clasificación del flujo, es según su régimen crítico, subcrítico y supercrítico, esta clasificación se da por medio del número de Froude (F). Si $F < 1$, el flujo es subcrítico. Si $F > 1$ el flujo es supercrítico y si $F = 1$, el flujo es crítico. (Chow, 1994).

2.7.2.2 Consideraciones Prácticas para el diseño de canales

Según Villón (2012), el diseño de canales busca proporcionar de dimensiones a las siguientes características de estas estructuras, las cuales se denotan en la figura 2.1.

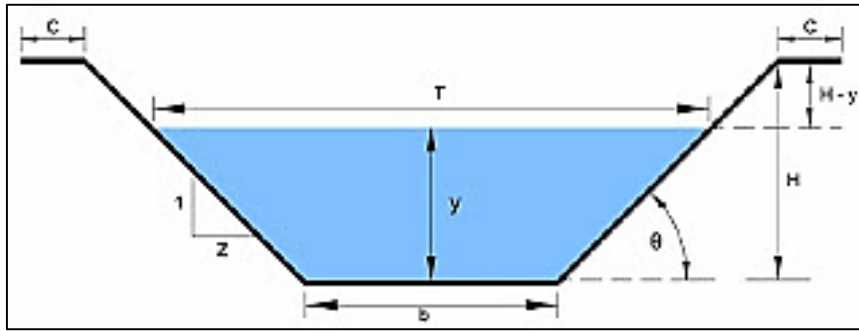


Figura 2.1. Dimensiones de los canales.

Donde:

Q = caudal, m^3/s

v = velocidad media del agua, en m/s .

S = pendiente, en m/m .

n = coeficiente de rugosidad, adimensional.

$Z: 1$ = talud, Horizontal: Vertical.

θ = Angulo de inclinación de las paredes laterales con la horizontal.

b = ancho de solera, en m .

y = tirante, en m .

A = área hidráulica, en m^2 .

H = profundidad total desde la corana al fondo del canal, en m .

$B.L$ = bordo libre = $H - y$, en m .

C = ancho de corana, en m .

De esta manera, para cada uno de las anteriores características de los canales, se debe de considerar de manera práctica las siguientes recomendaciones.

a) Caudal.

Para el diseño de canales parcelarios o para un determinado fin, el caudal es un parámetro de inicio o partida, consideraciones hidrológicas, necesidades de riego, fines hidroeléctricos, uso poblacional, etcétera. (Villón, 2012).

b) Velocidad media en el canal

La velocidad en los canales, varían en su rango, ya que se tiene un rango mínimo, el cual no produzca sedimentación en el fondo del canal y la máxima la cual no genere erosión y daños en las paredes del canal. Algunos valores de velocidades máximas permisibles en canales, en función de en qué estén contruidos, se muestran en el Anexo 5.

c) Pendiente admisible en canales de Tierra (S)

La pendiente debe ser la máxima que permita un dominio de la mayor superficie posible de tierra y que genere valores de velocidad que no produzcan erosión del material en que está construido el canal. En el cuadro 2.6, se denotan valores de pendientes admisibles recomendadas según el tipo de suelo.

Cuadro 2.6. Pendiente admisible en función del tipo de suelo.

Tipos de Suelo	Pendiente (S) ‰
Suelos sueltos	0,5 – 1,0
Suelos Francos	1,5 – 2,5
Suelos Arcillosos	3,0 – 4,5

Fuente (Villón, 2012)}

d) Taludes (Z)

El talud, es la relación de la proyección horizontal a la vertical, de la inclinación de las paredes laterales. Si la proyección vertical es 1, el valor de la proyección horizontal, se denomina talud, y se representa con la letra Z.

Esta inclinación de las paredes laterales, depende en cada caso particular de varios factores, pero muy particularmente de la clase de terreno en que se lleva a cabo los canales. Mediante más estable sea el material de las paredes, menor será el ángulo de inclinación de los taludes. (Villón, 2012).

Cuadro 2.7 Taludes recomendados según el material. Talud Z: 1 (Horizontal: Vertical)

Características de los Suelos	Canales poco Profundos	Canales Profundos
Roca en buenas condiciones	Vertical	0,25 : 1
Arcillas compactadas o conglomerados	0,5 : 1	1 : 1
Limos arcillosos	1 : 1	1,5 : 1
Limos arenosos	1,5 : 1	2 : 1
Arenas Seltas	2 : 1	1

Fuente: (Villón, 2012)

e) Coeficiente de Rugosidad (n)

En forma práctica, los valores de rugosidad que se usan para el diseño de canales alojados en tierra, oscilan entre 0,025 y 0,030; y para canales revestidos en concreto entre 0,013 y 0,015. Algunos de los valores de este coeficiente de rugosidad, se muestran en el Anexo 4.

f) Ancho de Solera (b)

Para el inicio del diseño de canales, es de gran utilidad fijar de antemano este valor y el valor del talud para tener una mayor facilidad en la utilización de las ecuaciones para el cálculo de valores como el tirante.

A continuación, se presentan algunos valores de anchos de solera recomendados en función del caudal a transportar, esto en el cuadro 2.8.

Cuadro 2.8 Ancho de solera en función del caudal.

Caudal Q (m ³ /s)	Ancho de Solera (m)
Menor de 0,100	0,30
Entre 0,100 y 0,200	0,50
Entre 0,200 y 0,400	0,75
Más de 0,400	1,00

Fuente: (Villón, 2012)

g) Tirante (y)

El valor del tirante, se encuentra en función del caudal, la forma del canal y de las diferentes características de este.

h) Área Hidráulica

Según la forma del canal, el tirante y las características de los canales, de esta manera se determinarán el área hidráulica o área mojada del canal. También mediante el uso de la ecuación de la continuidad, se puede determinar dicho valor.

i) Bordo Libre (B.L.)

Siempre resulta necesario dejar cierto desnivel entre la superficie libre del agua, como margen de seguridad, con el fin de absorber los niveles extraordinarios que puedan presentarse por encima del caudal utilizado en el diseño, el cual es denominado bordo libre y es la diferencia entre la profundidad total del canal y el tirante.

Resulta, de manera práctica, dejar un tercio del tirante como bordo libre en canales construidos en tierra y un quinto del tirante, para canales revestidos con concreto.

j) Profundidad total (H)

La profundidad total del canal, es la suma de la altura del tirante en el canal y del bordo libre. Este valor se redondea a valores prácticos para el proceso de la construcción.

k) Ancho de Corona (C)

Esta dimensión, depende del uso que estos canales tengan. Si se tienen canales grandes, se deja al menos 6,50 m, esto para permitir el tránsito de vehículos y equipos de construcción para facilitar el mantenimiento y construcción de las obras. Si los canales son de dimensiones pequeñas, se puede establecer este valor igual al valor del tirante del canal. También, se puede establecer en función del caudal a transportar, si el caudal es menor a $0,50 \text{ m}^3/\text{s}$ se puede dar un valor de 0,60 m y para valores superiores un ancho de corona de 1,00 m.

Según Villón (2012), estas consideraciones practicas deben de tomarse solamente como valores de referencia para dar inicio al diseño de canales y no como valores finales de diseño, ya que se esto se debe de chequear con revisiones en el campo y mediante el uso de las ecuaciones de Manning y la ecuación de la continuidad, mostradas en las ecuaciones 2 y 3, respectivamente.

Ecuación de Manning

$$Q = \frac{1}{n} * \frac{A^{\frac{5}{3}}}{p^{\frac{2}{3}}} * S^{1/2} \dots \dots \dots (2)$$

Ecuación de la Continuidad

$$Q = V * A \dots \dots \dots (3)$$

Donde

Q = caudal, en m³/s

n = coeficiente de rugosidad, adimensional.

A = área hidráulica, en m².

p = perímetro mojado, en m.

S = pendiente, en m/m.

V = velocidad, en m/s.

Para ver la determinación de los parámetros hidráulicos A y p, ver Anexo 6.

2.7.3 Vertederos de Demasías

Los vertederos son utilizados como válvulas de seguridad en presas y embalses, los cuales deben tener la capacidad de descargar un caudal en momentos de máximas avenidas, con el fin de no generar daños a presa o embalse. (Linsley & Franzini, 1980)

Según Linsley & Franzini (1980), se pueden enunciar diferentes tipos de vertederos, dentro de los cuales están: de cresta libre en los cuales el agua pasa por la cresta y son ampliamente utilizados.

La ecuación de descarga de los vertederos en general, es la ecuación (4), mostrada a continuación.

$$Q = C_d * L * h^{\frac{3}{2}} \dots \dots \dots (4)$$

Donde:

Q = caudal, en m^3/s .

L = longitud de la cresta del vertedero, en m.

h = carga sobre el vertedero, en m.

Según la forma del vertedero, se tienen de cresta ancha o cresta aguda. Además se pueden clasificar según su forma, ya sean rectangulares, trapezoidales, triangulares. (Villón, 2012).

El coeficiente de descarga (C_d), varía según el tipo de cresta, así si es cresta aguda, el $C_d = 1,84$; si es de cresta ancha, $C_d = 1,45$ y si su perfil es Creager, $C_d = 2$.

Linsley & Franzini (1980), mencionan otros tipos de vertederos como los vertederos con rápida, el cual posee una rápida o cascada después del vertedor. Los vertederos de canal lateral, el cual es utilizado para evacuar excesos de agua que fluye por canales abiertos. Enuncian también los vertederos de pozo, los cuales hacen que el agua circule por una galería vertical y la conduzca en otro punto aguas abajo.

2.7.4 Compuertas

Las compuertas son útiles para realizar un almacenamiento extra por arriba de la cresta del vertedero, esto para darla una mayor capacidad hidráulica al embalse o presa. Y también, sirven para regular la salida de aguas de dichas estructuras. (Linsley & Franzini, 1980).

Se pueden mencionar diferentes tipos de compuertas, como lo son: móviles que son de uso temporal, verticales de deslizamiento las cuales se deslizan por guidas verticales sobre la cresta del vertedero, radiales las cuales poseen un segmento circular, compuertas de rodillos, de tambor, etcétera. (Linsley & Franzini, 1980).

De este modo, se tiene la ecuación para determinar el caudal que pasa por una compuerta, la cual se muestra a continuación en la ecuación 5.

$$Q = C_d * b * a * \sqrt{2gy} \dots \dots \dots (5)$$

Donde:

Q = caudal, en m^3/s .

b = ancho de la compuerta, en m.

a = apertura de la compuerta sobre el fondo, en m.

y = altura de agua aguas arriba de la compuerta, en m.

C_d = coeficiente de descarga.

2.7.5 Alcantarillas

Son estructuras de cruce, que son utilizadas para la conducción de aguas provenientes de un canal o un dren, por debajo de un canal, camino o un obstáculo que esté por encima del nivel del agua en el canal. (Villón, 2010).

2.7.6 Orificio

Son aberturas realizadas a través de un muro, con forma regular, por medio de los cuales el agua circula haciendo contacto con todo el perímetro de dicha abertura. Su forma, más comúnmente utilizada son rectangulares, circulares o cuadrados. (Villón, 2004).

Con esto, para determinar la descarga que pasa a través de un orificio, se tiene la siguiente expresión

$$Q = C_d A_o \sqrt{2gh} \dots \dots \dots (6)$$

Con, Q caudal en m^3/s , C_d coeficiente de descarga, A_o área del orificio, h carga sobre el orificio hasta su centro.

El coeficiente de descarga depende del tipo de salida del orificio, así un orificio de pared delgada tiene un $C_d = 0,60$, uno de salida de tubo $0,82$ y uno de pared abocinada $C_d = 0,97$.

2.7.7 Sedimentador

La sedimentación, es un proceso físico que consiste en la separación por la acción de la gravedad de las partículas suspendidas, cuyo peso específico es mayor que la del agua. (Anaya, 2011).

Para Villón (2010), los desarenadores son obras hidráulicas que sirven para decantar y remover, el material sólido que lleva el agua. Este material a separar, según el fin requerido, tendrá una velocidad de decantación esto en función del diámetro de las partículas.

2.7.8 Rápida

Las rápidas son estructuras que sirven para enlazar dos tramos de un canal donde existe un desnivel considerable en una longitud relativamente corta. La diferencia entre usar una rápida y una serie de caídas escalonadas está supeditado a un estudio económico comparativo. (Villón, 2010)

Las rápidas se componen de varios elementos entre los que tenemos los siguientes:

-*Transición de entrada*: estructura que se utiliza para ir modificando en forma gradual la sección transversal de un canal cuando se unen tramos con diferentes formas.

-*Sección de Control*: corresponde al punto donde comienza la pendiente fuerte.

-*Canal de la Rápida*: comprende el tramo entre la sección de control y el principio de la trayectoria.

-*Trayectoria*: curva vertical parabólica que une la última pendiente de la rápida con el plano inclinado del principio del colchón amortiguador.

-*Colchón Amortiguador*: depresión diseñada para absorber la energía cinética generada en la rápida.

2.8 Cosecha de Aguas

2.8.1 Captación de aguas de lluvia

Los Sistemas de Captación de Agua de Lluvia (SCALL), son una tecnología mediante la cual se habilitan cubiertas y áreas impermeables de las construcciones con el fin de captar el agua de lluvia, para posteriormente conducirla a lugares en donde pueda almacenarse, estanques, reservorios, depósitos, y finalmente darle un uso, humano, animal o agrícola. (Durán, 2010).

El uso de los SCALL, se justifican según las siguientes razones:

- La red de acueducto es deficiente debido a su suministro.
- Baja disponibilidad del agua para diversos fines
- Mala calidad del agua, debido a la contaminación.

También, la FAO (2013), da una definición de captación y aprovechamiento del agua, la cual es *“práctica, obra o procedimiento técnico capaz de, individualmente o combinadas con otras, aumentar la disponibilidad del agua en la finca, para su uso doméstico, vegetal y animal.*

Además, según la FAO (2013), la utilización de las técnicas de captación y aprovechamiento del agua de lluvia, se hace más necesario a medida que:

- El patrón de ocurrencia de lluvias, en términos de volumen precipitado, se encuentra por debajo de la cantidad requerida para los usos que se den en la finca (déficit hídrico).
- La distribución temporal es variable con la estación del año
- Su patrón es poco definido, lo cual podría generar excesos o déficit en diferentes periodos o estaciones.

2.8.2 Ciclo Hidrológico

La mayor parte del agua interceptada y de escorrentía superficial regresa a la atmósfera mediante la evaporación. El agua infiltrada puede percolar profundamente para recargar el agua subterránea, de donde emerge en manantiales o se desliza hacia ríos para formar la escorrentía superficial, y finalmente retorna hacia el mar o se evapora en la atmósfera a medida que el ciclo hidrológico continúa. (Chow, Maidment, & Mays, 1994).

Según la FAO² (2013), este ciclo hidrológico representa las diferencias cuantitativas y cualitativas en sus diversos componentes y fases, las cuales dependen de la zona y de sus características naturales. Una correcta comprensión de este ciclo, es importante para alcanzar los objetivos propuestos, ya sea el de evitar excesos hídricos (drenaje) o aprovechar al máximo las aguas de lluvia (captación y aprovechamiento). El ciclo hidrológico se muestra a continuación en la siguiente figura 2.2.

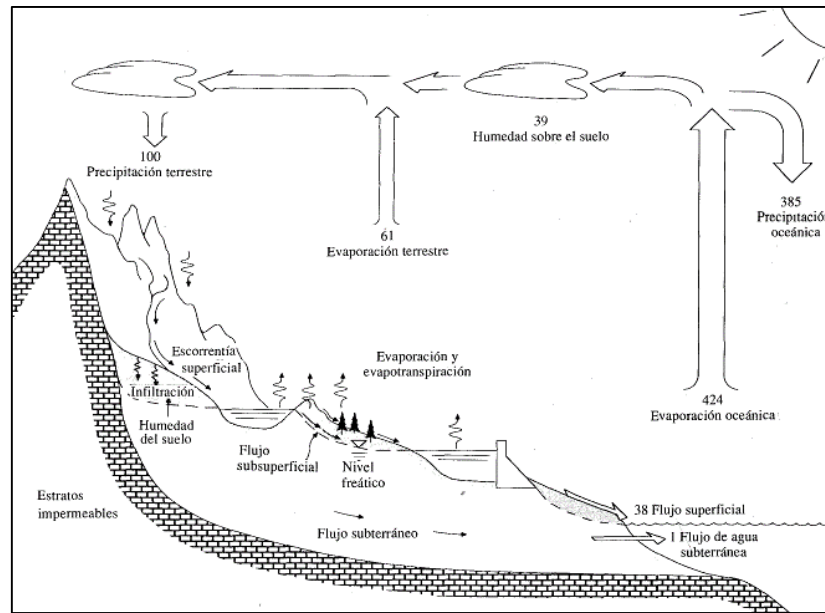


Figura 2.2. Ciclo hidrológico. (Chow, Maidment, & Mays, 1994).

2.8.3 Evaporación

Este fenómeno se presenta tanto en la superficie del suelo como en las aguas libres, como lo son océanos, ríos, lagos, lagunas, reservorios, etcétera. Se genera debido a que las superficies reciben de manera directa la energía solar y esto genera que se pierda el agua debido a la evaporación de la misma (Chow, Maidment, & Mays, 1994).

Debido a la naturaleza de la evaporación, en la captación y aprovechamiento de las aguas de lluvia, se recomienda que las obras de almacenamiento tengan el mínimo posible de superficie de agua libre, esto para reducir la evaporación. Por esto, se aconseja que los embalses

² La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, FAO (Food and Agriculture Organization por sus siglas en Inglés).

sean más profundos que anchos, las cisternas que permanezcan cerrados y en lugares sombreados. (FAO, 2013).

Según Gómez & Segura (1964), para la determinación de la evaporación en embalses o reservorios, se tiene a siguiente expresión

$$e = (1 + 0,75 T)(3,94 + 0,0016h) \dots \dots \dots (7)$$

Donde, e = evaporación mensual en mm, T temperatura media anual en grados centígrados y h es la altura anual de lluvias en mm.

2.8.4 Evapotranspiración

Según Villón (2004), la evapotranspiración constituye las pérdidas totales, las cuales involucran la evaporación y la transpiración de las plantas. Se tiene la evapotranspiración potencial, la cual es definida como la pérdida total de agua que ocurriría si en ningún momento en el suelo existiera un déficit hídrico. Existen varios métodos para determinar dicha evapotranspiración, entre los cuales se pueden mencionar: Método de Thornthwaite, Blaney-Clidde, Hargreaves, Penman, entre otros.

2.8.5 Lluvias

Es la parte más importante para la captación y almacenamiento del agua. Al caer las precipitaciones se pueden dar los casos: que las lluvias queden sobre la superficie vegetal, esto ocurre cuando son de baja duración e intensidad. Las lluvias alcancen el suelo y llegan a infiltrarse en el medio poroso del suelo, mantener una cierta humedad y generar una recarga de los niveles freáticos. Y por último, al ser excesiva, escurrir cuando la cantidad de lluvia que infiltra es menor que la precipitación, lo cual genera escorrentía superficial. (FAO, 2013)

Según la FAO (2013), en localidades en donde la variabilidad de precipitación es elevada, no se recomienda utilizar valores promedio. Es más adecuado utilizar un valor cuya probabilidad de ocurrir sea mayor que el 50% (por ejemplo, 75% o más), dependiendo de las características locales de la precipitación, el tipo de uso y la situación de escasez. En situaciones en que hay más confianza en los datos o que la variabilidad sea pequeña, se pueden utilizar excedencias entre 50 y 75%. Al contrario, en situaciones de muy elevada variabilidad y

vulnerabilidad hídrica, sería interesante trabajar con probabilidades aún mayores, de 80 o 90%, por ejemplo, esto para tener parámetros de mayor confiabilidad.

Algunas de las fórmulas para determinar la probabilidad experimental de ocurrencia de un determinado evento, se muestran a continuación en el siguiente cuadro 2.9.

Cuadro 2.9. Ecuaciones para determinar la probabilidad experimental.

Formula Empírica	Probabilidad (P)
Hazen	$\frac{m - 0,5}{n}$
Weibull	$\frac{m}{n + 1}$
Chedagayev	$\frac{m - 0,3}{n + 0,4}$
Blom	$\frac{m - 0,375}{n + 0,25}$
Tukey	$\frac{3m - 1}{3n + 1}$

Fuente: (Villón, 2006).

2.8.6 Cambio Climático

Afecta de manera sustancial, el ciclo hidrológico local, el cual depende de la latitud, longitud, insolación, vientos, orografía, geología, suelos, cobertura vegetal; estos factores cambian debido al aumento de las temperaturas medias, lo cual puede provocar variaciones que aumenten o reduzcan las precipitaciones y generen en ciertas zonas del mundo escasez de agua o abundancia. (FAO, 2013)

2.8.7 Consumo Vegetal

Según la FAO (2013), el consumo de agua de los cultivos corresponde a la evapotranspiración, que es el volumen total de agua que pasa del suelo a la atmósfera, en el estado de vapor, en una superficie cubierta por cultivos. Su valor está representado por la suma de dos componentes: el agua que evapora directamente del suelo (agua no productiva) y el agua absorbida y transpirada por las plantas (agua metabolizada, productiva).

2.8.8 Demanda de Agua

Es la cantidad de agua que necesita una persona, un animal o un cultivo diariamente; además considera la cantidad total de agua requerida para satisfacer una necesidad establecida del proyecto a ejecutar. (Anaya, 2011).

Para determinar dicha demanda, se tiene la siguiente expresión

$$D_{anual} = \sum_{j=1}^{12} D_j \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots (8)$$

Donde, D = demanda anual, j = número del mes (1,2,3...), Dj = demanda de agua por mes.

2.8.9 Área de captación

Según Anaya (2011), un dato útil para el cálculo del área de captación del agua es que por cada milímetro de agua de lluvia que cae sobre un metro cuadrado, se obtendrá un litro de agua.

Con esto, para determinar el área requerida para cumplir con una demanda mensual o anual, se tiene la siguiente expresión:

$$A_{ec} = \frac{D_{anual}}{\sum_{j=1}^{12} P} \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots (9)$$

Donde, A_{ec} = área efectiva de captación, D_{anual}= demanda anual (m³), P = precipitación neta mensual.

De esta manera, se tienen los coeficientes de escurrimiento, según el material utilizado para este fin, los cuales se denotan en el cuadro 2.10.

Cuadro 2.10. Coeficientes de escurrimiento (C), para diferentes materiales.

Tipo de Captación	C
Concreto	0,6 – 0,8
Pavimento	0,5 – 0,6
Geomembrana de PVC	0,85 – 0,90
Azulejos teja	0,8 – 0,9
Hojas de metal acanaladas	0,7 – 0,9
Suelos con pendientes menores al 10%	0 – 0,3

Fuente: (Anaya, 2011).

2.8.10 Técnicas de Captación de Agua de Lluvia

Según la FAO (2013), se tienen las siguientes modalidades de captación de agua de lluvia, las cuales se enuncian a continuación:

- *Microcaptación:* son las técnicas de captación de aguas de escorrentía superficial generada dentro del propio terreno de cultivo, en zonas cercanas, con el fin que estas aguas se infiltren y sean aprovechadas por los cultivos. Propone aprovechar las aguas de escorrentía de un terreno cercano con potencial generador de escorrentía para abastecer, al terreno inferior el cual mediante surcos, bordos, hoyos captar estas aguas y abastecer a los cultivos.
- *Macrocaptación:* es la captación de aguas de escorrentía de áreas más grandes, ubicadas contiguo a los cultivos, macrocaptación interna; o apartadas de la zona de interés, macrocaptación externa. Estas técnicas incorporan el principio hidrológico de un área productora de escorrentía superficial, que genere un volumen considerable hacia una estructura de almacenamiento, como un embalse o reservorio, mediante estructuras de conducción como acequias, canales, zanjas, etcétera.
- *Derivación de manantiales y cursos de agua mediante bocatomas:* no es considerado por muchos como una técnica de captación de agua de lluvia; sin embargo es una técnica usada para contrarrestar el déficit hídrico.
- *Cosecha de agua de techos de vivienda y otras estructuras impermeables:* es la técnica más conocida, la cual consiste en aprovechar la escorrentía generada por

superficies impermeables o poco permeables, como lo son techos, superficies rocosas, hormigón, mampostería o plástico.

- *Captación de aguas subterráneas y freáticas:* se da el uso de estas aguas en zonas con alto déficit hídrico, lo cual depende de la calidad, disponibilidad y modalidad de extracción.

- *Captación de agua atmosférica:* en ciertos casos, es posible según el clima y la orografía, la captura y aprovechamiento de la humedad atmosférica que se desplaza cerca de la superficie en forma de niebla.

La utilización de la técnica más apropiada para la captación y aprovechamiento de aguas de lluvia, debe considerar aspectos ambientales y socioeconómicos para realizar un correcto y eficiente uso de las aguas.

Para la producción vegetal, la FAO recomienda las siguientes técnicas de captación de aguas, las cuales se muestran en el cuadro 2.11.

Cuadro 2.11 Sugerencias para la selección del sistema de captación de aguas, según la FAO (2013).

Finalidad de Uso	Sub finalidad del uso	Sistema de Captación
Producción Vegetal	Huertos caseros	Técnicas de microcaptación Técnicas de macrocaptación Aprovechamiento de la napa freática Techos y otras superficies impermeables
	Forraje	Técnicas de microcaptación Técnicas de macrocaptación Aprovechamiento de la napa freática Techos y otras superficies impermeables Derivación de caudales de manantiales
	Otros cultivos de subsistencia o comerciales	Técnicas de microcaptación Técnicas de macrocaptación Aprovechamiento de la napa freática Derivación de caudales de manantiales

3. METODOLOGÍA

3.1 Inspección de la Zona de Estudio

Mediante la realización de un recorrido por las 27,02 hectáreas de la finca, con los encargados del cultivo, se estableció la situación actual de la empresa y las problemáticas para la realización de este proyecto. Con este recorrido, se determinaron aspectos importantes para el desarrollo del proyecto, en cada una de las problemáticas mencionadas en el apartado 1 introducción.

3.2 Levantamiento topográfico

Mediante la utilización de una estación total, se realizó el levantamiento topográfico de la zona en estudio, para las problemáticas encontradas.

Con esto, se analizó y utilizaron los datos obtenidos, para determinar curvas de nivel, mapas, perfiles longitudinales, rasantes de canales y figuras necesarias para la elaboración de este proyecto.

Al ser una finca relativamente grande y no contar con suficiente tiempo y personal para realizar un levantamiento de toda la finca, se realizó en las zonas de mayor importancia para las distintas obras del proyecto.

3.3 Suelo

3.3.1 Determinación de la Textura del Suelo

Para la obtención de la textura del suelo, se realizaron los siguientes pasos:

- a) Se utilizó una muestra de suelo de aproximadamente 40 g.
- b) Se dejó secar en el horno esta muestra por 24 horas.
- c) Se extrajo la muestra y luego se pulverizó lo máximo posible, para posteriormente tamizarla utilizando el tamiz de 2 mm.
- d) Se mezcló la muestra pulverizada, con agua y calgón durante 10 minutos, esto para cada muestra de suelo.
- e) Después, se trasvasó esta muestra a una probeta de 1 litro, completando este volumen con agua destilada hasta la marca de aforo de un litro.

f) Se realizó la medición de la temperatura y la medición de los sólidos en suspensión mediante el hidrómetro.

g) Se dejó en reposo la muestra durante 2 horas, momento en el cual se vuelve a realizar la medición de la temperatura y de los sólidos en suspensión.

h) Con esta información, se realizaron los cálculos mostrados en las ecuaciones 10, 11, 12, 13 y 14.

Corrección de lectura del Hidrómetro

$$\text{Corrección} = (\text{temperatura} - 19.4) * 0.3 \dots \dots \dots (10)$$

Esta corrección se debe realizar a todas las lecturas que se hagan con el hidrómetro.

Material suspendido

$$\% \text{ Material Suspendido} = \frac{\text{Lectura hidrómetro a } 40''}{\text{Peso de la muestra}} * 100 \dots \dots \dots (11)$$

% de Arenas, arcillas y limos del suelo

$$\% \text{ Arenas} = 100\% - \% \text{ Material Suspendido} \dots \dots \dots (12)$$

$$\% \text{ Arcilla coloidal} = \frac{\text{Lectura hidrómetro a } 120''}{\text{Peso de la muestra}} * 100 \dots \dots \dots (13)$$

$$\% \text{ Limos} = 100\% - \% \text{ Arenas} - \% \text{ Arcillas} \dots \dots \dots (14)$$

i) Con estos valores obtenidos de arenas, limos y arcillas, se comparan con el triángulo textural de la USDA, mostrado en la figura 3.1 y de este modo se obtuvo la textura de un suelo mediante el método de Bouyoucos.

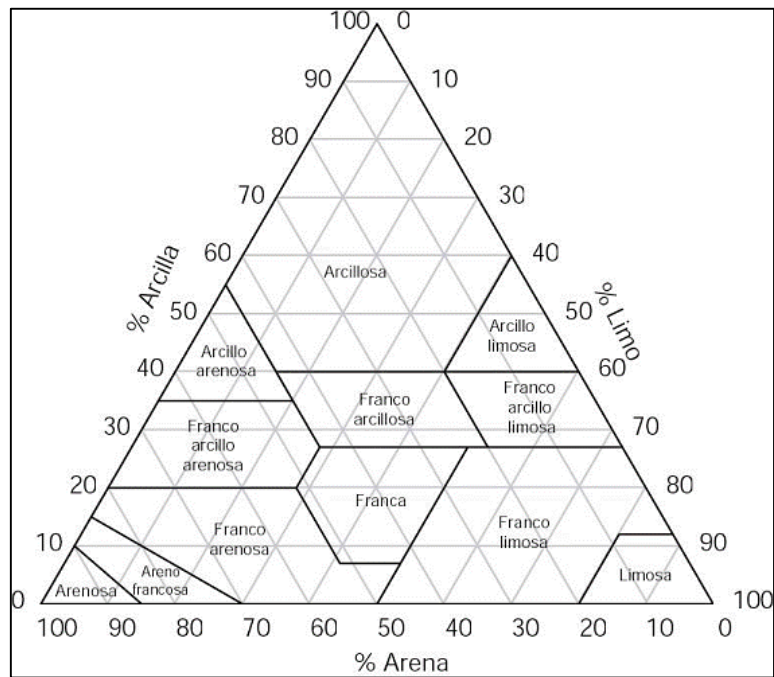


Figura 3.1 Triángulo textural de la USDA.

3.3.2 Taxonomía del Suelo

a) Mediante el uso de sistemas de información geográfica y el Atlas 2008, se determinó el orden, sub orden, gran grupo, del suelo presente en la zona de estudio.

3.3.3 Determinación de la Infiltración

Para obtener la infiltración base (I_b) del terreno, siguiendo el método del cilindro infiltrómetro, con el siguiente procedimiento:

- a) Primeramente, se enterraron los cilindros infiltrómetros, de diferente diámetro, uno dentro del otro. El cilindro de menor diámetro debe quedar centrado en el cilindro de mayor diámetro.
- b) Se colocó una regla graduada en el cilindro interior, colocado de tal forma que el cero de la regla coincidiera con el nivel del suelo.
- c) Se agregó agua a una altura aproximada de 10 – 15 cm en ambos cilindros, de manera tal, que no se disturbe el suelo.

d) Se llevó el registro del tiempo que dura en descender una determinada lámina de agua. Una vez descendido, con una probeta se repuso el agua descendida para mantener un nivel de agua determinado.

e) Luego, se continuó con el proceso hasta que la variación de la lámina de agua que infiltra sea menor al 10%.

f) Para esta determinación de la infiltración, se confeccionó un cuadro con las siguientes especificaciones

Cuadro 3.1 Datos de prueba de infiltración

Intervalo de tiempo (min o h)	Tiempo Acumulado (min o h)	Lámina infiltrada (mm o cm)	Lámina acumulada (mm o cm)	Infiltración instantánea (mm/h o cm/h)
.....

g) Utilizando estos valores de lámina y tiempo, se determinó la ecuación de la infiltración, la cual tiene la forma:

$$I_i = a * t^b \dots \dots \dots (15)$$

Donde:

I_i = velocidad de infiltración instantánea en mm/h o cm/h.

t = tiempo de infiltración en min o h.

a = coeficiente que representa la infiltración instantánea cuando el valor de $t = 1$.

b = exponente adimensional, siempre es negativo y varía entre 0 y -1.

h) Se obtuvo la infiltración base, la cual se obtiene con el tiempo base, usando la ecuación 16. Luego este tiempo base se sustituyó en la ecuación 15, de la infiltración instantánea y se obtiene el valor de la infiltración base. Si el tiempo se tiene en minutos, se debe multiplicar por 60 para mantener la congruencia en unidades.

$$t = -10 * b \dots \dots \dots (16)$$

3.4 Determinación de Datos Hidrológicos

a) Se obtuvieron los datos de precipitación diaria y temperaturas mínimas y máximas para el mayor periodo posible.

b) Se determinó la evapotranspiración potencial por mes, utilizando el método de Hargreaves, con el software Hidroesta, para simplificar los cálculos.

c) Se calculó la intensidad máxima, por el método empírico de Grobe, conocido como Dick y Peschke. El procedimiento utilizado se muestra a continuación.

i. Se determinó la ecuación de la intensidad máxima para la zona de Llano Grande de Cartago.

$$I = K * T^a * D^b \dots \dots \dots (17)$$

ii. Para esto se separó la precipitación de 24 h en diferentes duraciones, con la siguiente ecuación

$$P_D = P_{24h} \left(\frac{D}{1440} \right)^{0,25} \dots \dots \dots (18)$$

P_D = lluvia máxima con una duración entre 5 minutos < D < 1440 minutos.

D = duración de la lluvia en minutos.

P_{24h} = lluvia máxima diaria en mm

Los resultados, se colocaron en el cuadro 3.2.

Cuadro 3.2 Descomposición de precipitaciones diarias en diferentes intervalos.

Año	Pmax en 24 h(mm)	Duración (min)					
		15	30	60	120	180	240

iii. Se transformó la precipitación máxima en mm a intensidades en mm/ h.

$$I = \frac{60 * P}{D} \dots \dots \dots (19)$$

Donde:

I = intensidad, en mm/h.

P = precipitación, en mm.

D = duración de la precipitación, en min.

Los resultados, se tabulan en el cuadro 3.3.

Cuadro 3.3 Intensidades máximas para diferentes duraciones.

Año	Duración (min)					
	15	30	60	120	180	240
.....

iv. Con esto, se calcularon los periodos de retorno para cada duración, las intensidades se ordenaron en forma descendente y se determinó el periodo de retorno con la fórmula de Weibull, mencionada en el cuadro 2.9.

v. Se determinaron los parámetros K, a y b de la ecuación de la intensidad máxima, mediante una ecuación de regresión no lineal múltiple, para transformar la ecuación de la intensidad máxima en una ecuación de regresión lineal múltiple, efectuando un cambio de variable.

Se aplicó logaritmo natural a ambos lados del igual

$$\ln I = \ln K + a \ln T + b \ln D \dots \dots \dots (20)$$

Luego, se realizó el siguiente cambio de variables

$$Y = c + ax_1 + bx_2 \dots \dots \dots (21)$$

Con

$$Y = \ln I \quad c = \ln K \quad x_1 = \ln T \quad x_2 = \ln D \dots \dots \dots (22)$$

vi. Con esto, se busca obtener un sistema de 3 ecuaciones lineales con 3 incógnitas, así se determinan los valores de K, a y b. El cálculo se muestra en el cuadro 3.4.

$$\begin{cases} \sum Y = a_0 * n + a_1 * \sum x_1 + a_2 * \sum x_2 \\ \sum x_1 Y = a_0 \sum x_1 + a_1 \sum x_1^2 + a_2 \sum x_1 x_2 \dots \dots \dots (23) \\ \sum x_2 Y = a_0 \sum x_2 + a_1 \sum x_1 x_2 + a_2 \sum x_2^2 \end{cases}$$

Con el manejo de los datos, se llenó el siguiente cuadro 3.4.

Cuadro 3.4 Valores requeridos para realizar la regresión lineal múltiple

Parámetro	Valor
n	
$\sum Y$	
$\sum X_1$	
$\sum X_2$	
$\sum YX_1$	
$\sum YX_2$	
$\sum X_1 X_2$	
$\sum X_1^2$	
$\sum X_2^2$	

vii. Una vez obtenidos los valores del cuadro anterior, se sustituyeron en la ecuación 23 y se procedió a resolver el sistema de ecuaciones lineales y luego sustituirlo en la ecuación 22, luego se devolvió el cambio de variable hasta encontrar los parámetros de la ecuación de la intensidad máxima.

d) Se determinaron las curvas de variación estacional para las precipitaciones mensuales obtenidas, con el uso del software Hidroesta, para simplificar los cálculos. De manera manual, se tiene el siguiente procedimiento

- i. Primero, se obtuvo las precipitaciones mensuales para el periodo establecido.
- ii. Se ordenaron los valores de cada mes, en orden descendente.
- iii. Luego, se determinó, para cada valor, la probabilidad de que el evento sea igualado o excedido, aplicando el método de probabilidad de Hazen.

$$P = \frac{2m - 1}{2n} * 100 \dots \dots \dots (24)$$

Donde:

P = probabilidad acumulada, en porcentaje

m = número de orden del valor

n = número de valores.

iv. Se tabularon los datos de las probabilidades, como se muestra en el cuadro 3.5.

Cuadro 3.5. Probabilidades de ocurrencia de una determinada precipitación según el mes.

Mes	Prob.1 (%)	Prob. 2(%)
Enero	P ₁	
Febrero	P ₂	
.....	

v. Se construyó una gráfica, para cada probabilidad considerada, con los valores de meses vs precipitaciones.

vi. Con estas curvas de variación estacional, se determinó la disponibilidad mes a mes, con una determinada probabilidad de ocurrencia.

e) Con estos valores de probabilidad de ocurrencia de las precipitaciones, se determinó el volumen aprovechado mensualmente, con la distribución de las áreas de recolección de aguas actual. Para esto se utilizó la ecuación 25.

$$V (m^3) = \text{Área} (m^2) * \text{Precipitación} (m) * \text{Eficiencia Escorrentía} \dots (25)$$

f) De manera análoga, se obtuvieron los volúmenes aprovechados, con la nueva propuesta de distribución de las áreas de recolección.

g) Se determinaron las áreas de los reservorios y con el uso de la ecuación de evaporación propuesta por Gómez & Segura (1964), se calculó el volumen perdido por evaporación de los reservorios.

h) Se obtuvo la demanda hídrica mensual. Esto utilizando los consumos mensuales de periodos anteriores en la finca, debido a que las aplicaciones de riego varían de acuerdo a la época y etapa del cultivo.

i) Se comparó esta demanda hídrica con los volúmenes obtenidos, para determinar si el abastecimiento de los reservorios es suficiente para cumplir con la demanda.

3.5 Análisis de las Inundaciones

a) Se establecieron las labores culturales realizadas en el cultivo del lirio, así como su afectación e impacto debido a las inundaciones.

b) Mediante recorridos con los encargados del cultivo, se determinaron las áreas afectadas por la inundación, así como periodos máximos en los cuales los terrenos han permanecido inundados.

c) Se analizaron las posibles causas por las cuales se genera dicha inundación en los invernaderos, así como sus repercusiones sobre el cultivo.

d) Una vez tenidas dichas causas, se plantearon las posibles soluciones para evitar que las inundaciones continúen.

3.6 Evaluación del sistema actual de drenaje.

a) Primero, se midieron las dimensiones, pendiente y las características del canal de evacuación de excesos de aguas provenientes del reservorio del 34.

b) Se determinó si las características de este canal, son las requeridas para evacuar excesos de este reservorio.

c) Al no cumplir con las características requeridas, se realizó un re-diseño de este canal. Esto con el fin, de que el canal cumpla con la función de evacuar las aguas de este reservorio de manera óptima.

3.7 Diseño de Obras Hidráulicas

a) Se estableció la mejor ubicación técnica de las obras por realizar.

b) Para la determinación el caudal de diseño de las obras, se utilizó el Método Racional. El procedimiento para obtenerlo, se indica a continuación:

i. Primero, se determinó el coeficiente de escorrentía (C), esto para cada uno de los terrenos y áreas en estudio, utilizando los cuadros 2.4 y 2.10, los cuales especifican los coeficientes de escorrentía para diferentes superficies.

ii. Si existen diferentes coberturas y usos del suelo, se calcula un coeficiente de escorrentía ponderado el cual se determina de la siguiente manera:

$$C_{pon} = \frac{A_1 * C_1 + A_2 * C_2 + \dots + A_n * C_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \dots \dots \dots (26)$$

iii. Se calculó el tiempo de concentración (tc), utilizando la fórmula empírica de Kirpich.

$$t_c = 0,0195 \left(\frac{L^3}{\Delta h} \right)^{0,385} \dots \dots \dots (27)$$

Donde:

t_c = tiempo de concentración, en minutos

L = máxima longitud del recorrido, entre el punto más alejado hasta el punto requerido, en metros.

Δh = diferencia de elevación entre los puntos extremos del cauce principal, en metros.

iv. Se determinó la pendiente media, textura y cobertura del terreno en estudio.

v. Se calcularon, para los diferentes casos en el diseño de obras, el caudal máximo por el Método Racional, con la ecuación 1, haciendo uso de la ecuación 27 para el tiempo de concentración, la ecuación 17 de intensidad máxima, para un periodo de retorno de 5 años.

c) Para el diseño de canales abiertos o cerrados, se siguieron las recomendaciones prácticas mencionadas en la revisión bibliográfica y además, se ajustaron a las situaciones observadas en campo.

d) Con el uso de la ecuación 2, de Manning, se determinaron los parámetros hidráulicos de estos canales. Para simplificar cálculos, se utilizó el software Hcanales.

Con estos resultados, se dimensionaron los canales según recomendaciones prácticas y situación de campo.

e) Se diseñaron los vertederos de demasías, con la ecuación 4, mencionada en la revisión bibliográfica.

f) Para el diseño las dimensiones de las compuertas, se utilizó el valor de la longitud de la cresta del vertedero, obtenida anteriormente.

g) Con esto, se crearon figuras, en las cuales se muestren las dimensiones requeridas por las obras a realizar.

3.8 Análisis de la Cosecha de Agua

a) Se encontró, la distribución actual de las aguas de lluvia, para determinar el potencial de área recolectado por reservorio contra el potencial no aprovechado.

b) Además, se obtuvo el área de riego por reservorio, para denotar si el abastecimiento que posee cada uno es el adecuado.

c) Con la situación actual de recolección de agua, se generó una propuesta que mejore y maximice la cosecha de aguas de los reservorios. Además, se comparó, la situación actual contra la nueva distribución de las aguas de lluvia.

d) Con la nueva propuesta, se diseñaron las nuevas obras para maximizar la cosecha de aguas.

e) Para el diseño de alcantarillas, se utilizó el procedimiento mostrado en el libro Diseño de Estructuras Hidráulicas, paginas 145-156, mencionado en la bibliografía.

f) Se determinó el diámetro de bajantes de los techos de los invernaderos, utilizando el Anexo 16.

g) Para el cálculo de caudales por medio de orificios, se usó la ecuación 6, mencionada en la revisión bibliográfica.

h) Para el diseño de sedimentadores, se utilizó el procedimiento mostrado en el libro Diseño de Estructuras Hidráulicas, paginas 91-111, mencionado en la bibliografía.

i) Para el diseño de rápidas, se usó el procedimiento mostrado en el libro Diseño de Estructuras Hidráulicas, paginas 41-56, mencionado en la bibliografía.

j) Además, se crearon figuras, en las cuales se muestran las dimensiones requeridas por las obras a realizar.

3.9 Costos

a) Se cuantificó la cantidad de materiales necesarios para la realización de las distintas obras propuestas, así como la mano de obra requerida.

b) Con estos datos, se elaboró una lista con la cantidad de materiales, mano de obra y costos totales por el proyecto propuesto.

3.10 Análisis Financiero

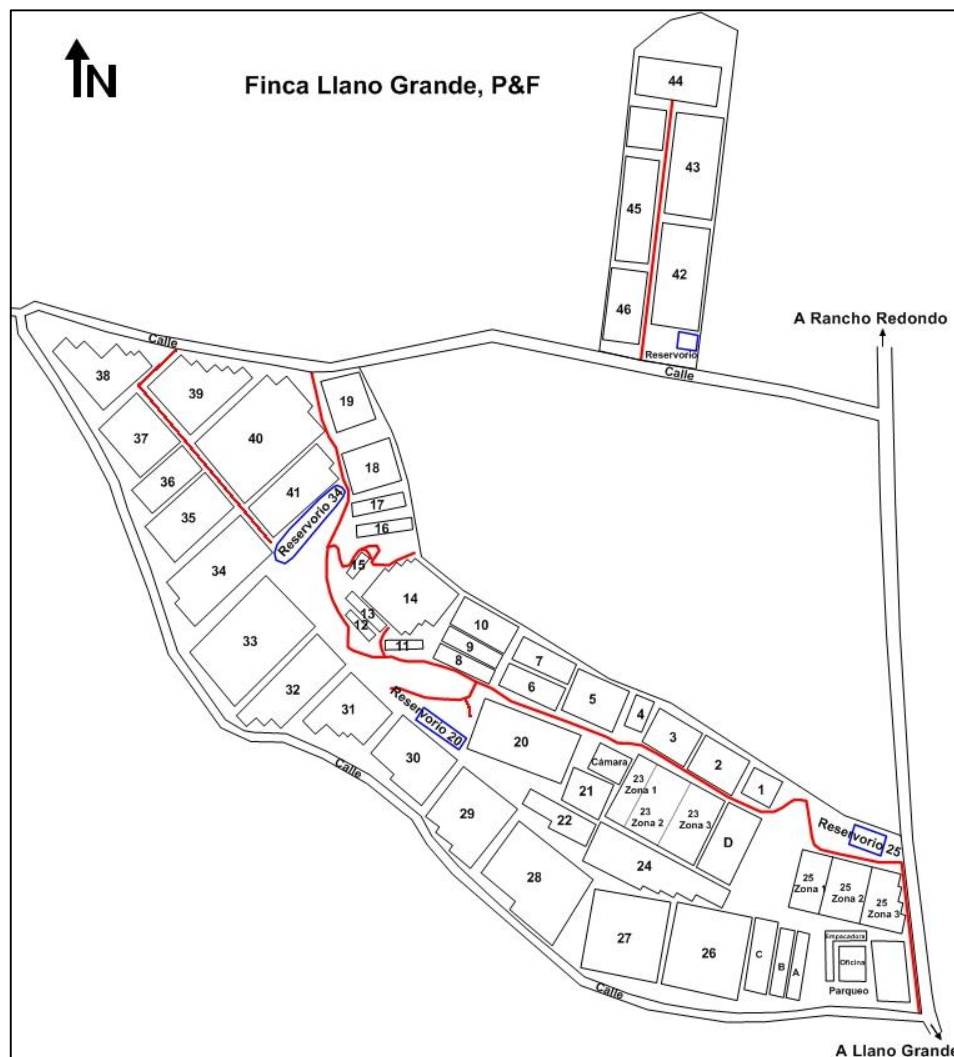
a) Se determinaron las labores que se ven afectadas, así como posibles valores económicos debido a bombeos, a pérdidas de bulbos, tallos, disminuciones de los rendimientos de las obras.

b) Con esto, se realizó un análisis financiero del proyecto propuesto, para determinar viabilidad de las obras, mediante indicadores como el periodo de recuperación de la inversión valor actual neto (VAN), tasa interna de retorno (TIR), costo de beneficio (CB), entre otros.

4. RESULTADOS Y ANALISIS DE RESULTADOS

4.1 Datos de la Zona

El desarrollo del proyecto, se llevó a cabo en la comunidad de Llano Grande de Cartago, Costa Rica. Comunidad localizada el norte de esta provincia. Se desarrolló en la empresa Plantas y Flores Ornamentales C.A.B.H S.A, la localización de la empresa es latitud Norte $9^{\circ}56'48''$ y longitud Oeste $83^{\circ}56'09''$. Esta empresa se dedica al cultivo de plantas ornamentales como Lirios, Fresia, Hortensias, Agapantos, Gerberas, Áster, follajes y otras ornamentales, los cuales se desarrollan en ambientes protegidos, en este caso invernaderos y muy poca área a la intemperie. El mapa de la finca, se muestra en la siguiente figura 4.1.



SURFER

Figura 4.1. Mapa Finca Llano Grande, P&F.

Esta finca posee en total un área de 27, 022 hectáreas, divididas en: Finca 1 con 100.963,48 m², Finca 2 con 33.394,73 m² y Finca 3 con 135.860,67 m².

4.1.1 Suelo

Las características del suelo, en la zona de realización de este proyecto, se muestran a continuación:

Orden: Inceptisoles, derivados de materiales volcánicos. Suelos jóvenes con horizonte B cámbico (apenas forma un B), sin otro horizonte diagnóstico.

Suborden: Andept

Gran Grupo: Hydrandept

Textura: Franco, determinado con el método de Bouyoucos.

Infiltración base: 19,20 mm/h

4.2 Datos Hidrológicos

4.2.1 Precipitación

Según el Instituto Meteorológico Nacional (IMN), para la Estación 84125 ubicada en Llano Grande, Finca Tres, de Cartago. Se tienen los datos de precipitación para el periodo 1994 – 2009. Esta estación meteorológica se encuentra ubicada en Latitud N 9.945444° y Longitud O 83.92175°, aproximadamente a 1,5 Km de distancia de la finca. Así, se muestran las precipitaciones diarias para el periodo 1994 – 2009, en el Anexo 7.

4.2.2 Evapotranspiración

A continuación, en el cuadro 4.1, se muestran los valores de la evapotranspiración mediante el método de Hargreaves y el empleo del software Hidroesta, utilizando el Anexo 8.

Cuadro 4.1. Evapotranspiración mensual en mm, para la zona de estudio.

Evapotranspiración (mm/mes)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
	87,9	99,3	102	98,1	87,3	86,1	86,7	87	84,9	80,4	82,5	87,9

4.2.3 Evaporación

La evaporación para los reservorios, determinada con la ecuación 7, tiene un valor de 84,01 mm/mes. Esta evaporación, será utilizada para determinar las pérdidas debido a esto en los reservorios.

4.2.4 Intensidad Máxima (Imáx)

La intensidad máxima, mediante la utilización del método empírico de Grobe, conocido como Dick y Peschke, es:

$$I = 685,1926 * T^{0,2308} * D^{-0,75}$$

El detalle de los cálculos empleados para la obtención de esta ecuación, se desarrollan en el Anexo 9.

4.2.5 Curvas de Variación Estacional

Según los datos obtenidos por el Instituto Meteorológico Nacional (IMN), para la estación 84125 Finca Tres Llano Grande de Cartago, se tienen las precipitaciones mensuales para el periodo 1994 – 2009, las cuales se muestran en el cuadro 4.2.

Cuadro 4.2. Precipitaciones Mensuales, en mm.

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agst	Sept	Oct	Nov	Dic
1994	0,00	0,00	0,00	99,20	174,60	52,80	100,10	112,20	298,80	396,00	375,60	45,80
1995	0,90	6,30	22,40	88,50	195,40	310,70	193,90	450,90	542,10	411,90	74,20	10,40
1996	41,70	157,00	35,30	71,40	499,80	352,20	245,90	156,10	345,20	279,10	171,50	27,00
1997	13,70	18,00	3,60	135,30	344,90	240,20	43,80	77,60	240,60	362,30	375,60	17,70
1998	0,00	2,60	14,30	0,00	188,30	271,50	189,80	191,10	460,00	583,00	257,20	182,10
1999	3,90	80,10	10,70	259,40	311,40	453,40	108,40	381,90	442,00	475,10	226,70	160,70
2000	37,20	24,60	5,40	37,10	178,40	296,40	129,20	171,20	350,50	287,30	202,90	69,40
2001	40,20	5,60	1,20	84,00	107,50	133,90	158,90	111,30	240,50	247,70	194,10	67,30
2002	62,70	3,10	1,60	11,60	431,30	220,60	145,90	259,10	231,80	360,20	234,80	1,30
2003	13,20	0,00	45,60	56,70	356,40	462,90	106,20	97,50	300,90	484,00	308,30	208,60
2004	1,70	9,90	23,50	23,90	404,30	102,50	113,60	65,70	419,40	270,50	387,00	70,40
2005	47,60	7,50	33,00	57,10	358,30	378,60	267,50	189,10	329,70	487,40	231,30	29,40
2006	36,50	22,90	24,50	33,30	228,30	224,40	187,40	122,50	297,90	244,60	184,70	43,40
2007	1,90	9,40	2,50	114,60	427,10	75,20	175,40	311,40	243,40	515,90	134,80	34,60
2008	3,00	2,10	18,10	67,50	439,80	152,80	292,60	331,00	484,90	480,40	370,70	66,50
2009	22,40	19,70	2,10	5,00	158,40	280,30	67,80	121,70	58,30	381,20	210,90	14,10

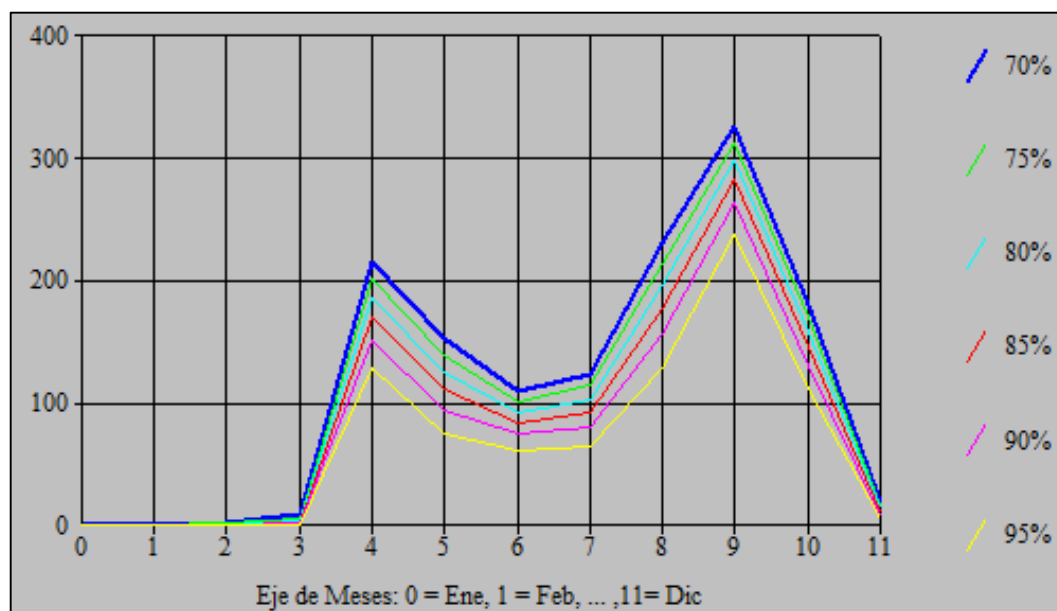
Fuente: IMN (2013).

Con la utilización del software Hidroesta, se obtienen las siguientes probabilidades de ocurrencia de las precipitaciones según el mes, lo cual se muestra en el cuadro 4.3.

Cuadro 4.3. Precipitación en mm, para una determinada probabilidad de ocurrencia.

Meses	70%	75%	80%	85%	90%	95%
Ene	1,14	0,75	0,47	0,27	0,14	0,05
Feb	1,2	0,8	0,51	0,3	0,16	0,06
Mar	2,04	1,49	1,05	0,7	0,42	0,2
Abr	9,09	6,39	4,31	2,73	1,53	0,65
May	215,2	200,74	185,78	169,75	151,53	128,06
Jun	153,45	139,49	125,43	110,82	94,83	75,28
Jul	108,99	101,04	92,88	84,18	74,39	61,94
Ago	124,21	113,87	103,36	92,33	80,11	64,92
Sep	230,24	213,11	195,52	176,84	155,86	129,25
Oct	326,19	312,73	298,39	282,5	263,71	238,14
Nov	181,31	169,86	157,96	145,14	130,47	114,42
Dic	19,99	16,55	13,42	10,5	7,71	4,89

De este modo, el cuadro 4.3, denota las probabilidades de que los eventos mensuales sean igualados o superados. La gráfica de estas probabilidades, se muestran en la figura 4.2.



HIDROESTA

Figura 4.2. Curvas de Variación estacional de las precipitaciones.

De esta manera, si se quiere determinar la probabilidad de ocurrencia de un evento mensual de precipitaciones, utilizando el cuadro 4.3 o la figura 4.2, se puede determinar para un rango entre el 70 – 95% de probabilidad de ocurrencia de un determinado evento.

4.3 Problemáticas

A continuación, se indican dos problemáticas que afectan a la empresa, la primera es el caso de las inundaciones y la segunda, la parte de cosecha de aguas de lluvia.

4.3.1 Inundaciones

Se posee este problema, debido a la influencia de aguas de lluvia que provienen de terrenos aledaños y generan un aporte importante de aguas a las inundaciones. Y la otra causa, es debido a que el sistema de evacuación de excesos del reservorio del 34 no funciona correctamente, esto implica que al llenarse el reservorio del 34, se inunden 3 invernaderos, esto ante la no posibilidad de evacuar estas aguas. En la figura 4.3, se muestran los invernaderos afectados parcialmente, los cuales son los invernaderos 33, 34 y 41; el detalle del área inundada se muestra en el cuadro 4.4.

Cuadro 4.4 Detalle del área afectada por la inundación.

Invernadero	Área Bruta (m2)	Área Inundada (m2)	%
33	7603	648	9
34	6154	3.672	60
41	3392	2.324	69
	Total	6.644	

Fuente: Encargado labores de Cultivo.³

Según el cuadro 4.4, se inunda un área aproximada de 6.644 m² en total por los tres invernaderos. Las inundaciones de los invernaderos, según la experiencia del encargado de las

³ Nota: La determinación del área afectada en las inundaciones, se llevó a cabo mediante un recorrido de campo con la persona encargada de las labores del cultivo, la cual con su experiencia y su presencia en las ocasiones que se han presentado las inundaciones de estos invernaderos, brindó la información de las áreas que se ven afectadas por este problema.

labores del cultivo, se han dado como máximo por 10 días seguidos, en los cuales se han tenido que realizar bombeos para evacuar las aguas del reservorio.

Los efectos de estas inundaciones, generan que se imposibilite la realización de ciertas labores culturales y que algunas, en muchos casos, no se puedan realizar del todo. También se da una disminución de los rendimientos con las que se hacen dichas labores lo cual aumenta los costos de mano de obra. Las labores afectadas y los rendimientos, se muestran en el cuadro 4.5.

Cuadro 4.5. Afectación de labores y rendimientos, debido a la inundación.

Labor	Afectación
Mecanización	Se afecta directamente el rendimiento por hectárea, ya que aumenta el patinaje del tractor, aumentando riegos de atasque.
	La labor se realiza de manera menos eficiente, se produce compactación, lo cual implica una mayor dificultad para las raíces en penetrar.
	Se impide totalmente la mecanización lo cual lleva a un atraso en la planificación de cosecha.
Siembra	Se disminuyen los rendimientos de siembra, los cuales bajan hasta 1000 bulbos/hora, donde lo habitual es 1300 bulbos/hora.
	Bulbos recién sembrados, podrían salirse con excesos de agua.
	Imposibilita la siembra parcial o totalmente, generando atrasos en la planificación de la cosecha.
	Aumenta la posibilidad de generar botritis, pudrición del bulbo y enfermedades.
Fumigación	Disminuye el rendimiento de la aplicación, ya que caminar por los pasillos se vuelve difícil o imposible.
	Disminuye la uniformidad de la aplicación, ya que al caminar más despacio se aplicaría más producto por unidad de área.
	Imposibilita en algunos casos las aplicaciones, lo cual propicia la entrada de patógenos a los cultivos.
Labores de Cultivo	Se disminuyen rendimientos de labores culturales debido a la dificultad de paso. En algunos casos no se realizan labores a tiempo, lo cual repercute en el desarrollo del cultivo.
	Pérdida total del cultivo
	Hay problemas de desarrollo del cultivo, se tienen que hacer labores como "maquillar" el tallo, lo cual demanda mano de obra extra.
Cosecha	Rendimientos de corta bajan a 180 tallos/hora, donde lo habitual está entre 230 tallos/hora.
	Hojas se tornan amarillentas, pierde calidad el tallo, lo cual lo hace no ser de exportación y ser para mercado local; o en el caso más extremo pérdida total del tallo.
	El punto de corta se pierde, lo cual implica otra calidad, otro cliente y cambiar los pedidos de tallos.
Riego	No se aplica el fertirriego, lo cual repercute directamente con la nutrición y desarrollo del cultivo.
	Al inundarse, el suelo queda por partes muy húmedo, lo cual imposibilita aplicar riego y fertirriego a partes secas.

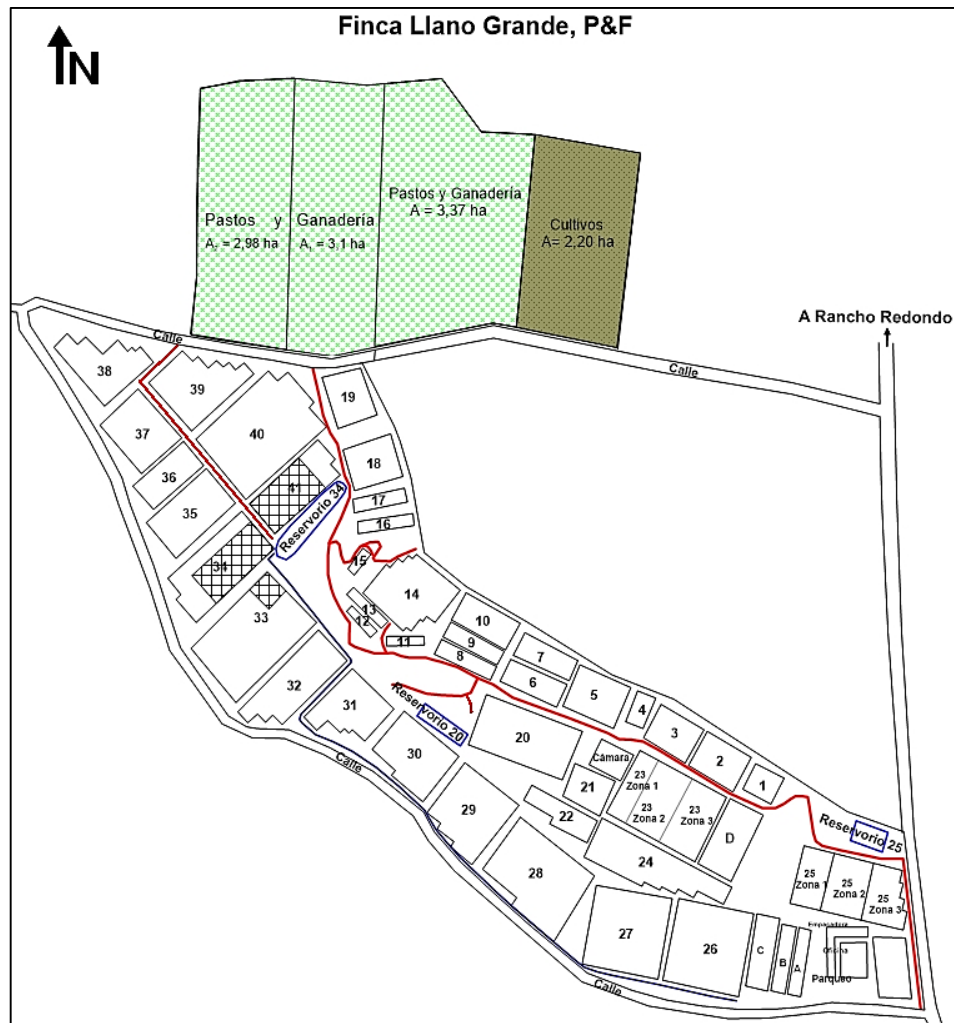
Fuente: Justificación del proyecto ante la empresa⁴

⁴ Previo al inicio del proyecto, se realizó una justificación del proyecto ante la gerencia de la empresa, la cual como objetivos se pretendían el conocimiento previo de las actividades en la finca, rendimientos, labores culturales mediante una corta fase de entrenamiento, para poder llevar a cabo dicha justificación.

De esta manera, para evitar la inundación de esta área afectada, se procederá a bloquear las aguas que ingresan a la finca proveniente de otros terrenos y además de mejorar el sistema actual de evacuación de excesos del reservorio en conflicto. Esto se desarrolla a continuación.

4.3.1.1 Canal Guardia

El área que influye en las inundaciones generadas en el reservorio del 34 y los invernaderos afectados por esta inundación se muestra en la figura 4.3.



SURFER

Figura 4.3. Área de influencia y afectación de la inundación.

Como se muestra en la figura 4.3, se observa que el área total que influye en las inundaciones es de 11,65 hectáreas, distribuidas en 2,20 hectáreas dedicadas a los cultivos

mencionados anteriormente y el restante 9,45 hectáreas al uso de pastos y ganadería. Directamente, aportan a la inundación 6,08 hectáreas de pastos (2,98 + 3,31 ha), esto debido a que la restante área (2,20 + 3,37 ha), no genera un aporte de aguas al reservorio del 34, debido a un bordo presente en la calle que desvía dichas aguas y evita el ingreso. La influencia de las 6,08 hectáreas de pasto, se da debido a la presencia de un canal ubicado al costado de la calle, el cual recolecta estas aguas, pero dicho canal por su pendiente, dirige las aguas hacia la finca en la cual ingresan y llegan hasta el reservorio del 34.

Además, se planteó la hipótesis de que las aguas de estos terrenos podrían venir con patógenos, los cuales puedan afectar al cultivo del lirio ya que los cultivos que se producen en la zona, tienen en común algunas de las enfermedades y nemátodos que el cultivo del lirio, esto se muestra en los Anexos 1 y 2.

Debido a estas razones, una de las maneras de evitar que esto suceda, será con la construcción de un canal guardia al costado de la calle.

Se realizó un análisis fitopatológico de las aguas provenientes de estos terrenos aledaños, esto para ver con qué tipo de hongos y nemátodos entran las aguas hasta el reservorio. Dichos resultados de este análisis se muestran en el Anexo 3.

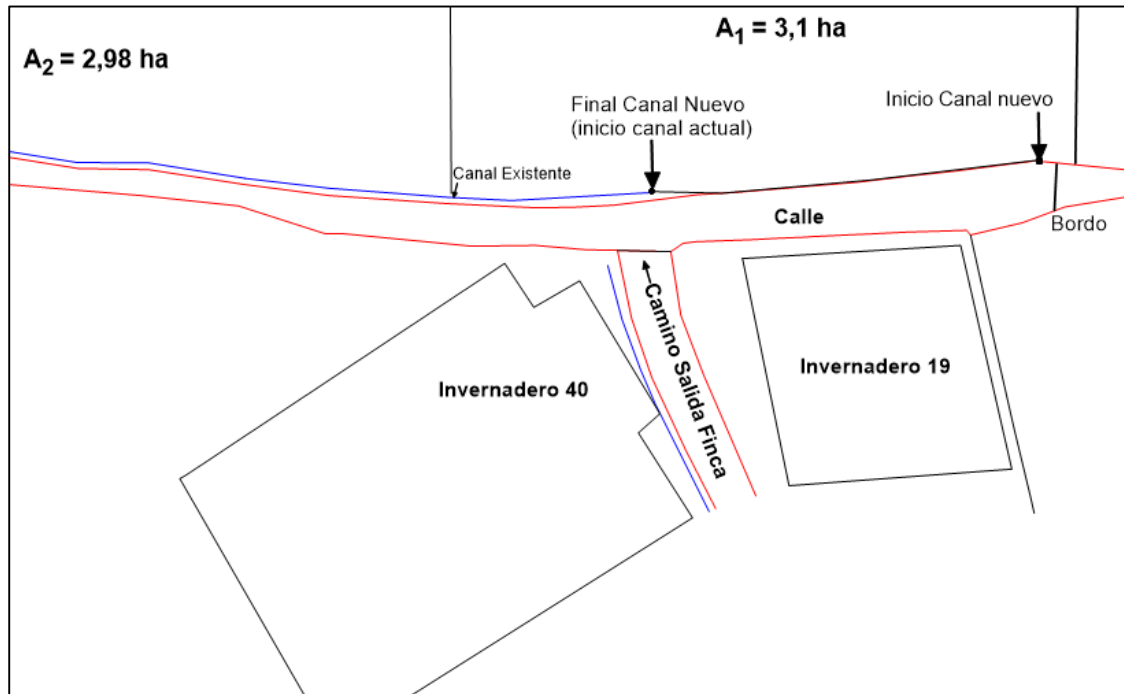
Este análisis, dio como resultado la no presencia de los hongos y nemátodos mencionados en la revisión bibliográfica que afectan al cultivo del lirio, pero al existir una entrada de aguas provenientes de otros terrenos, deja la expectativa de que en cualquier momento que los suelos de los terrenos aledaños posean alguna enfermedad o nematodo, estas podrían ingresar a finca por medio de las aguas entrantes y ser propagadas por el terreno, ya que tienen un medio de acceso hasta el reservorio.

4.3.1.2 Diseño del Canal Guardia

Este canal guardia, consta de un tramo de construcción nueva y otro en el cual hay un canal existente al cual se deben de modificar sus dimensiones y pendiente para poder evacuar las aguas de lluvia. Esta situación se muestra en la figura 4.4.

Como se muestra en la figura 4.4, el primer tramo del canal guardia será construido nuevo y tendrá un área de influencia de 3,1 hectáreas de suelo con pastos. El segundo tramo de

este canal guardia, iniciará en el canal actual que está en la calle y tendrá como influencia un área de 2,98 hectáreas. El sentido del movimiento de las aguas en el canal será de derecha a izquierda, según la figura 4.4.



SURFER

Figura 4.4. Ubicación canal guardia.

De este modo, se determinará el tiempo de concentración, intensidad máxima para un periodo de retorno de 5 años, y caudal máximo, con las ecuaciones 27, 17 y 1. Los resultados obtenidos se resumen en el cuadro 4.6.

Cuadro 4.6. Resumen valores obtenidos para el diseño de canal guardia para sus 2 tramos.

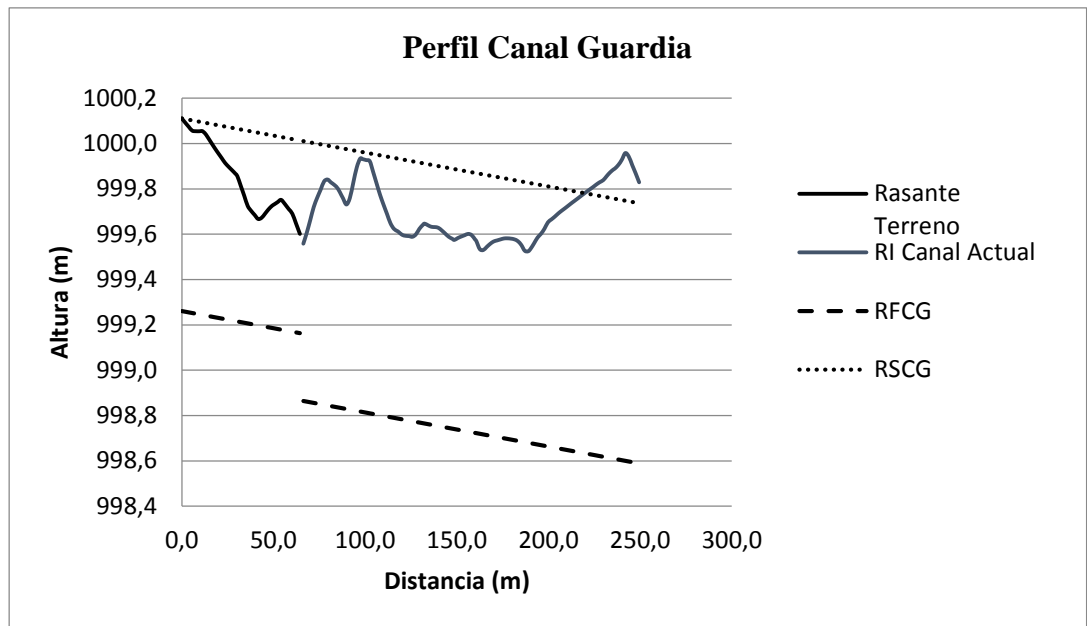
Tramo 1	Tramo 2.
tc = 5 min; con L = 385,74 m y Δh = 33,21 m	tc = 5,1 min; con L = 413,97 m y Δh = 37,781 m
I_{max} = 297,10 mm/h	I_{max} = 292,72 mm/h
C = 0,20 ; con S = 12%	C = 0,15; con S = 10%
Q_{max} = 0,5117 m³/s	Q_{max} = 0,3635 m³/s = 0,8752 m³/s

El canal en el tramo 1, posee una longitud de 65 m y en el tramo 2 posee una longitud de 185 m. De este modo, siguiendo las recomendaciones para el diseño de canales y considerando que la calle donde se va a realizar dicho canal es angosta, de 6 metros en promedio, se tienen las siguientes dimensiones para los tramos del canal guardia, mostrados en el cuadro 4.7.

Cuadro 4.7. Parámetros hidráulicos y dimensiones de los tramos del canal guardia.

Tramo 1	Tramo 2
Q = 0,5117 m ³ /s	Q = 0,8752 m ³ /s
b = 0,75 m	b = 0,75 m
Z = 0,5	Z ₁ = 0 ; Z ₂ = 1
n = 0,025	n = 0,025
S = 1,5 ‰	S = 1,5 ‰
Se tienen los siguientes parámetros hidráulicos	
y = 0,6562 m	y = 0,8891 m
T = 1,4062 m	T = 1,6391 m
V = 0,7223 m/s	V = 0,824 m/s
A = 0,7074 m ²	A = 1,0622 m ²
H = 0,85 m	H = 1,15 m
F = 0,3256	F = 0,3268
Volumen Excavado Total Aproximado (+30%) = 200 m ³	

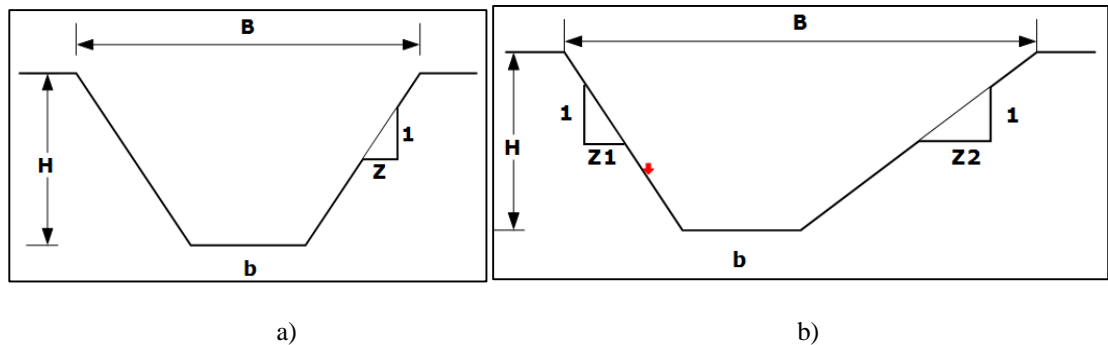
En ambos tramos del canal, se tomó la decisión de usar pequeños taludes, esto con el fin de no ampliar mucho la boca del canal para no quitar espacio disponible para el tránsito de vehículos, esto principalmente en el tramo 2 y no influye en la caída de las paredes debido a que el camino es de piedra y lastre, y no directamente de tierra. Además, se tiene el perfil del terreno y del canal, mostrados en la figura 4.6.



EXCELL

Figura 4.5. Perfil del canal guardia, rasante inferior del canal y perfil del terreno.

Así, los tramos del canal guardia, tendrán la siguiente sección transversal, mostrada en la siguiente figura 4.6.



SKETCHUP.

Figura 4.6. a) Sección tramo 1 canal guardia; b) sección tramo 2.

De esta manera, con la construcción del canal guardia, en sus dos tramos, se evitará el ingreso de aguas al reservorio del 34, las cuales influyen en las inundaciones y también son un medio de transporte de hongos y nemátodos que pueden afectar al cultivo y perjudicarlo.

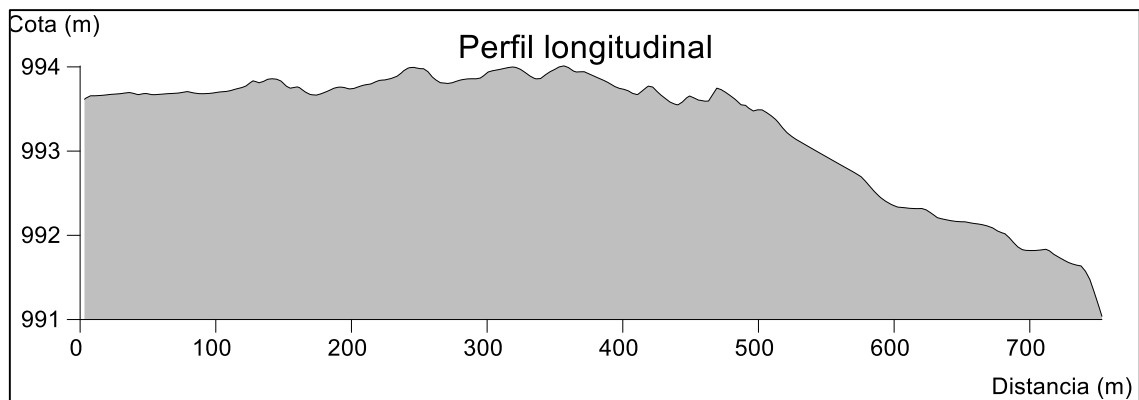
Los costos de la construcción de este canal guardia, se indican en el Anexo 19.

4.3.1.3. Canal Evacuación de Excesos del Reservorio del 34

Este canal de evacuación del reservorio del 34, es el encargado de evacuar los excesos que se generan en dicho reservorio, trasladándolos desde este reservorio por el lindero sur de la finca, hasta llevarlos a la salida con la calle y en este punto las aguas van dirigidas hacia un río cercano. A continuación, se muestra el levantamiento topográfico realizado para la evaluación de este sistema de evacuación de excesos.

4.3.1.4. Levantamiento Topográfico

Se tiene el levantamiento de la rasante inferior del canal encargado de evacuar los excesos de aguas del reservorio del 34 y de recolectar aguas provenientes de invernaderos que sus aguas evacuan en este canal. El perfil longitudinal de dicho canal, desde su inicio hasta fin, se muestra en la figura 4.7.



SURFER

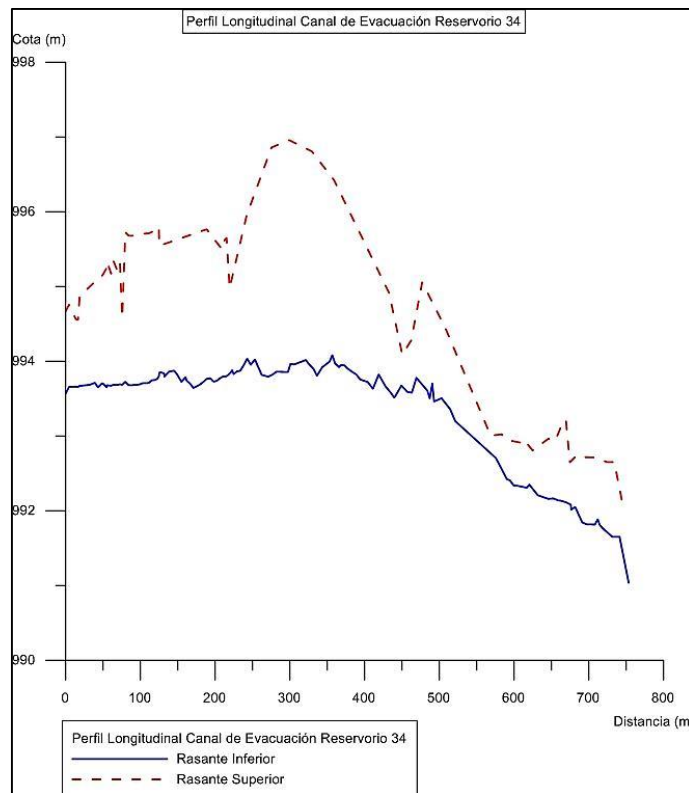
Figura 4.7. Perfil longitudinal del canal de evacuación de excesos actual del reservorio del 34.

Este canal posee una longitud de 753,22 metros. Como se indica en esta figura, la rasante inferior del canal es muy irregular, con aumentos y decrementos en sus cotas a lo largo de este. También, al momento de realizar el levantamiento, se obtuvieron las mediciones de parámetros hidráulicos como ancho de solera (b), profundidad (H) y boca (B) del canal. Esta información recopilada, se muestra en el Anexo 10.

Este es un canal de secciones transversales variables, pendiente variable, construido en un suelo franco arenoso, sin revestimiento, con la presencia de pastos a sus paredes lo cual ha

generado que las paredes del canal no se derrumben con el pasar del tiempo. Dicho canal, fue construido entre el año 2007 y 2008, sin ningún estudio previo, con una excavadora utilizada en cultivos de banano para los sistemas de drenaje. Su trazo y construcción, fue realizado al “ojo”, según lo comentado por el gerente de producción de la empresa Ingeniero Juan Pablo Villalobos.

Utilizando las dimensiones medidas a lo largo del canal, se presenta en la figura 4.7, las rasantes superior e inferior del canal.



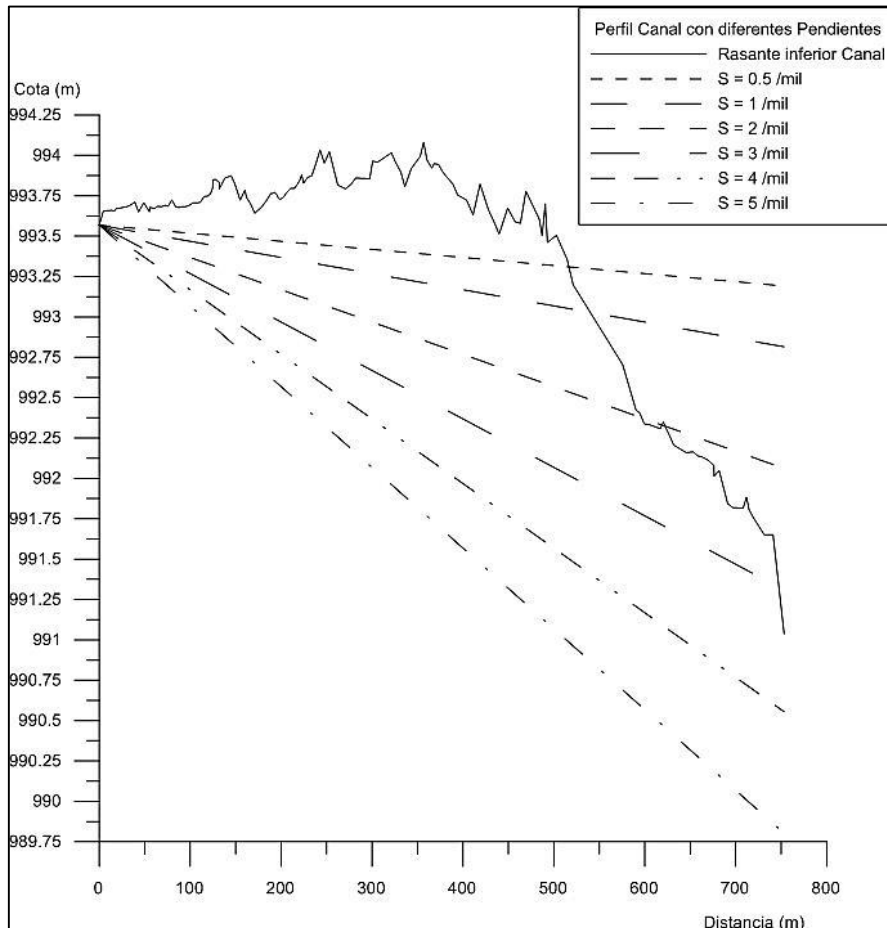
GRAPHER

Figura 4.8. Rasantes superior e inferior del canal de evacuación de excesos del reservorio del 34.

Según la figura 4.7, se observa como la pendiente del canal no es uniforme, no facilita la salida del agua, al contrario, genera un ingreso de las aguas debido a su pendiente adversa (negativa), la cual termina a los 356,85 m a partir del inicio de este canal, punto en el cual posee una cota de 994,079 m, que es mayor que la cota de inicio del canal que es 993,568 m. Esta situación hace que el agua deba de sobrepasar una altura de 0,511 m antes de empezar la

evacuación del reservorio, lo que genera un aumento en el nivel del reservorio y propicia las inundaciones de los invernaderos 33, 34 y 41.

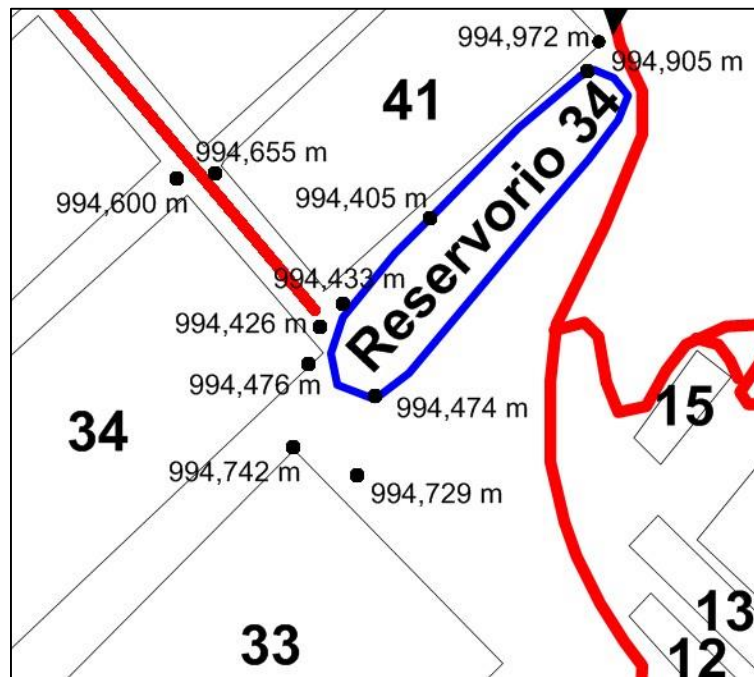
A continuación, en la figura 4.9 se presentan diferentes pendientes versus el perfil actual de la rasante inferior del canal de evacuación de excesos.



GRAPHER

Figura 4.9. Posibles Pendientes para el canal de evacuación de excesos.

En la figura 4.10, las cotas del bordo del reservorio están entre 994,405 m, 994,433 m y 994,474 m; y las cotas de los invernaderos 33, 34 y 41 son un poco más altas que dicho bordo. Esto se debe a que el reservorio por su ubicación está en el punto más bajo de esa zona, lo que genera que al rebalsarse, las aguas ingresen a los invernaderos ya mencionados, debido al incorrecto funcionamiento del canal de evacuación del reservorio.



SURFER

Figura 4.10. Cotas cercanas al reservorio del 34.

Este reservorio del 34, posee un área de abastecimiento de 4,2176 hectáreas de recolección de aguas provenientes de los techos de los invernaderos y un área de 1,07 hectáreas de pastos, los cuales están entre los invernaderos y ciertas zonas verdes.

De este modo, utilizando el método racional (ecuación 1) para determinar el caudal máximo, con una intensidad máxima (ecuación 17) para un periodo de retorno de 5 años y tiempo de concentración y un coeficiente de escorrentía ponderado (ecuaciones 26 y 27), se tienen los siguientes resultados.

$$T_c = 5,96 \text{ min; para } L=263,625 \text{ m y } \Delta h = 6,437 \text{ m.}$$

$$I_{\max} = 260,5927 \text{ mm/h; para } T = 5 \text{ años y } D = T_c.$$

$$C_{\text{pond}} = 0,748$$

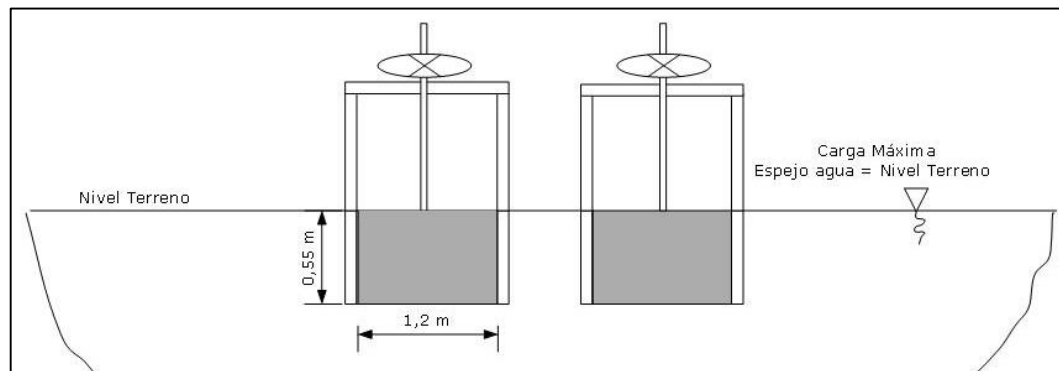
$$Q_{\max} = 2,863 \text{ m}^3/\text{s}$$

Este caudal máximo, se daría para un periodo de retorno de 5 años. El reservorio, tiene un efecto amortiguador, el cual hace que aunque ingresen $2,863 \text{ m}^3/\text{s}$ teóricamente, no salga esta misma cantidad de agua en un momento dado; si no que incremente el nivel del agua poco a

poco y salga una determinada cantidad de agua, la cual estará medida por la capacidad del vertedero de demasías que se posea en este caso.

Actualmente, el vertedero rectangular de demasías que posee el reservorio, tiene dimensiones de 83 cm de base y 88 cm de altura. Estas dimensiones permitirían un caudal de $0,9935 \text{ m}^3/\text{s}$, pero esto no se da, ya que la cota del borde del terreno es de 994,124 m y el punto de salida del vertedero es de 993,696 m, lo cual le da solamente una carga máxima al vertedero de 0,428 m, lo cual le permitiría evacuar solamente $0,337 \text{ m}^3/\text{s}$.

El inicio del canal de evacuación, posee una cota de 993,568 m, esto quiere decir, que la máxima carga posible que se puede dar al vertedero de demasías, será la diferencia entre el borde del terreno y el inicio del canal de evacuación, la cual es de 0,556 m. Si se quiere dar una mayor carga al vertedero, se tendría que profundizar el canal desde su inicio, lo cual en los 753,22 m de longitud, implicaría un aumento en los costos de excavación y movimiento de tierras. Debido a esto, se propone un re diseño del vertedero de demasías, el cual tendría las siguientes dimensiones:



SKETCHUP

Figura 4.11. Vertederos rectangulares de demasías con compuertas.

Así, en la figura 4.11, se indica el sistema de evacuación de excesos del reservorio del 34. El cual posee dos vertederos rectangulares de demasías, de 1,2 m de longitud y que tendrían una carga máxima de 0,55 m. esta situación, permitiría la evacuación de $0,979 \text{ m}^3/\text{s}$, lo cual equivale a un 35 % del caudal máximo obtenido. Estos vertederos, poseen compuertas móviles, esto para realizar un mayor almacenamiento de aguas, previo a la época seca para mantener el

reservorio con una mayor capacidad hidráulica. En un tramo de 5 m de longitud, estarían dichos vertederos, saliendo estas aguas directamente hacia el canal de evacuación. En este tramo de los vertederos, se tiene un canal revestido en concreto, con unas dimensiones de 1 metro de ancho de solera y 1,1 metros de profundidad, de sección rectangular.

Por otra parte, como se observa en la figura 4.9, la cual muestra las diferentes pendientes posibles que se le pueden dar al canal y el perfil del terreno; en la cual se opta por rectificar la pendiente de este canal con una $S = 1\%$. Esto debido, a que pendientes mayores en este suelo franco, generarían problemas de erosión y pendientes más bajas, generarían una mayor acumulación de sedimentos en el canal.

De esta manera, con el caudal a evacuar del reservorio y con la pendiente requerida por el canal, se procedió a determinar, si las condiciones hidráulicas del canal en sus diferentes tramos, con el cambio de pendiente son suficientes para transportar el caudal evacuado del reservorio y los aportes que se van dando a lo largo de este por parte de los invernaderos. Utilizando el software Hcanales, para los puntos que se midieron las dimensiones del canal, se tienen las siguientes capacidades del canal por tramos, lo cual se muestra en el cuadro 4.8.

Cuadro 4.8. Capacidades máximas por tramos del canal de evacuación del reservorio del 34.

Punto	H (m)	H (m) con cortes S	Q max (m ³ /s)
162	1,1	1,19	0,4678
165	0,9	1,01	0,2985
166	1,2	1,32	0,4036
167	2	2,15	0,9378
168	1,45	1,58	0,567
170	1,6	1,74	0,969
172	1,5	1,66	0,6277
174	1,55	1,73	0,47
175	1,65	1,85	0,5277
183	0,9	1,09	0,3376
184	2	2,24	1,1966
188	2	2,20	1,1524
191	2	2,22	1,1744
194	2	2,25	1,2079
197	2,1	2,42	1,4732
199	2	2,33	1,3522
204	2	2,39	1,2375
214	1,7	2,14	1,7504
224	1,8	2,27	1,7847
227	1,15	1,63	1,177
232	2	2,63	1,6611
240	3	3,57	3,1843
245	3	3,77	3,6394
248	3	3,57	3,5883
266	3	3,39	2,618
266-1	1,4	1,79	0,6944
269	0,5	1,58	1,6358
272	0,5	1,78	1,6626
273	1,45	1,97	1,6871
280	1,1	1,40	1,002
282	0,9	1,34	0,7386

En el cuadro 4.8, se muestran aspectos importantes de la capacidad hidráulica del canal. Se observa, que entre el tramo del punto 162 hasta el 183, el canal no posee las dimensiones necesarias para poder transportar el caudal evacuado del reservorio del 34.

También se observa, como entre los puntos 184 hasta el 266, el canal cuenta con una capacidad hidráulica suficiente, la cual le permite transportar lo evacuado del reservorio y lo que se va agregando debido a la recolección de aguas de invernaderos. Utilizando el método

racional, tiempo de concentración con la ecuación de Kirpich y la intensidad máxima obtenida, para el estudio entre el punto 162 y el 266, se tienen los siguientes valores:

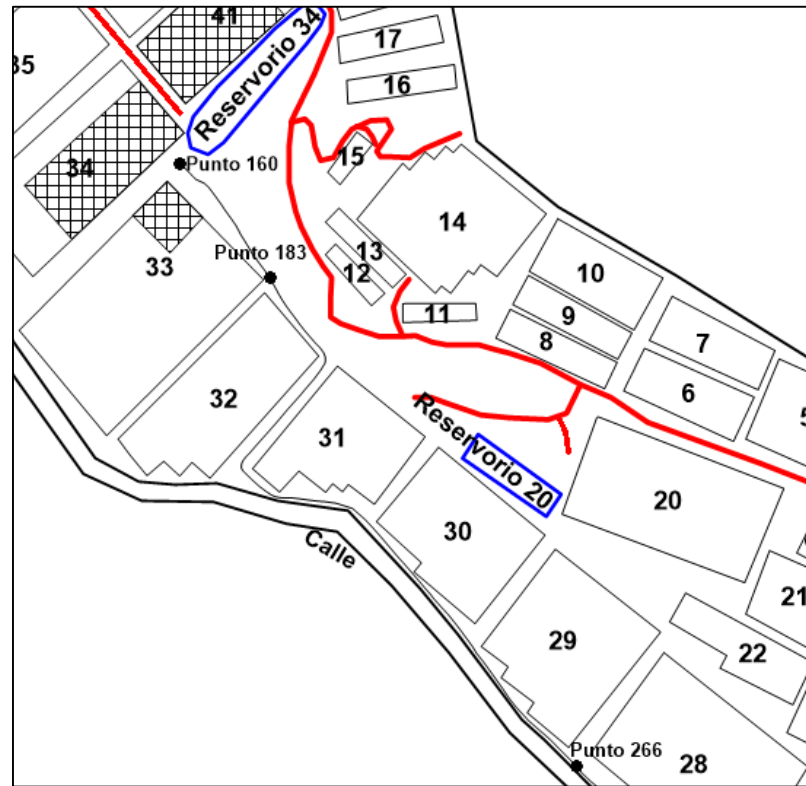
$$\left. \begin{array}{l} T_c = 30,72 \text{ min; con } L_{162-266} = 440 \text{ m y } \Delta h_{162-266} = 0,44 \text{ m} \\ I_{\text{max}} = 77,5 \text{ mm/h} \\ A = 4,7868 \text{ ha y } C = 0,90 \end{array} \right\} Q = 0,927 \text{ m}^3/\text{s}$$

Este tramo posee una longitud de 363 m, en los cuales con sus dimensiones actuales, dará abasto el canal para evacuar dicho caudal ya mencionado, desde el inicio del canal, se tiene que este punto está ubicado a los 440 m del inicio del canal.

Como se muestra en la figura 4.9, al darle una pendiente del 1‰ al canal, se tiene que realizar cortes en su rasante inferior hasta los 540 m de longitud del canal, esto desde el inicio de este.

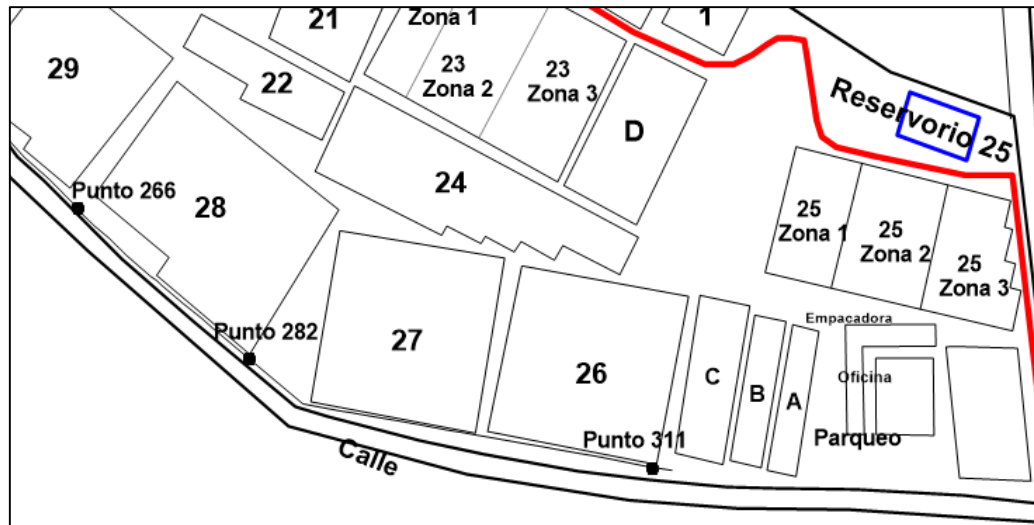
A partir del punto 266, hasta el punto 311, se tienen que las condiciones hidráulicas del canal, no son las suficientes para transportar dicho caudal, esto debido a que posee dimensiones muy variables (ver Anexo10) y además, que entre el tramo entre los puntos 282 y 311, posee una pendiente actual del 7‰ aproximadamente, la cual la convierte en una pendiente erosiva para un canal sin revestir en tierra.

Esto se debe a que al final del canal (ver punto 311), utilizando el método racional, se tiene una llegada de un caudal máximo de $1,72 \text{ m}^3/\text{s}$ (véase obras aprovechamiento de aguas del reservorio 25, en el cual se obtiene dicho caudal). Estos puntos mencionados se muestran en las figuras 4.12 y 4.13.



SURFER

Figura 4.12. Ubicación de los puntos 160, 183 y 266.



SURFER

Figura 4.13. Ubicación de los puntos 266, 282 y 311.

De esta manera, en el cuadro 4.9, se resumen las acciones tomadas para cada uno de los tramos ya explicados.

Cuadro 4.9 Acciones tomadas por tramos del canal.

L (m)	b (m)	Z
0 - 77	0,7	0,25
77 - 440	Igual	Igual
440 - 753	1	0,3

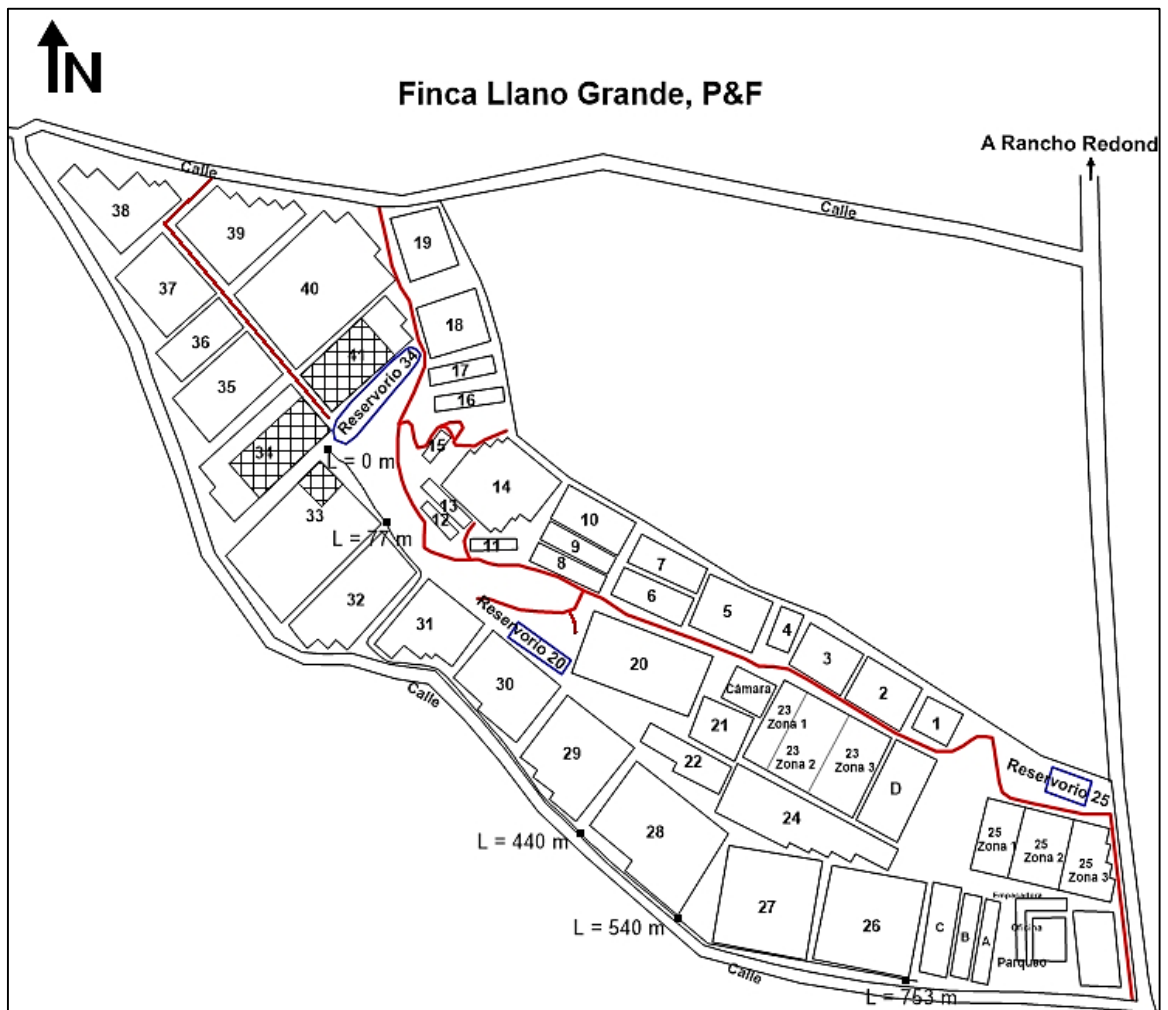
Según este cuadro, para obtener las dimensiones adecuadas del canal, entre los 0 y 77 m del inicio del canal, se deben de cumplir con un ancho de solera de 0,7 m y con un talud de 0,25. Entre las distancias en el canal de 77 – 440 m, las condiciones actuales del canal son suficientes para poder evacuar los excesos de aguas. Y entre el tramo de 440 – 753 m de longitud, se deben de cambiar las dimensiones del canal a un ancho de solera de 1 m y un talud de 0,3. Por otro lado, para poder tener una pendiente adecuada del canal, la recaba del fondo de este deberá desarrollarse hasta los 540 m desde el inicio del canal. Esta situación se denota en la figura 4.14.

Al realizarse estas acciones, se obtendría como resultado, las siguientes capacidades hidráulicas del canal, según lo mencionado anteriormente, lo cual se muestran en el cuadro 4.10.

Cuadro 4.10. Capacidades del canal, según el tramo requerido.

Puntos	Q (m³/s)
162 - 183	0,99
183 - 266	1,5
266 - 311	2,0

Entre los puntos 266 y 311, se tiene esta capacidad máxima de evacuación de 2,0 m³/s mínimo, para un revestimiento de plástico. Para otro material de revestimiento como el concreto, se tiene que la capacidad máxima en este tramo es de 1,955 m³/s. Lo cual indica, que ambos revestimientos en este tramo, tienen la capacidad de transportar el caudal mencionado anteriormente y además, evitan que se erosione el suelo.



SURFER

Figura 4.14. Longitudes a lo largo del canal.

Cabe recalcar, que los taludes utilizados son pequeños, esto debido a que el espacio en ciertos tramos entre invernadero y paredón, o árboles (como lo es desde los 540 hasta los 753 m), imposibilita la apertura de los taludes, debido a que afectaría las bases de los invernaderos, puntos de soporte de los cables tensores y por otra parte, árboles que se encuentran en el lindero de la finca, en una distancia de 233 m, que habría que deforestar.

Otro punto importante por recalcar, es la presencia de pastos en las paredes del canal, lo cual ha permitido que, a pesar de los taludes tan pequeños que se tienen, las paredes y el fondo del canal se han mantenido a lo largo del tiempo, evitando su socavación y erosión.

Los cambios mencionados anteriormente, se realizarán mediante paleros⁵, ya que es la opción técnicamente más viable, esto debido a que el ingreso de la maquinaria pesada, como excavadoras, complica la situación para el trabajo en muchos ámbitos. Las razones por las cuales se escogen los paleros y no el uso de maquinaria se enuncian a continuación:

- En el trayecto del canal, se deben de quitar las tensoras de los invernaderos y de las canoas. Esto implica que se debe de buscar un punto de soporte provisional para estas tensoras, lo cual no es sencillo por el espacio limitado entre invernaderos para el paso de la maquinaria, ver Anexo 11.
- Parte del canal pasa por el lindero de la finca, lo cual implicaría quitar las cercas y hacerlas nuevas completamente, para dar paso a la maquinaria.
- Al entrar maquinaria pesada y apoyarse en suelo cercano al canal, el peso de esta maquinaria afectaría probablemente las paredes del canal, haciendo que se pierda la consistencia de las paredes y generen su caída posterior.
- En el tramo mencionado con árboles en el lindero, se tendría que talarlos lo cual demandaría un costo adicional, además no cumple con el compromiso ambiental que tiene la empresa con la norma RainForest.⁶
- Hay afectación de las bases de los invernaderos, ya que estas estas muy cercanas al canal, por lo que, un uso de maquinaria implicaría cambios estructurales en los invernaderos, ver Anexo 12.
- Se deben de sustituir las bases de anclaje de los cables tensores.
- Estéticamente, no afecta las zonas verdes empleadas entre los invernaderos, las cuales se preservan para conservar el suelo.

Por estas situaciones, se ha descartado la posibilidad de utilizar maquinaria pesada para realizar esta labor. Por otro lado, lo positivo de utilizar “paleros”, se menciona a continuación:

⁵ Personas utilizadas en trabajos de limpieza y rectificación de canales, muy común en la zona caribe del país.

⁶ RainForest, es una norma internacional, que mide el cumplimiento de los diez principios de la agricultura sostenible: 1. Implementar un sistema de gestión social y ambiental 2. Conservar los ecosistemas 3. Proteger la vida silvestre 4. Conservar los recursos hídricos. 5. Asegurar buenas condiciones para los trabajadores. 6. Tomar medidas para la salud y seguridad ocupacional. 7. Mantener buenas relaciones con las comunidades 8. Implementar un manejo integrado del cultivo. 9. Tomar medidas para la conservación del suelo. 10. Adoptar un manejo integrado de desechos

- No repercute el trabajo realizado sobre las paredes del canal, debido a que no hay una carga significativa sobre estas.
- Las bases en las cuales están las tensoras, no se ven afectadas. No hay necesidad de quitarlas, de igual manera sucede con la cerca del lindero.
- Presentan una mayor accesibilidad a lugares estrechos, su trabajo no afectaría bases ni área de los invernaderos, a pesar al espacio limitado.

De esta manera, se estaría resolviendo el problema de la evacuación de los excesos del reservorio del 34, mediante la construcción del canal guardia y el rediseño del canal actual de evacuación de excesos.

Los materiales requeridos para el desarrollo de esta parte del proyecto y así como su costo, se muestran en el Anexo 19.

4.3.2. Cosecha de Aguas

La falta de agua, afecta actividades como riego, fertirriego, fumigación, el desarrollo del cultivo y la cosecha. Al igual que lo mencionado en el cuadro 4.4, se tiene el cuadro 4.11, en el cual se aprecia la afectación de la falta de agua en estas actividades.

Cuadro 4.11. Afectación de labores y rendimientos, debido a la falta de agua disponible

Labor	Afectación
Fumigación	Se limita el abastecimiento para realizar esta labor.
	Se aplica mayor cantidad de fertilizantes foliares por este método, ante la disminución de efectuar el fertirriego
Cosecha	Capacidad de trabajar disminuya, rendimientos bajan a 180 tallos/hora, donde lo habitual está entre 230 tallos/hora. Debido a que el tallo no se hace cortado, si no arrancado para aprovechar el máximo largo posible.
	La calidad del tallo disminuye, el tallo crece delgado, débil, presenta Amarillamiento foliar, se desecha el producto.
Riego	Se dificulta la aplicación del riego y fertirriego.
	Su incidencia se da directamente con el crecimiento y el desarrollo de la planta, ya que las raíces son las encargadas de la absorción de aguas y nutrientes y la fertilización foliar debería ser más intensa y frecuente para aportar los mismos recursos a la planta.

Estos aspectos, al igual que en el caso de las inundaciones, se determinaron mediante una justificación ante la gerencia de la empresa, en la cual por medio de recorridos de campo con los encargados de estas áreas, se determinaron estas labores afectadas.

4.3.2.1. Situación Actual

El detalle de los invernaderos utilizados para la captación de aguas dirigidas hacia un determinado reservorio y de las aguas que no son aprovechadas del todo para su posterior uso, se denota en la figura 4.15.



SURFER

Figura 4.15. Aguas aprovechadas y no recolectadas de los invernaderos.

En esta figura 4.15, se aprecia el área que se está recolectando para abastecer un determinado reservorio y la no aprovechable actualmente. También muestra la recolección de aguas por medio de canales hasta los reservorios y la distribución actual de áreas por reservorio, esto según el color mostrado.

El reservorio del 34, posee un abastecimiento por parte de 16 invernaderos que sus aguas van dirigidas hacia este, al reservorio del 20 solamente generan un aporte 5 invernaderos y hacia el reservorio del 25 contribuyen en su abastecimiento 9 invernaderos, esta situación se muestran en las figuras 4.16, 4.17 a y b.



SURFER

Figura 4.16. Distribución de aguas hacia el reservorio del 34, en verde oscuro.

En la figura 4.17 a), la situación para el reservorio del 20, que tiene a los invernaderos 6 y 7, los cuales la mitad del área aporta hacia el reservorio del 20 y la otra mitad hacia el reservorio del 25.

En estas figuras 4.16, 4.17 a) y 4.17 b), se muestran como en las intersecciones existen cajas de registro pluviales, en la cuales se juntan las aguas provenientes de los diferentes canales que recolectan aguas de los invernaderos.



a)

b)

SURFER

Figura 4.17. a) Distribución de aguas hacia el reservorio del 20, en verde claro. b) Distribución de aguas hacia el reservorio del 25, en celeste.

Por otra parte, en color rojo, se indican las aguas provenientes de los invernaderos de los cuales no se aprovechan estas aguas para abastecer algún reservorio, esto se muestra en la figura 4.18.

Estas áreas no aprovechadas, todas aguas no aprovechadas recorren el lindero de la finca y salen a la calle, con la excepción de las aguas provenientes de los invernaderos 18 y 19, esta situación se denota en la figura 4.3. En la figura 4.3, se muestran como aguas provenientes desde el reservorio del 34 son recolectadas, en color azul, en el trayecto las áreas no aprovechadas dirigen sus aguas hacia este canal, recorren el lindero sur de finca y salen hacia la calle que las lleva a un río cercano.

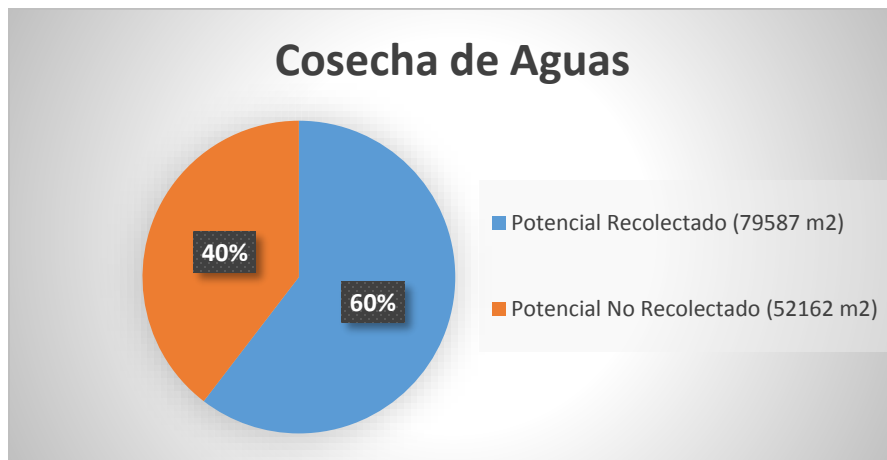
Por este potencial de aguas no aprovechado, se genera un bombeo de aguas provenientes del reservorio 34 y 25 hacia el reservorio del 20, esto para abastecerlo y que pueda irrigar su área requerida.



SURFER

Figura 4.18. Aguas no aprovechadas para su recolección, en rojo.

De esta manera, se posee un área recolectada de **79.587 m²** y una no recolectada de **52.162 m²**. De manera gráfica, se indica esta situación en la figura 4.19. En el cual se muestra el potencial recolectado y el no recolectado para la cosecha de aguas.



EXCEL

Figura 4.19. Potencial Recolectado versus Potencial No Recolectado⁷

⁷ Fuente recorrido realizado con encargados de labores del cultivo.

De este modo, las áreas que son aprovechadas por cada reservorio, en su colección y redirección hacia un determinado reservorio para su posterior uso, están distribuidas de la siguiente manera como se muestra en el cuadro 4.12. Esta distribución de las áreas, equivale al 60% del área bruta de los invernaderos.

Cuadro 4.12. Áreas de recolección, por cada reservorio de la finca.

Reservorio	Área Recolección
Reservorio 34	46.392 m ²
Reservorio 25	28.491 m ²
Reservorio 20	4.704 m ²

Por otro lado, el agua de cada reservorio, es utilizada para irrigar y fertirrigar el cultivo. De esta manera, el reservorio del 34, abastece a 13 invernaderos, el reservorio del 20 a 13 invernaderos y el reservorio del 25 proveen a 20 invernaderos. Las áreas de riego distribuidas según el reservorio que lo abastece, se muestran en el cuadro 4.13.

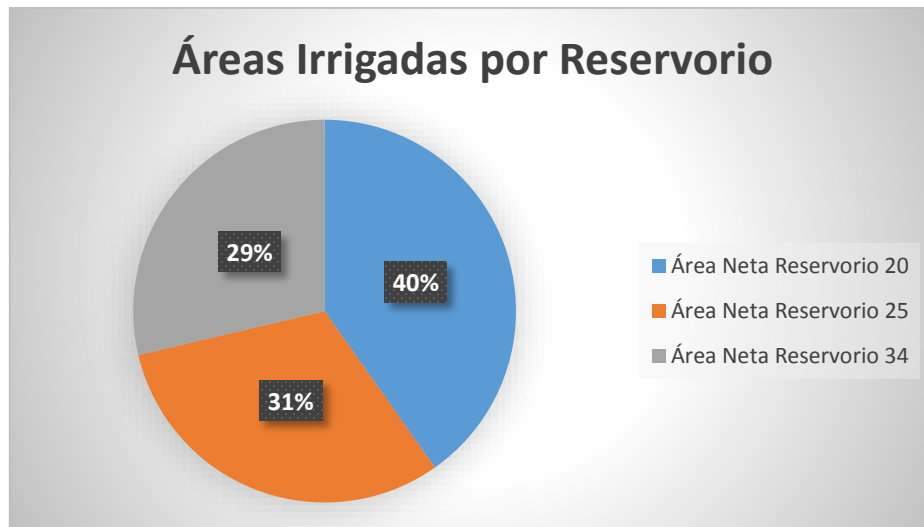
Cuadro 4.13. Distribución de las áreas irrigadas según el reservorio utilizado.

Reservorio	Área Neta Irrigada (m2)
20	37.239
25	28.771
34	26.570
Total	92.580

Fuente: Recorrido de la finca con encargados de sector.

Utilizando el cuadro 4.13, se muestra la figura 4.20, la cual indica el porcentaje irrigado del área neta de los invernaderos según el reservorio utilizado, en la cual se aprecia, como los reservorios del 34 y 25 son muy equilibrados en cuanto al área que abastecen para riego y el reservorio del 20 es el que tiene que abastecer a una mayor área para riego, pero es el que cuenta con la menor área de recolección de aguas de lluvia.

Además, una representación del área irrigada según el reservorio utilizado, se muestra en el Anexo 14.



EXCEL

Figura 4.20. Porcentajes de las Áreas irrigadas por reservoirio.

Por otra parte, el agua utilizada para la irrigación y fumigación del cultivo, es obtenida de lo almacenado con las precipitaciones. El riego aplicado utiliza, diferentes láminas y distintos métodos de aplicación. Por ejemplo, al inicio el cultivo requiere de 3 semanas de riego por aspersión, en las cuales para el lirio oriental en la primer semana se aplican 9 litros/m² diarios, en la segunda semana 6 litros/m² diarios y en la tercer semana 6 litros/m² día por medio. En el caso del lirio asiático, se aplican 9 litros/m² diarios por las tres semanas. En ciertas ocasiones, dependiendo del porcentaje de bulbos brotados, se da riego por aspersión una semana más. En el caso del fertirriego, este se inicia a partir de la quinta semana después de la siembra.

Las aplicaciones de riego, se realizan tratando de mantener el suelo ligeramente seco, por lo cual, el momento de la aplicación se da con la experiencia de los encargados de riego y no siguiendo un plan en el cual se especifique por fechas el riego; ya que esto solo se da en el caso de la siembra. Además, el agua de los reservoirios es utilizada para las fumigaciones.

De esta manera, para registros de años anteriores, se tiene que el consumo promedio anual de agua en la finca, ronda los 98.000 m³, en los cuales se incluye el riego por goteo, por aspersión y el agua utilizada para la fumigación.

La problemática tenida con el abastecimiento de las aguas, se muestra en el cuadro 4.14.

Cuadro 4.14. Necesidades de riego, para la semana del 23 de febrero al 1 de marzo del 2013.

Volumen Requerido (L / semana)		
Sector	Ideal	Ajuste
Finca Llano 1	1.426.194	1.092.465
Finca Llano 2	951.424	728.946
Finca 2	490.000	490.000
Total	2.867.618	2.311.411
Diferencia (L/sem)	-244.154	312.053

Fuente: Danny Olivares⁸.

Como se indica en el cuadro 4.14, se tiene el volumen ideal para aplicar como riego en esta semana y el ajuste que se tuvo que realizar para poder irrigar esta semana. Además, se denotan las fuentes de abastecimiento utilizadas para tal fin en esta semana, mostradas en el cuadro 4.15.

Cuadro 4.15. Fuentes de abastecimiento hídrico para la semana del 23 al 1 de marzo del 2013.

Entradas de agua	L/h	h/sem	L/sem
Captación	4.485	156	699.660
Río Felin	9.291	44	408.804
Tiribí	10.200	125	1.275.000
Agua Collado	16.000	15	240.000
Total	39.976	340	2.623.464

Fuente: Danny Olivares.

Con este cuadro, se indica la implementación de bombeo de agua del Río Felin, Tiribí y Agua Collado; y del uso de agua de una captación desde la montaña.

4.3.2.2. Determinación del Área de Recolección Necesaria

Para cumplir con la demanda anual de agua, utilizando los valores obtenidos en el cuadro 4.3 y la ecuación 9 para determinar el área de recolección necesaria, se presenta el cuadro 4.16, el cual indica el área requerida de captación para cumplir con la demanda anual antes mencionada.

⁸ Ingeniero Agrícola encargado de un sector de la finca, el cual está a cargo de la supervisión del presente proyecto

Cuadro 4.16 Áreas requeridas de captación de aguas de lluvia, según la probabilidad de ocurrencia de las precipitaciones.

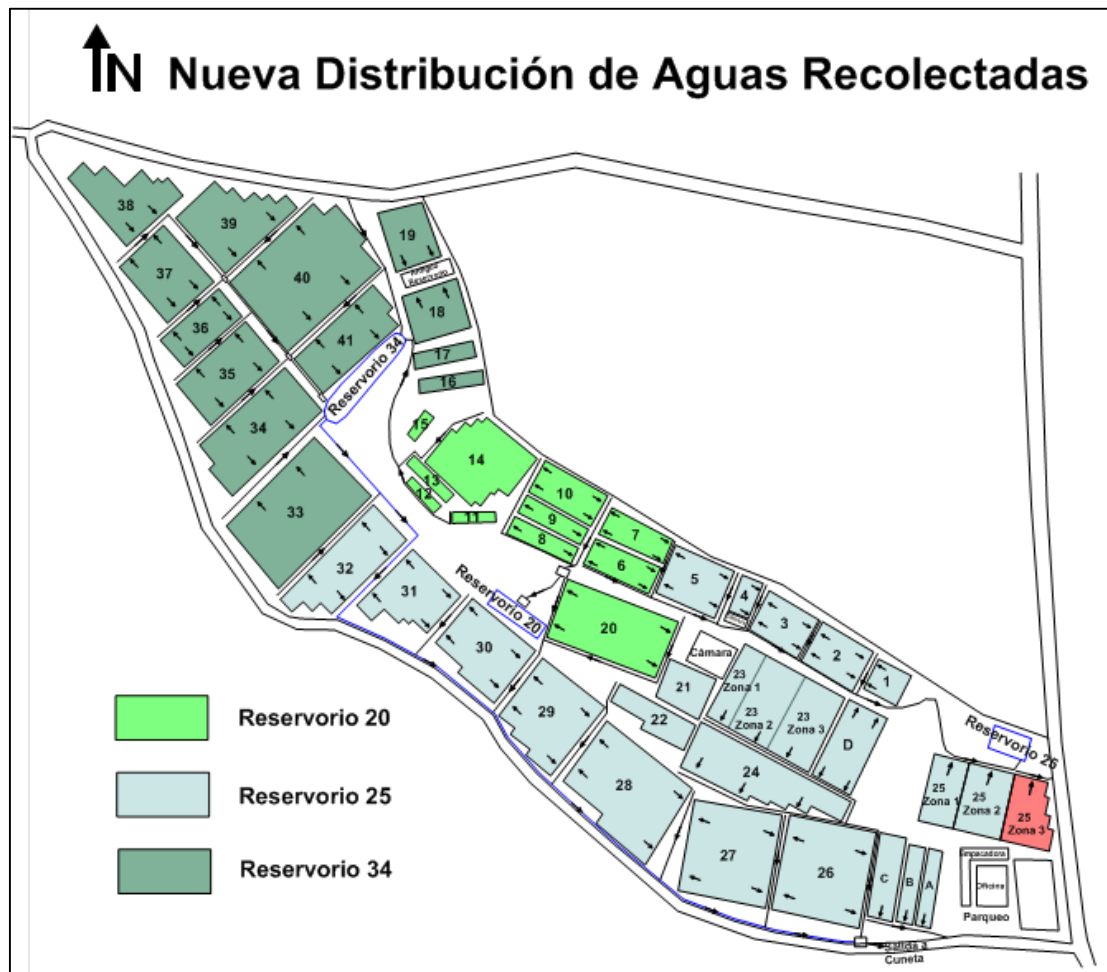
Precipitación (mm)		Área de Captación (m ²)
Anual	2.000	48.984
P(70)	1.373	71.350
P(75)	1.277	76.728
P(80)	1.179	83.088
P(85)	1.076	91.043
P(90)	961	101.958
P(95)	818	119.785

En este cuadro, inicialmente, se tiene el valor anual promedio de las precipitaciones para el periodo 1994-2008. Y en las siguientes filas, la probabilidad de precipitación anual para distintos valores desde el 70% de probabilidad hasta el 95%.

4.3.2.3. Propuestas para la Cosecha de Aguas

Se tiene una nueva distribución de las aguas de lluvia captadas por los techos de los invernaderos y trasladadas hacia un determinado reservorio, dicha nueva distribución se muestra en la figura 4.21. Esta nueva distribución de la recolección de aguas de lluvia, se determinó tratando de realizar la mayor captación de aguas de lluvia posible y dirigir las hasta un determinado reservorio, siempre y cuando las condiciones del lugar se prestaran para este fin.

En dicha figura, el color verde indica las aguas recolectadas dirigidas hacia el reservorio del 34, el celeste claro al reservorio del 25, el color verde claro al reservorio del 20 y en rojo, las aguas no aprovechadas.

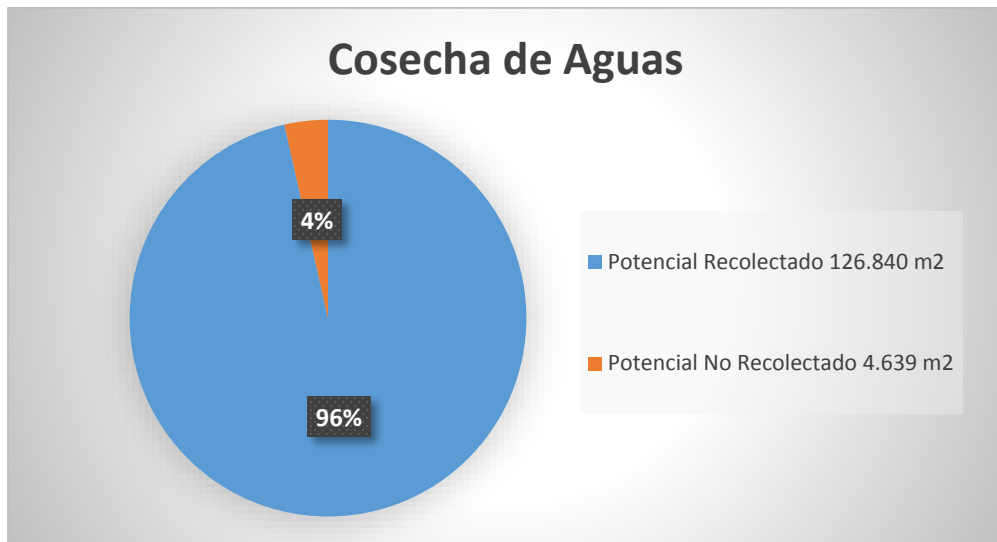


SURFER

Figura 4.21. Nueva distribución de las aguas recolectadas

Por otra parte, en comparación, la figura 4.15, la cual muestra la antigua distribución de aguas y la figura 4.21, se muestra un cambio muy considerable en el área recolectada que va dirigida hacia un reservorio, ya que en color rojo, existe una pequeña fracción de terreno que no se recolecta. En el Anexo 15, se indica la nueva distribución de áreas de colecta para cada reservorio.

De esta manera, el potencial de área aprovechado versus el potencial que se pierde, se muestra a continuación en el gráfico mostrado en la figura 4.22.



EXCEL

Figura 4.22 Potencial recolectado versus potencial no recolectado.

De este modo, al comparar el antes y el después del nuevo re-acomodo de la cosecha de aguas, se tiene que la recolección con el sistema actual es de un 60 % lo cual equivale a 79.587 m² y un potencial no recolectado de un 40 % el cual abarcaba un área de 52.162 m². Con esta propuesta, se aprovecharía el 96 % del área cubierta por invernaderos, dejando solamente un 4% del área total de la finca (4.639 m²) cubierta por invernaderos la cual no se podría aprovechar debido a su ubicación topográfica y a la dificultad para su recolección.

4.3.2.4. Volúmenes Aprovechados

Si se tiene que las precipitaciones están expresadas en mm, y que 1 mm de lluvia equivale a 1 litro/m², si se tiene que el área aprovechada bruta de los invernaderos para la recolección de aguas dirigidas hacia un determinado reservorio es de 79.587 m², actualmente, equivalente a la recolección de aguas de los techos de 30 invernaderos, se tiene el cuadro 4.17, el cual indica los posibles volúmenes de agua recolectado mensual.

Cuadro 4.17 Volúmenes recolectados de agua (m³/mes) según la probabilidad de ocurrencia mensual de un evento, para datos de precipitación de 1994 al 2009, para 79.587 m² de recolección.

Potencial Recolectado por mes, según el área de recolecta (m³/mes)						
Mes	95%	90%	85%	80%	75%	70%
Ene	3,58	10,03	19,34	33,67	53,72	81,66
Feb	4,30	11,46	21,49	36,53	57,30	85,95
Mar	14,33	30,08	50,14	75,21	106,73	146,12
Abr	46,56	109,59	195,55	308,72	457,70	651,10
May	9.172,72	10.853,84	12.158,90	13.307,11	14.378,66	15.414,41
Jun	5.392,18	6.792,51	7.937,85	8.984,34	9.991,43	10.991,36
Jul	4.436,66	5.328,43	6.029,67	6.652,84	7.237,32	7.806,77
Ago	4.650,11	5.738,14	6.613,44	7.403,50	8.156,31	8.896,95
Sep	9.257,96	11.163,99	12.666,75	14.004,77	15.264,71	16.491,70
Oct	17.057,56	18.889,10	20.234,99	21.373,17	22.400,32	23.364,44
Nov	8.195,71	9.345,34	10.396,13	11.314,41	12.166,78	12.986,93
Dic	350,26	552,25	752,10	961,25	1.185,45	1.431,85

Estos volúmenes acumulados mensuales, se obtuvieron mediante la ecuación 25, en la cual, se tiene que para techos y superficies lisas, la eficiencia de escurrimiento es de un 90%.

Así, el cuadro anterior, denota como, de acuerdo a una determinada probabilidad de lluvia mensual, utilizando el área actual recolectada de invernaderos se tiene un posible volumen recolectado a lo largo del mes, acorde con la precipitación mensual.

Si, se dirigen el 96% del área cubierta por los techos de los invernaderos (126.840m²) hacia un determinado reservorio, aplicando la misma lógica que en el caso anterior, se tiene el cuadro 4.18, el cual indica los cambios en los volúmenes mensuales recolectados.

Cuadro 4.18 Posibles volúmenes acumulados (m³/mes) para un 96% de recolección del área total.

Mes	Probabilidad de Ocurrencia					
	95%	90%	85%	80%	75%	70%
Ene	5,71	15,98	30,82	53,65	85,62	130,14
Feb	6,85	18,26	34,25	58,22	91,32	136,99
Mar	22,83	47,95	79,91	119,86	170,09	232,88
Abr	74,20	174,66	311,65	492,01	729,46	1.037,68
May	14.618,82	17.298,06	19.377,98	21.207,90	22.915,68	24.566,37
Jun	8.593,66	10.825,41	12.650,77	14.318,59	15.923,62	17.517,24
Jul	7.070,82	8.492,06	9.609,65	10.602,81	11.534,32	12.441,86
Ago	7.411,01	9.145,04	10.540,02	11.799,16	12.998,94	14.179,32
Sep	14.754,66	17.792,35	20.187,35	22.319,78	24.327,79	26.283,28
Oct	27.185,11	30.104,08	32.249,07	34.063,01	35.700,01	37.236,55
Nov	13.061,73	14.893,93	16.568,60	18.032,08	19.390,54	20.697,62
Dic	558,22	880,14	1.198,64	1.531,97	1.889,28	2.281,98

Si se tiene que la relación entre lo aprovechado actualmente (79.587 m²) y un 96% del área cubierta por invernaderos (126.840m²), se tiene que hay un aumento del 36 % del área aprovechada y de igual manera se tiene el mismo porcentaje de agua aprovechada si se recolecta o se dirigen todas las aguas provenientes de los techos de los invernaderos hasta un reservorio.

Por otra parte, si se tienen las áreas de los reservorios y la evaporación mensual, se medirá lo perdido mensualmente por reservorio. Esta situación, se muestra en el cuadro 4.19.

Cuadro 4.19. Evaporación mensual por reservorio, según su área.

Reservorio	Área (m ²)	Evaporación mensual (mm/mes)					
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun
Reservorio 34	1.530	134.487	151.929	156.060	150.093	133.569	131.733
Reservorio 25	405	35.600	40.217	41.310	39.731	35.357	34.871
Reservorio 20	660	58.014	65.538	67.320	64.746	57.618	56.826
Total (mm/mes)		228.101	257.684	264.690	254.570	226.544	223.430

Continuación Cuadro 4.19.

Reservorio	Área (m ²)	Evaporación mensual (mm/mes)					
		Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Reservorio 34	1.530	132.651	133.110	129.897	123.012	126.225	134.487
Reservorio 25	405	35.114	35.235	34.385	32.562	33.413	35.600
Reservorio 20	660	57.222	57.420	56.034	53.064	54.450	58.014
Total (mm/mes)		224.987	225.765	220.316	208.638	214.088	228.101

Utilizando los datos mostrados en el cuadro 4.19, se observa que la evaporación anual, por los tres reservorios, asciende a los 2.776.910 mm en total. Si se realiza la relación de que 1 mm equivale a un litro/m², se tiene que anualmente se estarían perdiendo por evaporación de los reservorios un total de 2.776,9 m³.

De esta manera, utilizando las actuales áreas de recolección de aguas y la nueva propuesta de recolección, con las probabilidades de ocurrencia de las precipitaciones, se tienen los posibles volúmenes recolectados anualmente, considerando la evaporación de los reservorios.

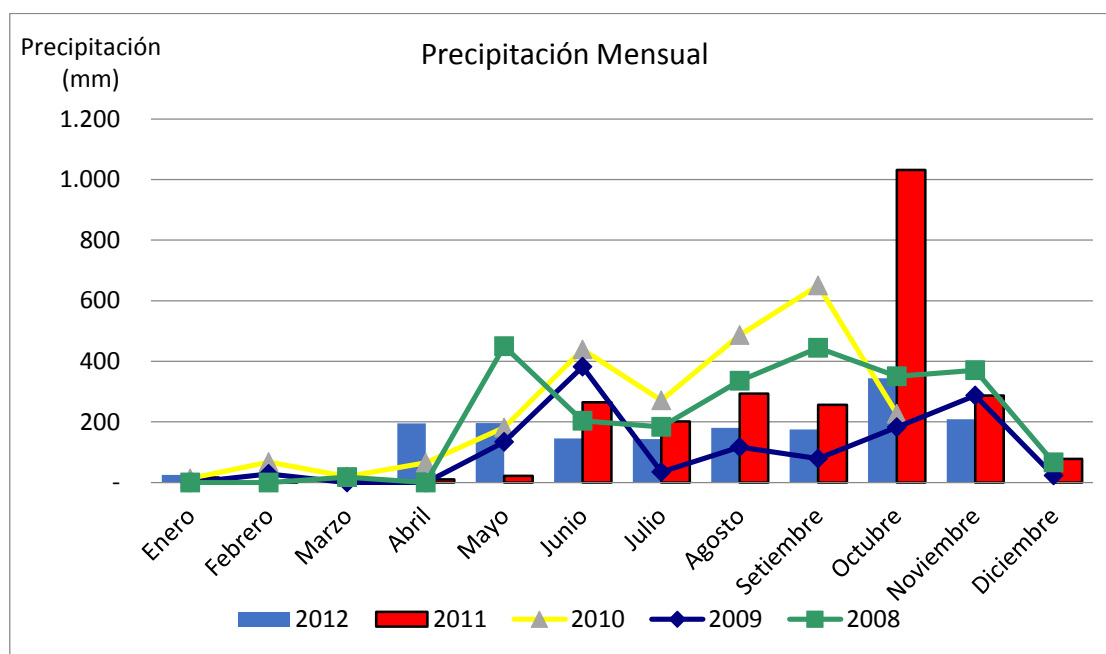
Cuadro 4.20 Volúmenes acumulados anualmente, para diferentes probabilidades de ocurrencia de las precipitaciones.

Precipitación (mm)	Actual (m ³)	Nuevo (m ³)
Anual	156.397	250.903
P(70)	106.500	171.381
P(75)	98.841	159.175
P(80)	91.063	146.778
P(85)	82.863	133.711
P(90)	73.695	119.099
P(95)	62.314	100.960

Según el cuadro 4.20, se muestra como, con la recolección de aguas actual debido a la distribución de las aguas de lluvia y la nueva distribución, con el promedio anual de precipitaciones recolectaría la cantidad necesaria estimada anualmente para las actividades de riego y fumigación (98.000 m³). Además, para la probabilidad de ocurrencia de precipitaciones de un 70%, se tendría lo justo, en el caso de la situación actual de recolección de aguas y para el 95%, con la nueva distribución de aguas.

De esta manera, para poder contar con el volumen necesario anualmente para suplir las necesidades de riego y fumigación de los cultivos, se requerirá de reservorios los cuales, tengan capacidad suficiente para cumplir con las demandas anuales y tener un determinado volumen de reserva, para casos críticos.

Según lo visto en los cuadros 4.20, para una probabilidad de precipitación del 80%, los meses críticos en los cuales, el volumen recolectado o la precipitación no son suficiente, para cumplir con la demanda mensual son diciembre, enero, febrero, marzo y abril. Además, la figura 4.23, indica como estos meses son los de menores precipitaciones.



EXCEL

Figura 4.23 Precipitación mensual para el periodo 2008-2012.

Fuente: Danny Olivares, Ingeniero Agrícola

Por otra parte, el consumo mensual promedio para estos meses conflictivos, se muestra en el cuadro 4.21.

Cuadro 4.21. Consumo mensual promedio (m³/mes).

Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
9.255	7.955	8.016	11.994	8.352	7.129	7.048	7.021	6.783	8.159	6.905	10.535

Con el uso de este cuadro, se observa, que antes de entrar en la época seca, si se quiere contar con la cantidad de agua necesaria para suplir con las demandas hídricas del cultivo, se deberían tener almacenados al inicio de diciembre 47.755 m³, el cual con un factor de seguridad del 15%, debería ser de aproximadamente 54.920 m³, esto por algún contratiempo. Además, que para los demás meses, con la nueva distribución de aguas, para una probabilidad de ocurrencia del 80%, utilizando el cuadro 4.18, se tiene una recolección suficiente para suplir las necesidades hídricas.

Así, la suma de los volúmenes de los reservorios presentes en la finca, al inicio del mes de diciembre, debería ser de 54.920 m³, esto para contar con el agua propia y no requerir a fuentes externas de abastecimiento.

4.3.2.5. Canales Actuales

Por otra parte, mediante un recorrido de campo, se ubicaron los canales de conducción de aguas hasta los reservorios y se observó el material y las condiciones en las que se encontraban. A continuación, en el cuadro 4.22, se muestran la cantidad de canales y su revestimiento.

Cuadro 4.22. Materiales de canales presentes en la finca.

Canales	Cantidad
En tierra y pastos	18
En concreto	21
En plástico	1

Como se indica en este cuadro, la cantidad de canales abiertos y cerrados revestidos con concreto representa un 53% del total de estos, en tierra y pastos un 45% y en plástico solamente un canal. Esta situación es importante, ya que las pérdidas que se pueden generar en la conducción de las aguas por canales que no están revestidos o descuidados y sin mantenimiento, juega un papel importante en la recolección de las aguas para abastecer a los reservorios, esto debido a que con una tasa alta de infiltración (19,20 mm/hora base), si durante una precipitación la condición de humedad del suelo es baja, se tendrán altas tasas de infiltración y esto, genera una menor cantidad de agua para ser almacenada.

Para poder obtener esta nueva distribución de las aguas de lluvia, se plantean las siguientes alternativas para maximizar la cosecha de aguas, las cuales se enuncian a continuación:

- Re dirigir aguas de los invernaderos 11, 12, 13, 14 y 15, las cuales se recolectaban en el reservorio del 34 y ahora hacia el reservorio del 20, debido a su cercanía con este reservorio y a que poseen un nivel más alto lo cual permite por gravedad conducir estas aguas hasta dicho reservorio.
- Transportar las aguas que provienen del canal que sale desde el reservorio del 34, las cuales llegan a una caja de registro ubicada en una esquina del invernadero 26 y que salían a la calle y se perdían en este punto; hasta el reservorio del 25.
- Aprovechar aguas de los invernaderos 18 y 19 para abastecer el reservorio del 34, ya que estas a pesar de su cercana ubicación con este reservorio, no eran aprovechadas.
- Mediante la utilización de canoas y bases, tomar las aguas provenientes de los invernaderos 20 y 22 ya que sus aguas evacuan al frente del reservorio del 20 y están muy cercanos al mismo.

Así, para poder lograr esta recolección de aguas de lluvia, se tienen las siguientes mejoras en el abastecimiento de los reservorios, esto se explica a continuación.

4.3.2.6. Mejoras en Abastecimiento del Reservorio del 34.

4.3.2.7 Recolección Aguas invernaderos 18 y 19

Las aguas de estos 2 invernaderos, actualmente, no se aprovechan aunque estén muy cerca del reservorio del 34, como se muestra en la figura 4.22.

La recolección de estas aguas, se va a realizar con un canal que recolecte las aguas de todas las canoas, mediante una alcantarilla, pasen la calle y luego se dirijan al reservorio 34 por medio de un canal. De esta manera, para el invernadero 18, utilizando el método racional, se tiene:

$$T_c = 2,68 \text{ min, para } L = 84,22 \text{ m y } \Delta h = 1,68 \text{ m.}$$

$$A = 1.904 \text{ m}^2, C = 0,90$$

$$I_{\max} = 474,3 \text{ mm/h}$$

$$\left. \begin{array}{l} \\ \\ \\ \end{array} \right\} Q_{\max} = 0,226 \text{ m}^3/\text{s}$$

De manera análoga, para el invernadero 19, se tienen los siguientes resultados

$$\left. \begin{array}{l} T_c = 3,13 \text{ min, para } L = 101,4 \text{ m y } \Delta h = 0,428 \text{ m.} \\ A = 2.516 \text{ m}^2, C = 0,90 \\ I_{\max} = 272,55 \text{ mm/h} \end{array} \right\} \mathbf{Q_{\max} = 0,171 \text{ m}^3/\text{s}}$$

Por otra parte, una vez cruzada la calle, se tiene que el canal que está al costado de los invernaderos 40 y 41, deberá de conducir hasta el reservorio un $Q_{\max} = 0,226 + 0,171 = 0,397 \text{ m}^3/\text{s}$. Este canal, para fines de diseño tendrá un $b = 0,5 \text{ m}$, $Z = 0,5$, $n = 0,01$ (plástico) y $S = 1\%$

De esta manera, para el diseño de los canales de cada uno de los invernaderos, utilizando un $b = 0,4 \text{ m}$, $Z = 0,5$, $n = 0,01$ (plástico) y $S = 2,5\%$ (adaptándose a las condiciones del terreno), se tiene el cuadro 4.23 el cual especifica los parámetros hidráulicos obtenidos, utilizando H_{canales} para su obtención.

Cuadro 4.23 Resumen de valores obtenidos para los canales, utilizando H_{canales} .

Parámetro	Invernadero 18	Invernadero 19	Canal Invernadero 41
y (m)	0,226	0,2472	0,467
T (m)	0,6916	0,6472	0,967
P (m)	1,0521	0,9527	1,5443
V (m/s)	1,4197	1,3213	1,1588
A (m ²)	0,1592	0,1294	0,3426
H (m)	0,45	0,45	0,65

De manera análoga, solamente que en este caso utilizando un revestimiento de concreto, se tienen las dimensiones de este canal, mostradas en el cuadro 4.24.

Cuadro 4.24 Dimensiones para revestimiento de concreto de concreto, recolección aguas invernaderos 18 y 19.

Parámetro	Invernadero 18	Invernadero 19	Canal Invernadero 41
y (m)	0,3548	0,3017	0,5649
T (m)	0,7548	0,7017	1,0649
P (m)	1,1934	1,0746	1,7633
V (m/s)	1,1032	1,029	0,8981
A (m ²)	0,2049	0,1662	0,4421
H (m)	0,45	0,45	0,70

El paso de la calle con las alcantarillas, se deberá realizar con alcantarillas reforzadas, ya que por este camino circulan contenedores los cuales traen pesos de hasta 4 toneladas, ya que traen cientos de cajas con los bulbos para la siembra.

Los resultados del diseño de estas alcantarillas, se resume a continuación

Para la alcantarilla del Invernadero 18

Diámetro alcantarilla = 0,4572 m (18”), grosor pared 57 mm, resistencia 4900 kgf/m

Velocidad en el conducto = 1,378 m/s

Longitud de Alcantarilla = 9 m

Para la alcantarilla del Invernadero 19

Diámetro alcantarilla = 0,3810 m (15”), grosor pared 47 mm, resistencia 5130 kgf/m

Velocidad en el conducto = 1,5 m/s

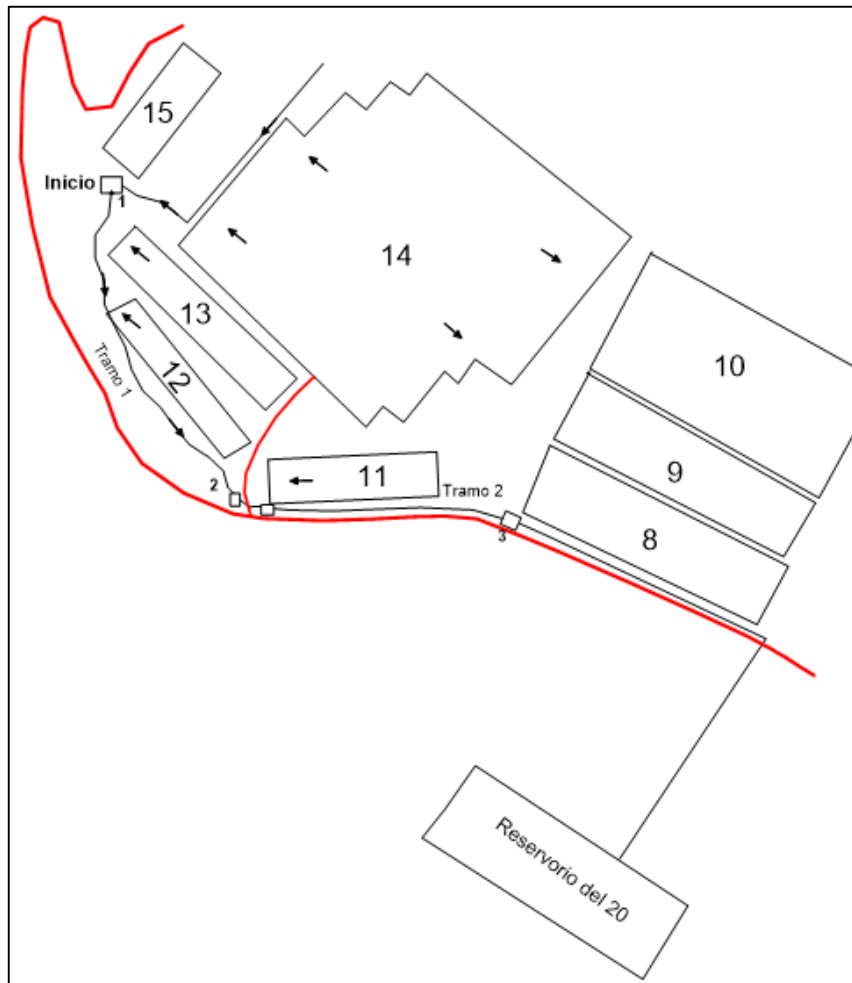
Longitud de Alcantarilla = 8 m

El detalle del diseño de estas alcantarillas se muestra en el Anexo 17.

4.3.2.8. Mejoras en Abastecimiento del Reservorio del 20.

4.3.2.9. Conducción de Aguas de la Zona de Invernaderos 11-15 hasta el Reservorio 20.

Para realizar un mayor aporte al reservorio del 20, el cual posee una limitada área de captación de aguas de lluvia (4,704 m²), se desarrolla el proyecto de re-dirigir las aguas provenientes de los invernaderos 11, 12, 13, 14 y 15, las cuales actualmente van hacia el reservorio del 34, hasta el reservorio del 20. El trazado de estas aguas hasta el reservorio del 20, se muestra en la figura 4.24.



SURFER

Figura 4.24. Conducción de aguas de los invernaderos 11-15 hasta reservorio del 20.

En el punto de inicio, se captarán las aguas que provienen de los invernaderos 14 (1.190 m²), el invernadero 15 (408 m²) y más adelante los invernaderos 12 y 13 con áreas de 202 m² y 272 m², respectivamente. En dicho punto, se tiene una caja de registro pluvial 1, que servirá como sedimentador para evitar la conducción de partículas pequeñas hasta el reservorio del 20.

Las aguas serán conducidas, mediante un canal, el cual las llevará hasta la caja de registro 2, en la cual se captarán las aguas del invernadero 11 y cruzarán la calle (en rojo) y las llevarán hasta la caja de registro 3, y de ese punto hasta el reservorio del 20.

El trazado del canal, el cual será revestido con plástico, se realizó con una pendiente del $S = 1 \%$. El área total de influencia sobre dicho canal es de 2.072 m². Utilizando la ecuación del

tiempo de concentración (27), la intensidad máxima (17) y método racional (1), se tienen los siguientes resultados:

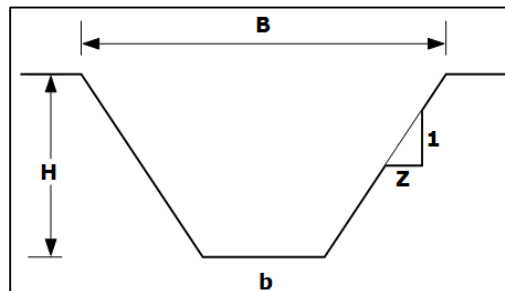
$$\left. \begin{array}{l} T_c = 2,25 \text{ min; para } L = 76,2 \text{ m y } \Delta h = 2,01 \text{ m} \\ I_{\max} = 547,33 \text{ mm/h, con } D = t_c \text{ y } T = 5 \text{ años} \\ C = 0,90 \text{ (techos plásticos)} \end{array} \right\} \mathbf{Q_{\max} = 0,2835 \text{ m}^3/\text{s}}$$

De esta manera, utilizando el software Hcanales, con un $n = 0,01$ (plástico), $S = 1\%$, $b = 0,5 \text{ m}$ y $Z = 0,5$, se tienen los siguientes parámetros:

$$\begin{array}{llll} y = 0,3843 \text{ m} & A = 0,266 \text{ m}^2 & T = 0,8843 \text{ m} & \\ F = 0,6205 & P = 1,359 \text{ m} & V = 1,0658 \text{ m/s} & H = 0,5 \text{ m.} \end{array}$$

Y utilizando concreto ($n = 0,014$), se tienen las siguientes dimensiones para el canal en el tramo 1.

$$\begin{array}{llll} y = 0,467 \text{ m} & A = 0,3425 \text{ m}^2 & T = 0,9660 \text{ m} & \\ F = 0,444 & P = 1,5442 \text{ m} & V = 0,8277 \text{ m/s} & H = 0,6 \text{ m.} \end{array}$$



SKETCHUP

Figura 4.25. Dimensiones del canal para el tramo 1.

Este tramo 1 del canal, posee una longitud de 83 m, el tramo 2, posee por su parte una longitud de 64 m hasta llegar a la caja de registro 3 y en este punto irá conducido hasta el reservorio del 20.

En el paso de la calle, se deberá de conducir estas aguas por medio de tubería enterrada hasta la caja 3 por la orilla de la calle. Debido a que por la calle pasan tractores con cajas con bulbos para la siembra, se deberá para este paso de calle utilizar tubería reforzada. Por esto, en

este punto se deberá utilizar tubería de concreto reforzada CIII. Y una vez pasada la calle, se utilizará tubería de PVC para su transporte hasta la caja de registro 3. Después de esta caja, se tiene un canal que transporta estas aguas hasta el reservorio del 20.

Se tiene que la longitud de la tubería reforzada de concreto requerida es de 7 metros, de diámetro 21”, esto siguiendo las recomendaciones para el diseño de alcantarillas, del libro Diseño de estructuras Hidráulicas, pp 145-156. La longitud de la tubería de PVC es de 50 metros, en longitud de 6 m, para esto se requieren de 9 tubos, de 18” de diámetro (45,72 cm) con grosor de pared de 2,5 mm y rigidez de 49 KN/m², a una pendiente del 1% para evitar sedimentación en la tubería. Entre la tubería de concreto y la de PVC, habrá una caja de registro, la cual será la encargada de hacer la conexión entre las tuberías.

4.3.2.10. Aguas Recolección Invernaderos 20 y 22 b

Estas aguas provenientes de la mitad del área del invernadero 20 y parte del invernadero 22 b, por su ubicación, están muy cercanas al reservorio del 20 y actualmente se desperdician dichas aguas. Por lo cual, mediante la utilización de unas canoas, se planea dirigir las aguas del invernadero 20 hasta el reservorio. Y las aguas del invernadero 22 b, estas se aprovecharían solamente alargando las canoas hasta el reservorio, ya que están muy cercanas a este y no se aprovechan.

El diagrama de la situación de estos invernaderos, se muestra en la figura 4.26.



SURFER

Figura 4.26. Aprovechamiento de las aguas del invernadero 20.

Como se muestra en la figura 4.26, se tienen 10 canoas que evacuan sus aguas hacia la izquierda de la figura. La primera canoa, se aprovecha alargándola hasta la caja de registro cercana. A partir de la segunda canoa hasta la séptima, se tienen las canoas que se propondrán más adelante, las cuales recolectan el agua de un área de 2.244 m^2 .

De esta manera, usando el método racional, se tienen los siguientes valores

$$\left. \begin{array}{l} T_c = 1,65 \text{ min; para } L = 55 \text{ m y } \Delta h = 1,63 \text{ m} \\ I_{\text{max}} = 680 \text{ mm/h, para } T = 5 \text{ años y } D = T_c. \\ C = 0,90 \text{ (techo plástico)} \end{array} \right\} \mathbf{Q_{\text{max}} = 0,3815 \text{ m}^3/\text{s}}$$

Este caudal, es obtenido para 6 naves de 55 metros de largo y 6,8 metros de ancho, cada una. Así, por cada nave se generaría un caudal de $0,0636 \text{ m}^3/\text{s}$.

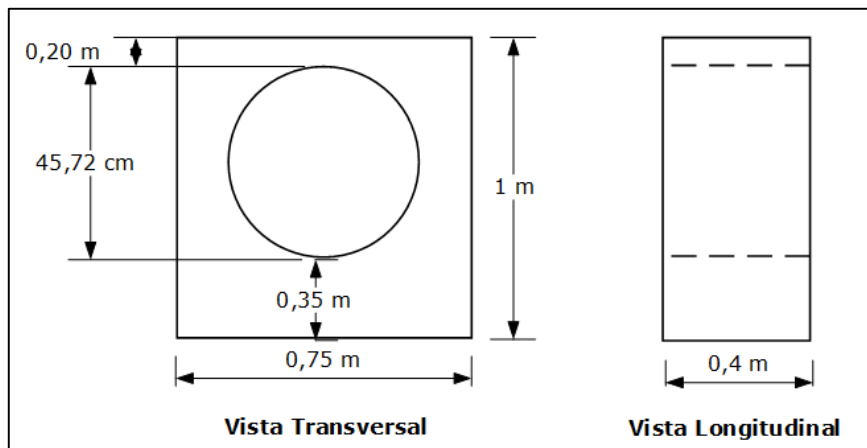
Como se muestra en el Anexo 16, para determinar el diámetro del bajante, en función del área de recolección, se requieren boquillas y bajantes de PVC para cada canoa, de diámetro 4" SDR 41, con diámetro interno de 108,72 mm. Por factor de seguridad, para evitar la una eventual falla y se utilizará un diámetro de 6", con diámetro interno de 160,8 mm., SDR 41.

Cada uno de estos bajantes, irá conectado a una tubería de diámetro 18", la cual llevará estas aguas hasta el reservorio del 20. Este diámetro de la tubería recolectora, se obtuvo con el uso de Hcanales y los resultados se muestran a continuación:

$$Q = 0,3815 \text{ m}^3/\text{s}; \quad D = 0,4572 \text{ m}; \quad n = 0,009 \text{ (PVC)}; \quad S = 1\%.$$

$$y = 0,3353 \text{ m}; \quad A = 0,1290 \text{ m}^2; \quad V = 2,9564 \text{ m/s}; \quad T = 0,4043 \text{ m}$$

Esta tubería, estará apoyada sobre una base de concreto, y la conducirá hasta el reservorio. La primera base, servirá de anclaje para la tubería, el detalle de dicha estructura, se muestra en la figura 4.27.



SKETCHUP.

Figura 4.27 Detalle base de concreto para tubería recolección aguas invernadero 20.

Para las siguientes estructuras de soporte, las cuales estarán espaciadas cada 3 m, para evitar la deflexión de la tubería, se tienen las dimensiones, mostradas en la figura 4.27. Utilizando el manual técnico de Amanco para la instalación de tuberías, se tiene que la longitud máxima entre soportes para tubería aérea, es de 300 cm, de esta manera se tiene dicho valor de espaciamiento entre soportes.

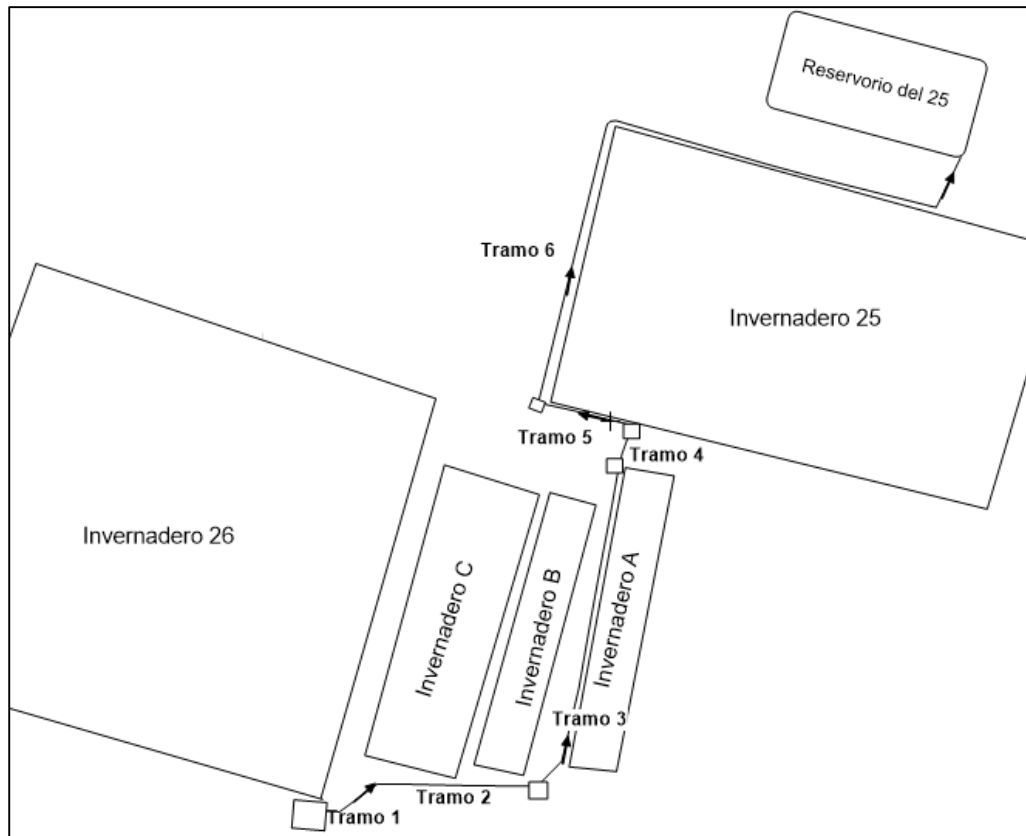
Las canoas número 8, 9 y 10, caerán de manera directa al reservorio, esto se logrará prolongando las “mangas” de las canoas hasta dicho reservorio. De igual manera, sucede con la situación del invernadero 22 b, en la cual alargando las mangas hasta el reservorio, se aprovecharían estas aguas.

4.3.2.11. Aguas Caja Invernadero 26 hasta Reservorio 25

Según lo indica en la situación de evacuación de los excesos del reservorio del 34, se tiene que a los 753,22 m de longitud, las aguas evacuadas del reservorio y la recolección que se da a lo largo del trayecto, van dirigidas hacia una caja de registro ubicada en una esquina del invernadero 26, y a partir de este punto las aguas salen a la calle, punto en el cual, se pierden.

Por esta razón, se plantea como opción, la recolección y re-dirección de estas aguas hacia el reservorio del 25, el cual posee una cota inferior a este punto de desfogue del canal de evacuación del reservorio, en el cual las diferencias de niveles es de 14,128 m.

De esta manera, la situación para enviar esta agua hasta el reservorio del 25, se muestra en la figura 4.28.



SURFER

Figura 4.28. Diagrama de colecta de aguas hacia el reservorio del 25.

En la figura 4.28, al inicio las aguas caerán en una caja de registro la cual funcionará como sedimentador y luego las aguas saldrán por medio de un orificio. También, se muestran 6 tramos del canal, en los cuales se deben de considerar distintas situaciones. En el primer tramo, existe un camino, el cual se debe de atravesar con una alcantarilla. En el segundo tramo, se tiene una fuerte pendiente, por lo cual se diseñará una rápida. En el tercer tramo, por medio de un canal, se transportará el agua hasta una caja de registro pluvial. En el cuarto tramo, se tiene una fuerte pendiente en la cual por medio de una tubería se conducirá el agua y al final de este estará una caja de registro que funcionará como un dissipador de energía o quiebra gradientes. En el quinto tramo, con una tubería se conducirá el agua hasta la esquina del invernadero 25 y en el

tramo 6, se conducirá el agua por medio de un canal existente, el cual se rediseñará para llevar esta agua hasta el reservorio del 25.

De esta manera, se procederá con el diseño hidráulico de cada tramo.

Caja Inicio.

Como el canal de evacuación de excesos solamente tiene como desfogue este punto, en este llegará un caudal máximo determinado, contemplando todas las áreas que generan aporte sobre este canal. Utilizando la ecuación 27 del tiempo de concentración, de la intensidad máxima (ecuación 17), el área total de aporte, un coeficiente de escorrentía y la ecuación 1 del método racional, se tienen los siguientes cálculos.

$$\begin{array}{l}
 C = 0,90 \quad A = 4,0265 \text{ m}^2 \\
 T_c = 32 \text{ min, } L = 753,22 \text{ m y } \Delta h = 1,914 \text{ m} \\
 I_{\text{max}} = 73,84 \text{ mm/h, con } T = 5 \text{ años y } D = t_c
 \end{array}
 \left. \vphantom{\begin{array}{l} C \\ T_c \\ I_{\text{max}} \end{array}} \right\} \quad \mathbf{Q = 0,743 \text{ m}^3/\text{s}}$$

A este caudal, se le suma el caudal máximo evacuado del reservorio del 34, que en total sería de 1,722 m³/s.

Como este es un caudal máximo, que se puede presentar o ser excedido al menos una vez en 5 años (T = 5 años), se derivará 0,462 m³/s. Esto debido a la utilización de una tubería de 18” (0,4572 m) de diámetro y a consideraciones económicas al realizar el diseño; ya que el área total de abastecimiento del reservorio del 25 es de 7,1 hectáreas.

Este caudal será derivado por medio de un orificio que estará ubicado en la caja de registro. De esta manera, se tiene utilizando la ecuación del orificio, los siguientes resultados:

$$\begin{array}{l}
 A = 0,1642 \text{ m}^2 \\
 C_d = 0,82 \text{ (orificio con salida de tubo)} \\
 H_{\text{max}} = 0,60 \text{ m}
 \end{array}
 \left. \vphantom{\begin{array}{l} A \\ C_d \\ H_{\text{max}} \end{array}} \right\} \quad \mathbf{Q_{\text{max}} = 0,462 \text{ m}^3/\text{s}}$$

De esta manera, se tienen los cálculos, para cada uno de los tramos mencionados anteriormente.

En caso de que se presente una avenida máxima, para las condiciones de la caja utilizada, se tiene un vertedero, para evacuar los caudales mayores a 0,462 m³/s. Los cálculos para dicho vertedero, utilizando la ecuación 4, se tiene:

$$Q = Cd * L * h^{\frac{3}{2}}$$

$$(1,722 - 0,462) = 1,84 * 2 * h^{\frac{3}{2}}$$

$$h = 0,48 \text{ m.}$$

De esta manera, el vertedero de cresta aguda, con una longitud de 2 metros y una carga de 0,5 m, evacuaría el caudal extra diseñado para conducir hasta el reservorio del 20.

Tramo 1

Este tramo pasará la calle con una alcantarilla, la cual saldrá directamente de la caja de registro. Por esto, el diámetro de la alcantarilla será de 0,4572 m (18”), en una longitud de 12 m.

Tramo 2

En este tramo, se tiene la rápida, debido a que presenta una pendiente fuerte del 36,6 %. De esta manera, siguiendo el proceso de diseño de una rápida, se obtienen los siguientes datos:

Sección transversal rectangular

Ancho de solera rápida = 0,75 m

Tirante = 0,3382 m

L_{rapida} = 35 m

Profundidad del colchón amortiguador = 0,87 m

Longitud colchón = 2,3 m

Profundidad canal = 0,45 m.

En el Anexo 18, se muestran con mayor detalle los cálculos realizados para la obtención de estas dimensiones.

De esta manera, al final del tramo 2, debe de existir una caja de registro, que posea como mínimo una profundidad de 0,87 m y una longitud de 2,3 m, para disipar la energía de esta rápida.

Tramo 3

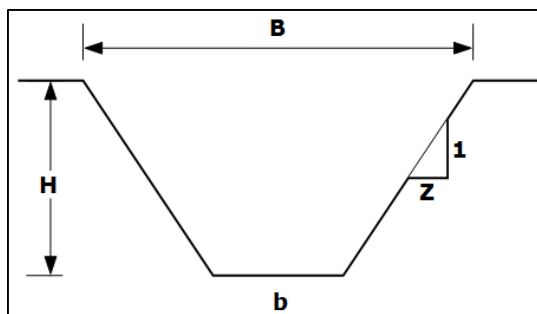
En este tramo 3, se tiene que la conducción se llevará a cabo por medio de un canal abierto, el cual será trazado con una $S = 1\%$, $b = 0,6$ m, con $Q = 0,462$ m³/s. Los parámetros hidráulicos, se muestran a continuación:

$n = 0,01$ (plástico)	$y = 0,4617$ m	$A = 0,3836$ m ²
$P = 1,6325$ m	$V = 1,2043$ m/s	$T = 1,0617$ m
$E = 0,5356$ m-kg/kg;	$F = 0,6396$	$H = 0,60$ m.

Y para un canal revestido con concreto, se tienen las siguientes relaciones:

$n = 0,014$	$y = 0,5611$ m	$A = 0,494$ m ²
$P = 1,8546$ m	$V = 0,9352$ m/s	$T = 1,1611$ m
$F = 0,4577$	$E = 0,6056$ m-kg/kg	$H = 0,65$ m.

La longitud de este canal es de 65 metros. Las dimensiones del canal, se denotan mejor en la figura 4.29.



Elaboración propia, SURFER

Figura 4.29. Representación de canal.

Al final de este tramo 2, se tiene una caja de registro, la cual funcionará como transición del canal a la tubería para el tramo 4.

Tramo 4

En este tramo, que posee una longitud de 6,5 metros, se tiene una pendiente fuerte. Por esto y su ubicación, se utilizará una tubería de PVC de diámetro 0,4572 m, igual que el utilizado en el tramo 1.

Este tramo de tubería, tendrá una diferencia de cotas de 5,18 metros. Así, este tramo posee una pendiente de 79,7%. En esta caja, la salida del agua se tendría de igual manera que en la caja de inicio, por medio de un orificio con salida de tubo, con las mismas características de carga, diámetro del orificio, área del orificio y coeficiente de descarga.

El dissipador de energía, en este caso, tendría las dimensiones utilizadas en los sedimentadores propuestas de recolección de aguas.

Tramo 5

En este tramo, se tiene la conducción de estas aguas por medio de una tubería de PVC. Esta tubería saldrá de la caja anterior y desembocará en el canal del tramo 6.

Esta tubería, saldrá de la caja ubicada al final del tramo 4, funcionará como un orificio, con una carga de 0,55 m, con área del orificio de 0,1642 m² (diámetro 0,4572 m) para transportar el caudal de 0,462 m³/s. Dicho tramo 5, tendrá una longitud de 20 m.

Tramo 6

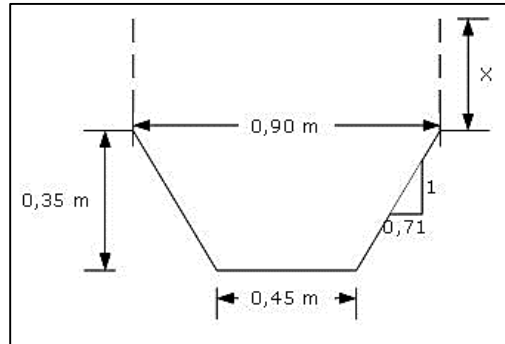
En este tramo, hay un canal existente, el cual lleva las aguas recolectadas de los invernaderos 23 y 24 hasta el reservorio del 25. De esta manera, el cual máximo transportado hasta este reservorio, utilizando la ecuación 1 del método racional, se muestran a continuación:

$$\left. \begin{array}{l} T_c = \text{min, para } L = 294,44 \text{ m y } \Delta h = 5 \text{ m} \\ I_{\text{max}} = 220 \text{ mm/h} \\ A = 1,4223 \text{ ha, } C = 0,90 \end{array} \right\} \mathbf{Q_{\text{max}} = 0,7827 \text{ m}^3/\text{s}}$$

Dicho canal, está construido en concreto ($n = 0,014$), con una pendiente fuerte del 2,35%, posee un ancho de solera de 0,45 m, talud 0,71 y una boca de 0,90 m. aplicando la ecuación 2 de Manning y las relaciones geométricas para una sección trapezoidal mostradas en el Anexo 6,

se tiene que este canal tiene la capacidad de transportar $0,8749 \text{ m}^3/\text{s}$, lo cual es mayor que el caudal máximo aportado por estas áreas de los invernaderos.

De esta manera, para que el canal pueda transportar este caudal más el derivado hasta esta zona el cual es de $0,462 \text{ m}^3/\text{s}$, solamente aumentando su altura, se tienen los siguientes cálculos y la figura 4.30.



SKETCHUP

Figura 4.30 Canal posterior invernadero 25.

$$Q_{\text{nuevo}} = 1,25 \text{ m}^3/\text{s}$$

Cálculo el área hidráulica, la cual será la suma del área trapezoidal y la nueva área rectangular

$$A_{\text{total}} = A_{\text{trape}} + A_{\text{rect}}$$

$$A_{\text{trape}} = (b + z * H) * H = (0,45 + 0,71 * 0,35) * 0,35 = 0,2445 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{rect}} = b * X = 0,90 * X$$

$$A_t = 0,2445 + 0,90 * X$$

Cálculo el perímetro mojado, la cual será la suma del perímetro trapezoidal y la nueva altura de la sección rectangular.

$$P_{\text{total}} = P_{\text{trape}} + P_{\text{rect}}$$

$$P_{\text{trape}} = b + 2 * H * \sqrt{1 + Z^2} = 0,45 + 2 * 0,35 * \sqrt{1 + 0,71^2} = 1,3085 \text{ m}$$

$$P_{\text{rect}} = 2 * X$$

$$P_{total} = 1,3085 + 2 * X$$

Aplicando la ecuación de Manning, se tiene

$$\frac{A^5}{p^2} = \left(\frac{Q * n}{S^{1/2}} \right)^3$$

$$\frac{(0,2445 + 0,9X)^5}{(1,3085 + 2X)^2} = \left(\frac{1,25 * 0,014}{0,0235^{\frac{1}{2}}} \right)^3$$

La cual resuelta por tanteos, da como valor a $X = 0,082$ m. Esto quiere decir que, el nuevo tirante ante un caudal máximo, sería de 0,432 m para las condiciones del canal. Con esto, los parámetros hidráulicos de este nuevo canal, son:

$$y = 0,432 \text{ m}; \quad P = 1,4725 \text{ m}; \quad A = 0,3183 \text{ m}^2; \quad T = 0,90 \text{ m};$$

$$V = 3,927 \text{ m/s (no erosiva para concreto);} \quad F = 2,1 \quad H = 0,576 = 0,6 \text{ m}$$

Estas condiciones, se tendrían ante un evento máximo, para un periodo de retorno de 5 años. Para aumentar la capacidad del canal hacia arriba, se utilizará bloques de mampostería de 0,2 m de altura. Así, para cumplir con la profundidad y bordo libre, se pondrán 2 bloques de mampostería.

Por otra parte, en caso de que llegue una avenida superior a la de diseño, se tiene un vertedero que evacuaría estos excesos, antes de ingresar al reservorio del 20.

El cual tendrá una longitud de cresta igual al espejo de agua (0,90 m), de cresta aguda y que evacuará caudales superiores a los 1,25 m³/s, con cargas superiores al tirante de 0,432 m. por ejemplo, para un tirante de 0,6 m, el vertedero evacuará, usando la ecuación 4

$$Q = 1,85 * 0,9 * (0,60 - 0,432)^{\frac{3}{2}} = 0,115 \text{ m}^3/\text{s}$$

4.4. Costos de las obras

El resumen de los costos totales, tanto por la parte del proyecto encargada de la evacuación de excesos del reservorio del 34 (drenaje) y las obras para maximizar la cosecha de aguas de los reservorios, se muestran en el cuadro 4.25.

Cuadro 4.25 Resumen de Costos de las obras por realizar

Obra	Costo
Drenaje	
Canal Guardia	₪ 1.122.000,00
Evacuación Reservorio 34	₪ 2.889.088,95
Recolección Aguas	
Reservorio 20	₪ 4.594.440,95
Reservorio 25	₪ 3.942.152,40
Reservorio 34	₪ 1.289.983,20
Total	₪ 13.837.665,50

Este costo total, será utilizado más adelante, en la sección de análisis financiero del proyecto, para denotar la factibilidad del proyecto. Para ver el detalle de los materiales requeridos por obra a realizar, ver el Anexo 19.

4.5. Análisis Financiero

Como se mencionó anteriormente, con las inundaciones y la falta de agua para riego, las actividades que van desde la mecanización hasta la cosecha, se ven afectadas, en la medida que disminuyen los rendimientos con que se realizan y en un eventual caso, no se pueden realizar definitivamente. La afectación en estas actividades, se muestra en el cuadro 4.26.

Cuadro 4.26 Afectación de labores y rendimientos, debido a la inundación.

Labor	Afectación
Mecanización	Se afecta directamente el rendimiento por hectárea, ya que aumenta el patinaje del tractor, aumentando riegos de atasque.
	La labor se realiza de manera menos eficiente, se produce compactación, lo cual implica una mayor dificultad para las raíces en penetrar.
	Se impide totalmente la mecanización lo cual lleva a un atraso en la planificación de cosecha.
Siembra	Se disminuyen los rendimientos de siembra, los cuales bajan hasta 1000 bulbos/hora, donde lo habitual es 1300 bulbos/hora.
	Bulbos recién sembrados, podrían salirse con excesos de agua.
	Imposibilita la siembra parcial o totalmente, generando atrasos en la planificación de la cosecha.
	Aumenta la posibilidad de generar botritis, pudrición del bulbo y enfermedades.
Fumigación	Disminuye el rendimiento de la aplicación, ya que caminar por los pasillos se vuelve difícil o imposible de realizar.
	Disminuye la uniformidad de la aplicación, ya que al caminar más despacio se aplicaría más producto por unidad de área.
	Imposibilita en algunos casos las aplicaciones, lo cual propicia la entrada de patógenos a los cultivos.
Labores de Cultivo	Se disminuyen rendimientos de labores culturales debido a la dificultad de paso. En algunos casos no se realizan labores a tiempo, lo cual repercute en el desarrollo del cultivo.
	Pérdida total del cultivo
	Hay problemas de desarrollo del cultivo, se tienen que hacer labores como "maquillar" el tallo, lo cual demanda mano de obra extra.
Cosecha	Rendimientos de corta bajan a 180 tallos/hora, donde lo habitual está entre 230-250 tallos/hora.
	Hojas se tornan amarillentas, pierde calidad el tallo, lo cual lo hace no ser apto para exportación y utilizarse en mercado local; o su desecho total.
	Al no cosecharse a tiempo, el punto de corta se pierde, lo cual implica otra calidad, otro cliente y cambiar los pedidos de tallos.
Riego	No se aplica el fertirriego, lo cual repercute directamente con la nutrición y desarrollo del cultivo.
	Al inundarse, el suelo queda por partes muy húmedo, lo cual imposibilita aplicar riego y fertirriego a partes secas.

Cuadro 4.27. Afectación de labores y rendimientos, debido a la falta de agua.

Labor	Afectación
Fumigación	Se limita el abastecimiento para realizar esta labor.
	Se aplica mayor cantidad de fertilizantes foliares por este método, ante la disminución de efectuar el fertirriego
Cosecha	Capacidad de trabajar disminuya, rendimientos bajan a 180 tallos/hora, donde lo habitual está entre 230 tallos/hora. Debido a que el tallo no se hace cortado, si no arrancado para aprovechar el máximo largo posible.
	La calidad del tallo disminuye, el tallo crece delgado, débil, presenta Amarillamiento foliar, se desecha el producto.
Riego	Se dificulta la aplicación del riego y fertirriego.
	Su incidencia se da directamente con el crecimiento y el desarrollo de la planta, ya que las raíces son las encargadas de la absorción de aguas y nutrientes y la fertilización foliar debería ser más intensa y frecuente para aportar los mismos recursos a la planta.

La información obtenida en los cuadros 4.26 y 4.27, fue obtenida, para la justificación del proyecto realizado ante la gerencia de la empresa, para lo cual, mediante recorridos con los encargados de las diferentes labores, se indicaron los aspectos de afectación por actividad, en cada labor.

Además, para dicha justificación, se buscó en los registros de desecho de las cosechas, en el departamento de estimaciones de cosecha, para la estación lluviosa en esta zona (Mayo – Noviembre) en la cual se tuviera información directa acerca de la cantidad de tallos perdidos debido a las inundaciones presentadas en los invernaderos 33, 34 y 41, en los cuales se inundan en total 6.644 m², como máximo. Esta información no pudo ser obtenida, ya que en estos solo se registra la condición del tallo de desecho y no la razón por la cual el tallo está en dicho estado. De igual manera sucede con el departamento de estimaciones de cosecha, los cuales aplican un porcentaje menos para la cantidad de tallos que se van a cosechar, pero no tienen registros de cantidad de tallos perdidos debido a este problema en específico.

Análogamente, para el problema de cosecha de aguas, se buscó información para determinar la cantidad de tallos afectados durante la época seca (Diciembre – Abril), pero no se pudo tener datos concretos acerca de estos valores, igual que en el caso de las inundaciones.

Por esto, ante la no obtención de datos cuantificables o registros de estas situaciones, se hará un análisis financiero aproximado o estimado, con datos conseguidos mediante la experiencia del personal que ha vivido la situación de inundación de los invernaderos y la falta de agua para el desarrollo del cultivo.

4.5.1. Situación actual

Este análisis, se realizará con datos provenientes de los efectos de las inundaciones, ya que estos, son los datos que se han mapeado un poco más y de los cuales se cuentan con datos.

De esta manera, se tiene que, para el área afectada, considerando los rendimientos de obras como la siembra y la cosecha, con la afectación sufrida por estas inundaciones, se tiene el cuadro 4.28.

Cuadro 4.28 Afectación en el costo por hora de la siembra y la cosecha, debido a las inundaciones.

Labor	Rendimiento		Variación (%)	Costo hora trabajada (₡)		Densidad promedio (bulb/m ²)	Costo labor aprox. (₡)		Diferencia (₡)
	Normal	Afectado		Normal	Afectado		Normal	Afectado	
Siembra	1300	1000	0,23	1.077	1.325,54	56	308.240	400.713	92.472
Cosecha	210	180	0,14	1.077	1.230,86	56	1.908.156	2.226.183	318.026

El cuadro 4.28, plantea una situación en la cual, el área total afectada por las inundaciones (6.644 m²), ante un caso extremo, haya sido influenciada por las inundaciones y se realizará estas labores en toda el área afectada.

Esta situación indica, que para realizar una siembra de esta área, bajo el efecto de las inundaciones sobre esta labor, se tendría que pagar aproximadamente ₡92.472 de más para hacer esta labor. Por otra parte, con la cosecha, se tendría que pagar un total extra de ₡318.026, para cosechar esta área.

Cabe recalcar, que no necesariamente estos tres invernaderos involucrados se siembran o cosechan al mismo tiempo completamente, esta situación planteada es un caso hipotético para realizar el estudio financiero.

Otro punto importante por considerar, es que al momento de generarse las inundaciones, para evacuar estas aguas, se emplean bombas eléctricas, para bombear estas aguas fuera del reservorio. También, cuando dicho reservorio, posee un nivel de aguas alto, durante la época lluviosa, se previene dejando funcionando este equipo de bombeo extrayendo agua uno, dos o tres días consecutivos, para evitar una eventual inundación de los invernaderos.

Durante la realización de este proyecto, en esta zona afectada, se presentaron inundaciones en el mes de Junio, Setiembre y Octubre, una vez en total. Por otra parte, en promedio se tuvieron 6 fines de semana (48 horas), en los cuales se realizaron bombeos para prevenir inundaciones y una vez inundado, bajar el nivel del agua en el reservorio.

Con esto, se obtiene el cuadro 4.29, el cual muestra el costo de bombeo según el tiempo que se ha realizado para evitar las inundaciones.

Cuadro 4.29 Costo bombeo para la evacuación de excesos del Reservorio del 34.

Potencia (HP)	Potencia (KW)	Tarifa ⁹ (KW/h)	Costo (bombeo/h)	Horas Operadas/día	Días	Horas Totales	Costo Total (C\$)
10	7,46	C\$105,00	C\$783,30	24	1	24	18.799,20
				24	2	48	37.598,40
				24	3	72	56.397,60

Así, se evidencia, como para el periodo mencionado, por fin de semana se gasta un aproximado de C\$37.598,40, para una bomba eléctrica de 10 Hp de potencia. Por otra parte, un estimado del total gastado por bombeos en el periodo mencionado, ronda los C\$225.590,4.

Por otra parte, estas aguas, en ciertas ocasiones no se desperdician, si no se dirigen hacia el reservorio del 20, el cual como se había mencionado anteriormente, posee una fuente limitada de abastecimiento. Este bombeo para abastecer este reservorio, se da por parte de aguas provenientes de los reservorios 34 y 25. Si en promedio, durante la estación lluviosa, con los “veranillos” que se presentan, se debe de realizar este bombeo hasta el reservorio del 20, considerando un bombeo en promedio de 3 bombeos de 1 día completo, se tiene un costo de C\$56.397,60.

De esta manera, en el periodo de lluvias, en la finca se pueden tener aproximadamente unos costos de bombeos, contemplando el bombeo para evacuar los excesos de agua del reservorio del 34 y el abastecimiento de aguas del reservorio del 20, un total de C\$ 282.000, en este periodo. A esto, hay que sumarle un costo de mano de obra para el accionamiento y vigilancia del sistema de bombeo, el cual ronda las 2 horas por día. Con un costo de C\$1,077 la hora, durante estas 6 semanas en las cuales se realiza este bombeo, se tiene un total de C\$25.848.

Otro punto considerado para el análisis financiero del proyecto, es la afectación por pérdidas de tallos y bulbos sembrados, la pérdida en la mano de obra y todo el mantenimiento el cultivo.

La pérdida de bulbos sembrados, se tuvo, con las inundaciones presentadas en el invernadero 34, en las fechas 19 y 20 de Octubre del presente año, en el cual se inundó parte de

⁹ El precio del KW/h, se obtuvo de la Compañía Nacional de Fuerza y Luz (CNFL)

este invernadero, teniendo pérdidas totales en 130 m² del cultivo de lirio. Esto, se muestra en la figura 4.31.



Figura 4.31. Afectación inundación en cultivo

Si la densidad promedio de siembra está entre 56 bulbos/m², y el precio de venta de un tallo es de \$0,5, con el tipo de cambio ¹⁰ actual equivale a ₡494,07, se tiene que las pérdidas aproximadas en estos 130 m² de cultivo, rondan los ₡1.798.414, en esta área.

Con esto, se tiene el cuadro resumen, el cual especifica los valores económicos de lo perdido e invertido, cuando suceden las inundaciones o cuando se trata de evitar dicho suceso.

Cuadro 4.30 Rubros de actividades afectadas debido a la inundación

Actividad	Costo (₡)
Bombeo	₡ 282.000,00
Mano obra	₡ 25.848,00
Pérdidas cultivo	₡ 1.798.414,00
<i>Rendimiento Labores</i>	
Siembra	₡ 92.472,00
Cosecha	₡ 318.026,00
Subtotal	₡ 2.516.760,00
Costos no considerados (10%)	₡ 251.676,00
Total	₡ 2.768.436,00

¹⁰ Obtenido del Banco Central de Costa Rica, para el 10 de noviembre del presente año.

Estos valores obtenidos, se obtienen, del análisis de la situación ocurrida ante la posibilidad o generación de las inundaciones, este caso, se basa en lo visto durante la pasantía realizada para la elaboración de este proyecto.

La parte económica del problema de cosecha de aguas, no se involucra en este análisis, debido a la falta de información en cuanto a la cantidad de producto perdido debido a la falta de agua.

4.5.2. Flujo de Caja del Proyecto

Este flujo de caja del proyecto, fue realizado por medio de la ayuda del gerente financiero de la empresa, el cual ayudó a indicar la temática para el desarrollo de este análisis. Con esto, se realizará este análisis utilizando las siguientes consideraciones:

- Se tiene un costo de financiación de las obras de un 10%, esto para el capital propio de la empresa invertido¹¹.
- En este caso, los ingresos de este proyecto, estarán denotados por los ahorros que se pueden dar, debido al no gasto en bombeo, no disminución de rendimientos, mano de obra utilizada y en pérdidas de cultivo, este valor es de ¢ 2.768.436.
- Los egresos, para este análisis, estarán dados por los costos de mantenimiento de las obras, los cuales son el mantenimiento del canal de evacuación de excesos, costos de limpieza de cajas pluviales de sedimentos y reparaciones en general de las obras. Estos egresos, los cuales son estimados, rondan ¢100.000 en mantenimiento de canales abiertos y ¢50.000 en limpieza de cajas pluviales, anualmente. El rubro de las reparaciones, es un valor muy variable, por lo cual es difícil su estimación.
- Los costos de mantenimiento de las obras, aumentan un 6% anualmente, esto debido al aumento salarial aproximado de un 3% semestral y los ingresos aumentan un 8% anualmente.
- La vida útil del proyecto, para canales en tierra, tuberías y obra gris, está calculada en 7 años, esto fuente del Ministerio de Hacienda y el reglamento de impuesto sobre la renta, para determinar la depreciación de los bienes.

¹¹ Fuente: Gerente Financiero de la empresa, Don Mainor Chaves.

Con esto, se procederá a calcular el valor actual neto (VAN), el cual expresa la ganancia neta a valor presente que genera un proyecto o inversión de capital después de cubrir el monto invertido, la tasa interna de retorno (TIR) que representa la tasa promedio de rendimiento por periodo que genera un proyecto sobre su inversión y el costo de beneficio (CB) que expresa la contribución de ganancia que genera un proyecto sobre el monto invertido, es decir, indica cuanto representa el VAN sobre la inversión inicial y el periodo de recuperación de la inversión realizada (PR)

Así, se tiene el cuadro 4.31, el cual resume lo mencionado para este flujo de caja.

Cuadro 4.31 Resumen flujo de caja.

Inversión Inicial (Io)	₪13.837.665,5
Costo de Capital (K)	10%
Vida útil proyecto (VU)	7 años
Valor actual neto (VAN)	₪3.185.100
Tasa interna de Retorno (TIR)	16%
Costo de Beneficio (CB)	0,23
Periodo de recuperación (PR)	5 años y 1 mes

De esta manera, como se muestra en el cuadro 4.31, se aprecia como al final del flujo de caja de 8 años, se tiene que el proyecto ha generado ahorros de ₪3.185.100, monto el cual, la empresa dejaría de estar invirtiendo en bombeos o en pérdidas de producto sembrado, o disminución de los rendimientos de las labores realizadas. Además, como la tasa de rendimiento del proyecto, es mayor que el costo de capital, lo cual es un indicador de factibilidad del proyecto. También, como se tiene una contribución de la ganancia sobre lo invertido de un 23% y un periodo en el cual se recuperaría lo invertido, el cual es de 5 años y 1 mes.

El detalle del flujo de caja, se muestra en el Anexo 20.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- Las inundaciones que se generan en 6.644 m² de cultivo en invernadero, se deben a una mala evacuación de los excesos de aguas del reservorio involucrado. Y estas, generan una afectación de todas las actividades culturales, disminuyendo los rendimientos e imposibilitando las labores en ciertos casos.
- Se determinó que la hipótesis planteada acerca del posible ingreso de aguas con hongos y nemátodos provenientes de los terrenos aledaños a la finca, no era el correcto ya que mediante el análisis de aguas se determinó la no existencia de estos organismos. Más, es un medio, por el cual en un determinado momento, se podría presentar este problema.
- Los terrenos aledaños, generan un aporte de 0,8752 m³/s a las inundaciones, debido a una influencia de 6,08 hectáreas de pastos y ganadería. Estas aguas, se bloquearán y desviarán, mediante un canal guardia.
- Mediante la evaluación del sistema de evacuación de excesos del reservorio del 34, se determinó que este canal, no posee una pendiente adecuada para realizar dicha evacuación. Además, mediante el análisis hidrológico de las precipitaciones, se determinó que no posee las condiciones hidráulicas suficientes en dos tramos, para realizar una evacuación ante un evento máximo.
- Actualmente se aprovecha solamente el 60% del área total con invernaderos para la recolección de aguas de lluvia. Mediante obras para la recolección de aguas, como redirigir aguas hacia los reservorios, que no se estaban aprovechando (40%), se logró maximizar la cosecha de aguas hasta recolectar un 96% del total del área cubierta bajo invernaderos.
- Probabilísticamente, la precipitación anual, genera el suficiente volumen para poder cumplir con las demandas hídricas anuales.
- Se maximizó la recolección de aguas de lluvia, más no se pudo determinar si la capacidad actual de los reservorios es suficiente para almacenar agua para abastecimiento en los meses secos.

- Mediante el análisis financiero del proyecto, se concluye que este es viable, ya que después de un periodo de 5 años y 1 mes, se recupera la inversión inicial, además, generan unos ¢3.185.100 en ahorros y se tiene un porcentaje de retribución de la inversión mayor que la fuente de financiación.

Recomendaciones

- Una vez realizadas las labores en el canal de evacuación de excesos de aguas del reservorio del 34, realizar un levantamiento topográfico del perfil de la rasante inferior, esto para comprobar que la pendiente dada sea la correcta.
- Realizar un mantenimiento del canal de evacuación de excesos del reservorio del 34, mediante chapeas y limpieza de este, para aumentar la capacidad hidráulica y no generar obstrucciones en ninguna parte del tramo del canal.
- Instalar reglas graduadas en los vertederos a la entrada y salida de los reservorios, para cuantificar los caudales entrantes y salientes y así, tener datos reales que sirvan de medida en futuras obras.
- Limpiar las cajas de registro pluvial, las cuales están en las intersecciones entre canales de abastecimiento. Esto, para evitar en la mayor medida posible el arrastre de sedimentos a los reservorios.
- Dirigir las aguas provenientes de los techos, directamente en canales de conducción, esto para aprovechar la recolección de aguas de lluvia.
- Dar mantenimiento a los canales construidos en concreto, removiendo pastos presentes para dar una mayor capacidad a estos canales.
- Utilizar un revestimiento en los canales en tierra, como plástico o concreto, para disminuir las pérdidas por infiltración en la recolección de aguas de lluvia.
- Cuantificar y documentar, datos de afectación de las problemáticas, esto para el desarrollo y justificación de futuros proyectos en la empresa.

6. BIBLIOGRAFIA

- Anaya, M. (2011). *Captación de Agua de Lluvia; Solución caída del cielo* (1ra ed.). Montecillo, Estado de México, México: Colegio de Postgraduados.
- Chow, V. T. (1994). *Hidráulica de Canales Abiertos*. (J. Saldarriaga, Trad.) Bogotá, Colombia: McGraw-Hill Interamericana.
- Chow, V. T., Maidment, D., & Mays, L. (1994). *Hidrología Aplicada*. (J. Saldarriaga, Trad.) Bogotá, Colombia: McGraw-Hill Interamericana.
- Durán, P. (2010). *Captación de agua de lluvia, alternativa sustentable*. Recuperado el 4 de 8 de 2013, de <http://www.conama10.es/conama10/download/files/CT%202010/41008.pdf>
- Durman Esquivel. (2013). *La lista Durman*. Recuperado el 21 de 10 de 2013, de Durman: www.durman.com
- FAO. (Abril de 2013). *Captación y Almacenamiento de Agua de Lluvia*. Recuperado el 4 de 8 de 2013, de http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/AGRO_Noticias/docs/captacion_agua_de_lluvia.pdf
- Fernández, O., & Quesada, A. (2009). *Nematodos Asociados a los Cultivos de Costa Rica*. Costa Rica. Recuperado el 1 de 7 de 2013, de www.mag.go.cr
- Gómez, L. L., & Segura, J. (1964). *Saltos de Agua y Presas de Embalse* (3ra ed.). Madrid, España.
- IBC. (s.f). Recuperado el 16 de 8 de 2013, de <http://video.bulbsonline.org/emag/LilyCutFlowersPotPlants/UK/pdf/PBLELR.pdf>.
- Linsley, R. E., & Franzini, J. B. (1980). *Ingeniería de los Recursos Hidráulicos*. (G. A. Fernandez de Lara, Trad.) México: Compañía Editorial Continental, S.A.
- MAG. (1991). *Aspectos Técnicos sobre Cuarenta y Cinco Cultivos Agrícolas de Costa Rica*. San José, Costa Rica. Recuperado el 1 de 7 de 2013, de www.mag.go.cr
- Salinas Acosta, A. (Febrero de 2010). Recuperado el 27 de 10 de 2013, de Centro Mesoamericano de Desarrollo del Trópico Seco: http://www.cemedede.una.ac.cr/index.php?option=com_phocadownload&view=category&id=3:reservorios&Itemid=1

- Salinas Acosta, A., Rodríguez Quirós, R., & Morales Hidalgo, D. (2010). *Manual de Especificaciones Técnicas Básicas para la Elaboración de Estructuras de Captación de Agua de Lluvia (SCALL) en el Sector Agropecuario de Costa Rica y Recomendaciones para su Utilización*. Centro Mesoamericano de Desarrollo del Trópico Seco (CEDEME). Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), Nicoya. Recuperado el 28 de 10 de 2013, de http://www.academia.edu/293647/Manual_de_Construccion_de_Reservorios_de_Agua_de_Lluvia
- Solórzano, M. (2012). Introducción al Riego Superficial. *Riego Superficial*. Cartago, Costa Rica.
- Villalobos, M. (2005). *Diseño de Drenaje Superficial* (1ra ed.). Cartago, Costa Rica: Editorial Tecnológico de Costa Rica.
- Villalobos, M. (2008). *Riego por Surcos* (1ra ed.). Cartago: Centro de Desarrollo de Material Bibliográfico.
- Villón, M. (2004). *Hidráulica de Canales* (2da ed.). Cartago, Costa Rica: Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- Villón, M. (2004). *Hidrología* (1ra ed.). Cartago, Costa Rica: Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- Villón, M. (2006). *Drenaje* (1ra ed.). Cartago, Costa Rica: Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- Villón, M. (2006). *Hidrología Estadística* (1ra ed.). Cartago, Costa Rica: Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- Villón, M. (2010). *Diseño de Estructuras Hidráulicas* (3ra ed.). Cartago, Costa Rica: Centro de Desarrollo de Material Bibliográfico.
- Villón, M. (2012). *Manual del Usuario de Hidroesta 2*. Cartago, Costa Rica: Centro de Desarrollo de Material Bibliográfico.
- Villón, M. (2012). *Manual Práctico para el Diseño de Canales* (2da ed.). Cartago, Costa Rica: Centro de Desarrollo de Material Bibliográfico.
- Villón, M. (2013). *HEC-HMS* (3ra ed.). Cartago, Costa Rica: Ediciones Centro De Desarrollo de Material Bibliográfico.

ANEXOS

Anexo 1. Cultivos en común con la afectación de ciertos nemátodos de la zona de Llano Grande de Cartago.

LIRIO	CEBOLLA	PAPA	REPOLLO
Helicotylenchus spp.	Helicotylenchus spp.	Helicotylenchus spp.	Helicotylenchus spp.
Meloidogyne spp.		Meloidogyne spp.	Pratylenchus spp.
Pratylenchus spp.		Pratylenchus spp.	
MAÍZ	CULANTRO	PASTO ESTRELLA	PASTO KIKUYO
Helicotylenchus spp.	Helicotylenchus spp.	Helicotylenchus spp.	Meloidogyne spp.
Meloidogyne spp.	Pratylenchus spp.		
Pratylenchus spp.			

Fuente: (Fernández & Quesada, 2009).

Anexo 2. Cultivos con en común con el lirio que presentan enfermedades como Sclerotium, Pythium, Rhizoctonia y Fusarium.

Hongo	Cultivos Presentes
Sclerotium	Lirio, Zanahoria, Cebolla
Rhizoctonia	Lirio, Culantro, Papa, Repollo, Coliflor, Pastos
Pythium	Lirio, Zanahoria, Repollo, Coliflor
Fusarium	Lirio, Zanahoria, Maíz, Papa, Repollo, Coliflor, Pastos.

Fuente: (MAG, 1991)

Anexo 3. Análisis Fitopatológico de Aguas provenientes de terrenos aledaños.

UFC/ml	Microorganismos de interés	Observaciones
2,6x10 ²	Erwinia spp.	
0	Fusarium sp.	
0	Phytophthora sp.	Agua
0	Ralstonia solanacearum	
0	Levaduras	
0	Trichoderma sp.	

Anexo 4. Coeficientes de rugosidad para diversos materiales empleados en la construcción de un canal.

Tipo de Canal	Coeficiente de Manning
<i>Cunetas y canales sin revestir</i>	
En tierra ordinaria, superficie uniforme y lisa	0,020-0,025
En tierra ordinaria, superficie irregular	0,025-0,035
En tierra con ligera vegetación	0,035-0,045
En tierra con vegetación espesa	0,040-0,050
En tierra excavada mecánicamente	0,028-0,033
En roca, superficie uniforme y lisa	0,030-0,035
En roca, superficie con aristas e irregularidades	0,035-0,045
<i>Cunetas y Canales revestidos</i>	
Hormigón	0,013-0,017
Hormigón revestido con gunita	0,016-0,022
Encachado	0,020-0,030
Paredes de hormigón, fondo de grava	0,017-0,020
Paredes encachadas, fondo de grava	0,023-0,033
Revestimiento bituminoso	0,013-0,016
<i>Corrientes Naturales</i>	
Limpias, orillas rectas, fondo uniforme, altura de lámina de agua suficiente	0,027-0,033
Limpias, orillas rectas, fondo uniforme, altura de lámina de agua suficiente, algo de vegetación	0,033-0,040
Limpias, meandros, embalses y remolinos de poca importancia	0,035-0,050
Lentas, con embalses profundos y canales ramificados	0,060-0,080
Lentas, con embalses profundos y canales ramificados, vegetación densa	0,100-0,200
Rugosas, corrientes en terreno rocoso de montaña	0,050-0,080
Áreas de inundación adyacentes al canal ordinario	0,030-0,200



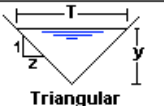
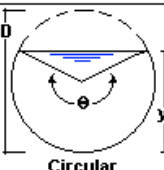
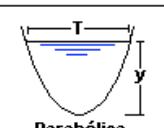
Fuente: (Villón, 2012)

Anexo 5. Velocidades admisibles no erosivas en función de las características de los suelos.

Características de los Suelos	Velocidad máxima (m/s)
Canales en textura arenosa	0,3 a 0,4
Canales en Tierra Arcillosa	1,0
Canales revestidos con piedra y mezcla simple	3,0
Canales con mampostería de piedra y concreto	3,5
Canales revestidos con concreto	6,0
Canales revestidos concreto reforzado	8,0
Pizarra	1,25
Areniscas consolidadas	1,50
Rocas duras, granito, etc	3,0 a 5,0

Fuente: (Anaya, 2011).

Anexo 6. Relaciones Geométricas para diferentes secciones transversales en canales abiertos.

Tipo de sección	Área A (m ²)	Perímetro mojado P (m)	Radio hidráulico Rh (m)	Espejo de agua T (m)
 Rectangular	by	$b+2y$	$\frac{by}{b+2y}$	b
 Trapezoidal	$(b+zy)y$	$b+2y\sqrt{1+z^2}$	$\frac{(b+zy)y}{b+2y\sqrt{1+z^2}}$	$b + 2zy$
 Triangular	zy^2	$2y\sqrt{1+z^2}$	$\frac{zy}{2\sqrt{1+z^2}}$	$2zy$
 Circular	$\frac{(\theta - \text{sen}\theta)D^2}{8}$	$\frac{\theta D}{2}$	$(1 - \frac{\text{sen}\theta}{\theta})\frac{D}{4}$	$(\frac{\text{sen}\theta}{2})D$ ó $2\sqrt{y(D-y)}$
 Parabólica	$\frac{2}{3}Ty$	$T + \frac{8y^2}{3T}$	$\frac{2T^2y}{3T+8y^2}$	$\frac{3A}{2y}$

Anexo 7. Resumen Diario de Precipitación (mm), Año 1994 Estación: 84125 Llano Grande, Finca

Tres

Día	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agst	Sept	Oct	Nov	Dic
1	-	-	-	0	0	0,7	1,8	10,4	0,2	0	0,1	0
2	-	-	-	0	0	3,4	0	2	2,3	0	28,8	0
3	-	-	-	0	0	1,2	3,2	0,2	4,8	1,3	94,2	0
4	-	-	-	0	4,4	3,4	0,6	1,8	2,9	24,5	40	0
5	-	-	-	0	0,2	0	12,9	9,5	0	24,1	40,1	0
6	-	-	-	0	0	0,4	0,5	16,2	0	8,8	39,6	13,1
7	-	-	-	0	9,4	3,9	3,8	17,5	0	12,1	2,5	10,2
8	-	-	-	0	0,3	1	0	0	0	33,1	49	2,7
9	-	-	-	0	0,2	0	0	0	0	13,6	3,5	3,2
10	-	-	-	0	0	0,1	0	0	2,7	57,1	5,4	0
11	-	-	-	0	0	0,1	0,3	0,1	14,6	21,5	3,3	0,6
12	-	-	-	0	1,2	8,6	0,6	10,5	13,8	37,5	1,6	15,5
13	-	-	-	0	1,6	2,8	0,6	0	0	11,3	8	0
14	-	-	-	0	2,6	0	9,3	0	0	9,5	30,2	0
15	-	-	-	0	14,5	0,7	12,9	0	0	4,6	9,1	0
16	-	-	-	0	0,9	4,9	0,3	0	10,6	46,5	0,6	0
17	-	-	-	0	10,5	0,3	0,5	0	0,4	22,1	0	0
18	-	-	-	0	0	0	3,1	3,8	16,2	5,5	2,4	0
19	-	-	-	0	1,3	0	0,2	9,2	17,8	42,9	3	0
20	-	-	-	3,3	15,2	0	19,7	0,3	9,6	3,9	0	0
21	-	-	-	0,3	0	1,4	0,7	11,4	22,4	1	0,3	0
22	-	-	-	0	21,2	0,5	1,5	2,6	11,9	3,1	0	0,5
23	-	-	-	0	17,8	0,4	8,2	1,5	43,4	0,4	8,9	0
24	-	-	-	0	0,8	0	0,5	1	36,2	4,7	3,6	0
25	-	-	-	0	0,4	0	0	0,2	27,2	0,1	0	0
26	-	-	-	2,7	0	0	2,3	0	1,4	1,1	1,4	0
27	-	-	-	19,9	21,2	9,9	0,2	0	11,4	0	0	0
28	-	-	-	25,4	10,4	0	6,2	0	12,4	0	0	0
29	-	-	-	45,8	22,9	0	1,3	0	27,3	0	0	0
30	-	-	-	1,8	17,3	9,1	0	14	9,3	2,9	0	0
31	-	-	-		0,3		8,9	0		2,8		0
Total	-	-	-	99,2	174,6	52,8	100,1	112,2	298,8	396	375,6	45,8

Fuente: Instituto Meteorológico Nacional (IMN), 2013.

Continuación Anexo 7. Resumen Diario de Precipitación (mm), Año 1995.

Día	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agst	Sept	Oct	Nov	Dic
1	0	0	0	12,4	0,4	9,9	15,2	27,3	0	44	12,3	0
2	0	0	0	0,4	5,3	14,6	0	0	0	0,2	0	0
3	0	0	0	0	5,6	20,2	0	12,9	0	0,4	0	0
4	0	0	0	0	4,1	0,3	12,7	7,4	7,6	9,6	6,2	0
5	0	0	0	0	18	2,4	9,1	10,6	35,7	18,6	0	0
6	0	0	0	0	20,4	7,4	1,8	0	42,4	36,2	0	0
7	0	0	0	0	0	41,6	0	0	61,5	9,7	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	10,4	27,4	0	0
9	0	0	0	0	0	2,4	0	18,9	15,6	29,8	11,2	0
10	0	2,4	0	0	0	1,5	1	12,5	16,3	26,2	0	0
11	0	0	0	0	0	15,3	6,5	20,4	7,9	22,7	0	0
12	0	0	0	0	0	48,3	0	10,7	8,6	12,5	0	0
13	0	0	0,7	0	0	0	0,6	15,2	46,2	3	0	0
14	0	0	3,4	6	5,4	25,5	0	21,7	45,8	11,8	0	0
15	0	0	10	0	7,2	11,8	0	16,4	37	61,5	0	0
16	0	0	0	0	0	10,3	0	15,4	1,8	4,9	3,4	0
17	0	0	0	18,6	15,2	30,4	0	20,2	10,5	4,8	0	0
18	0	0	1,1	19,5	0	12,1	0	39,5	2,3	9,4	3,7	0
19	0	0	0	4,6	0,3	0	1,4	19,2	0	8,1	0	0
20	0	0	0	2,9	0	27,1	0	6,8	10,6	0	2,1	0
21	0	0	0	0	0	9,1	7,6	2	76,1	30,2	0	0
22	0,9	1,5	5,6	0	0	1,5	4,7	16,2	8,2	0	5,2	2,7
23	0	0	1,6	0	0	11,2	3,8	20,9	0,6	0,6	16,2	0
24	0	0	0	0	0	5,5	1,4	33,9	19,2	18,6	6,9	0
25	0	2,4	0	0	4,1	0,2	31,4	5,4	18,8	2,9	0	0
26	0	0	0	0	22,9	2,1	24,8	13,8	33,5	14,8	3,4	0
27	0	0	0	11,9	9,6	0	0	30,2	3,7	3,5	3,6	7,7
28	0	0	0	6,9	45,7	0	0	4,2	9,3	0	0	0
29	0		0	0	0,6	0	0	48,8	0	0,5	0	0
30	0		0	5,3	2,6	0	29,1	0	12,5	0	0	0
31	0		0		28		42,8	0,4		0		0
Total	0,9	6,3	22,4	88,5	195,4	310,7	193,9	450,9	542,1	411,9	74,2	10,4

Fuente: Instituto Meteorológico Nacional (IMN), 2013.

Continuación Anexo 7. Resumen Diario de Precipitación (mm), Año 1996

Día	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agst	Sept	Oct	Nov	Dic
1	0	0	0	0	0	2	62,6	0	0	16,3	9,7	1,4
2	2,7	0	0	0	0	6	19,9	0	16,3	13,8	1	0
3	0	0	0	0	0	0	1,2	0	18,9	6,7	16,6	4,3
4	0	58,7	0	0	0	4,2	0	4,5	42,5	0	0	0
5	0	1,3	0	0	1,4	0,4	0	1,4	7,6	4,1	0,4	0
6	0	4,3	0	0	12,8	3,7	0	12,4	1,5	4,4	1,9	0
7	2,6	0	0	0	33,4	0	0,6	3,9	30,5	13,3	0	1,5
8	0,3	0	0	0	1	0	1,9	24,4	0,8	11,9	0	9,5
9	2,2	0	0	0	0	0	0	0	2,8	23,9	2,7	0
10	0	0	0	0	0	13,2	0	0	0,7	37,2	0	0
11	5,9	52,5	0	0	28,4	0	0	0	0	4,9	0	1,1
12	0	37,5	0	0	7,4	0,4	0	2,5	0	1,5	6,6	0
13	0	2,7	0	0	31,2	18,7	0	0	0	16,1	4,1	3,5
14	1,7	0	0	0	44,9	4,5	1	0	12,5	7,4	2,1	0
15	5,4	0	0	0	15,5	21,6	0	0	0	6,2	0	0
16	20,9	0	0	0	18,7	6,4	6	32,3	32,2	34,9	0	0
17	0	0	0	0	44,4	5,5	2,2	2,8	0,5	31,9	14,2	4,5
18	0	0	0	0	31,2	10,9	0	0	0	21,6	31,3	0
19	0	0	0	0	2	0	2,3	3,8	0	0	21,2	0,5
20	0	0	0	0	26,5	0	2,6	0	26,1	0	11,2	0
21	0	0	0	0	3,2	1	6,7	0	25,8	0	12,1	0
22	0	0	0	0	51,4	0	14,6	2,8	0	0	1,4	0
23	0	0	0	0	3,4	8,8	9,4	0	3,5	0	0	0
24	0	0	0	0	19,1	23,8	0	0	26,1	0	0	0
25	0	0	0	0	13,4	19,1	5,3	20,5	10,5	0	2,7	0,7
26	0	0	0	0	19,5	47,2	82,6	25,5	46,7	0,4	31,1	0
27	0	0	0	35,4	0	16,8	25,5	1,2	15,2	0	0	0
28	0	0	10,9	0	15,9	91,3	1,5	1	12,5	0	0	0
29	0	0	6	8,9	33,2	24,2	0	17,1	7,7	0	0	0
30	0		18,4	27,1	24,2	22,5	0	0	4,3	0	1,2	0
31	0		0		17,7		0	0		22,6		0
Total	41,7	157	35,3	71,4	499,8	352,2	245,9	156,1	345,2	279,1	171,5	27

Fuente: Instituto Meteorológico Nacional (IMN), 2013.

Continuación Anexo 7. Resumen Diario de Precipitación (mm), Año 1997

Día	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agst	Sept	Oct	Nov	Dic
1	0	0	0	0	0	12,6	3	2,6	0,3	26,8	18,4	7,5
2	0	0	0	0	30,5	5,8	0	2,4	0,8	30,7	29,8	0
3	0	0	0	0	9,2	0	0,8	22,2	0	45,1	38,7	0
4	0	0	0	0	0	20	0	0	0	23,8	31,6	0
5	0	0	0	0	0	21,2	4,9	0	0	3,8	32,7	0
6	0	0	0	0	0	2,5	1,5	0	22,8	21,2	35,6	0
7	0	0	0	0	13,7	10	8	3,6	0	43,3	12,5	0
8	0	0	0	0	0	5,7	0	5	0	1	7,9	0
9	0	0	0	0	2,9	0	0,4	0	17,9	1,4	29,1	0
10	5,3	1,5	0	0	14	0	0	0	3,5	8,1	13,5	0
11	0,7	0	0	0	22,4	26,8	0	0	0	13,9	0	0
12	0	3,3	0	0	8,6	8,2	0	0	1	13,1	0,6	0
13	0	6	0	0	20,4	16,4	0	0	2,9	3,2	15,2	0
14	0	0	0	0	5,4	18,3	0	0	0	15,7	0	0
15	0	0	0	0	1,4	3,1	2,1	0	27	56,5	0	0
16	0	0	0	0	0	9,6	1	3,5	25,2	34,1	0	0
17	6	0	0	0	0,2	18,2	3,1	1,4	2,2	0,2	13,5	0
18	0	0	0	0	0	8,1	0	2,4	0	0,3	32,1	0
19	1,7	0	2,4	0	0	0,8	0	0	14,9	0	0,3	0
20	0	0	1,2	19,3	14,4	9,1	0	0	0,9	0	0	0
21	0	0	0	53,2	6	0	0	0	4,4	3,5	0	0
22	0	1,2	0	26,5	0	0	0	1,2	0,4	0	0	0
23	0	0	0	0	21,5	0	0	3,2	27,2	0	0	0
24	0	0	0	21,2	0	13,2	0	0	32,2	0	1,9	0
25	0	0	0	15,1	0,3	16	5,6	0	11,3	0	9,5	0
26	0	0	0	0	0,4	0,5	1,8	0	16,3	2,2	0,7	0
27	0	0	0	0	0	0	2,1	22,8	15	8,6	9,9	0
28	0	6	0	0	116	8,5	7	5,2	9	1,5	14,8	0
29	0		0	0	25,3	5,6	0	2,1	0	1,7	16,8	10,2
30	0		0	0	14,5	0	2,5	0	5,4	2,6	10,5	0
31	0		0		17,8		0	0		0		0
Total	13,7	18	3,6	135,3	344,9	240,2	43,8	77,6	240,6	362,3	375,6	17,7

Fuente: Instituto Meteorológico Nacional (IMN), 2013.

Continuación Anexo 7. Resumen Diario de Precipitación (mm), Año 1998.

Día	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agst	Sept	Oct	Nov	Dic
1	0	0	0	0	0	3,1	0	0	0	0	11,1	2,7
2	0	0	0	0	0	4	14,5	1,3	20,5	0	18,7	0
3	0	0	0	0	0	31,5	0,9	0,4	7,7	3,3	10,5	60
4	0	0	0	0	0	0,3	3	0	24,9	0,3	25	5,5
5	0	0	0	0	0	8	30	10	8,5	47	40	5,2
6	0	0	0	0	0	0	25	2	2,5	2,3	0	3,5
7	0	0	0	0	0	26	6,5	3,3	39,2	24,2	0	1,3
8	0	0	0	0	0	5,5	13	0,8	4,3	0	0	0
9	0	0	0	0	0	2	7,3	0	2,9	11,5	0	17,8
10	0	0	7,8	0	0	0,5	28,8	0	30,8	32,5	0	0,5
11	0	0	0	0	0	0	0	0	46,2	74	0	0
12	0	0	0	0	0	0	6,2	10	63,6	37	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0,2	12,3	37,7	5,5	0	3,6
14	0	0	0	0	0	31	0	1,6	1,4	21,6	16,5	0,5
15	0	0	0	0	0	10	0	3	1	0	3	0
16	0	0	0	0	0	0	0	6,5	53	0	0	16,5
17	0	0	0	0	0	0	0	0,5	0	51,2	0,7	5,2
18	0	0	0	0	7	13,5	0	2,9	0	0	24	8,3
19	0	0	0	0	14	42,3	0	30	0	8,3	23	0
20	0	0	0	0	0	23	0	20	0,7	26,5	4,9	19,5
21	0	0	6,5	0	0	29	5	0	15,6	0	9,7	19,5
22	0	0	0	0	0	0,7	21,5	5	0	15,5	0,7	0
23	0	0	0	0	15	0	0	2	10	1,6	0	0
24	0	0	0	0	0,8	0	1,8	16,5	36	75	0	0
25	0	2,6	0	0	22	0	4	0	8,1	4,2	0	0
26	0	0	0	0	28	4,7	5,5	29	0	32	13,5	0
27	0	0	0	0	43,3	15,4	12,6	20,4	29,4	45	0	11,5
28	0	0	0	0	34,5	21	0,7	0	16	2,5	16,5	0
29	0		0	0	3,7	0	1,3	3,2	0	0	32,8	1
30	0		0	0	17,5	0	2	7,7	0	0	6,6	0
31	0		0		2,5		0	2,7		62	-	0
Total	0	2,6	14,3	0	188,3	271,5	189,8	191,1	460	583	257,2	182,1

Fuente: Instituto Meteorológico Nacional (IMN), 2013.

Continuación Anexo 7. Resumen Diario de Precipitación (mm), Año 1999

Día	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agst	Sept	Oct	Nov	Dic
1	0	0	0	0	66,5	0,9	0,8	56,6	0,7	26,5	18,5	7,8
2	0	0	0	0	0	5,5	0	21,5	4,5	30,7	34,5	5,4
3	0	0	0	3,5	0	30,5	2,2	23	5,5	16	5,2	27,2
4	1,2	0	0	0	14,3	2,5	0	3,5	8,6	18,3	8,6	8,4
5	0	0	0	0	0	35,7	0	0	0	29,7	2	3,4
6	0	0	0	0	0	20,9	0	0	4,5	6,5	12,1	0
7	0	0	0	0	0	19,4	0	9	27,1	2	8,9	0
8	0	0	0	0	8,3	11,5	0	6	28	27	1,1	1
9	0	0	0	0	7	0	56,3	24	7,3	22,5	38,2	0
10	0	0	0	3,5	5,8	0	13,9	4	5,7	8,8	0,2	0
11	2,5	0	0	0	25,5	7	0	1,5	0	3	7,6	60,5
12	0,2	2	0	0	17,7	41,7	0	8	1	12,5	19,6	3,4
13	0	3	0	0	0	2,3	0	0	15,8	29	15,2	0
14	0	0	3	0	0	0,7	0	37,7	4,5	35,5	0	8,7
15	0	52	1,2	23,2	6,5	6,8	0	0	10	5	0	0
16	0	4,6	6,5	3,1	42,5	5,4	0	0	23,5	21	1,7	11,6
17	0	18	0	0	3,5	18,5	9	0,2	39,8	23	1,7	13,6
18	0	0,5	0	2,2	21	2,4	0	17	13,2	31	5,1	0
19	0	0	0	0	30,2	23,5	0	0	3,3	42	0	4,3
20	0	0	0	0	8,5	41	0	5,2	22,5	21	10	0
21	0	0	0	0	0	27,5	0	14,2	49,5	13,5	7,6	0
22	0	0	0	0,5	4,5	0	3,7	14,2	17,5	1	0,4	0,2
23	0	0	0	8,5	35,7	0	0	57	3,5	16,2	0	0
24	0	0	0	9,7	0	1,3	0,8	10	55,5	1,5	0	0
25	0	0	0	22,5	0	23,2	3,6	3	2,5	0,7	0	1,1
26	0	0	0	48,3	0	9	8	0,5	8,5	10	0	0
27	0	0	0	19	0	24,7	0	10,5	3,2	0	0	0
28	0	0	0	57	2,5	79,5	1,5	0	3,8	0,4	11,4	0
29	0		0	26,2	0	4	0,6	16,2	60	18,1	16,2	0
30	0		0	32,2	0	8	0	28,2	12,5	2,7	0,9	0
31	0		0		11,4		8	10,9		0		4,1
Total	3,9	80,1	10,7	259,4	311,4	453,4	108,4	381,9	442	475,1	226,7	160,7

Fuente: Instituto Meteorológico Nacional (IMN), 2013.

Continuación Anexo 7. Resumen Diario de Precipitación (mm), Año 2000

Día	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agst	Sept	Oct	Nov	Dic
1	4,1	0	0	0	5,1	28,2	0	10,5	1,4	19,1	31,5	10,5
2	0	0	0	0	0,3	0	0,4	1,6	29,5	2,4	44,5	29,8
3	0	16,2	0	0	0	1,5	0,5	1,8	1	0,4	9,7	11,5
4	1,4	0,1	0	0	0	5,7	0	3,8	17,5	35,3	5,2	7,9
5	0,5	0	0	0	0	5,6	0	31,7	7	5,8	1,8	7,1
6	2,5	0	0,7	0	2,8	3,4	6,1	23	7,1	1,2	0	0,2
7	5,9	0	4,7	0	23,5	2,4	0,5	14,7	0	0	0	0
8	0	0	0	3,7	0,5	1,5	0,4	58	0,1	3,9	0	1,9
9	1,6	0	0	0	0,1	1,5	0	13,4	10,5	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0,3	0	0	7,2	1,8	1,2	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	3,8	0,4	19,1	0
12	1,2	0	0	0	0	1,2	0	0	20,4	11,5	0	0
13	5,1	0	0	0	0,9	0	2,1	0	3,2	8	0	0,5
14	14,4	0	0	0,6	1,8	6,3	1,6	0,6	0,3	4,5	0	0
15	0	0	0	7,2	4,4	18	0	0	25,4	18,6	0	0
16	0	0	0	18,5	8,5	4,6	12,5	0	30,5	11,5	2	0
17	0,5	0,5	0	2,8	13,1	31,4	0	2,4	15,9	0,3	3,2	0
18	0	0	0	0	12,5	2,5	0	3,7	0,2	0	6,3	0
19	0	0	0	0	0,3	0,2	0	0	9,9	8,7	16,1	0
20	0	2,7	0	0,9	8,3	1,6	0	0	5,1	0,5	2,3	0
21	0	2,1	0	0	5,6	0,2	2,4	1	21,5	5,6	0	0
22	0	0,2	0	3,1	0,1	1,8	4,9	0,7	0	14,8	0	0
23	0	0	0	0	0	81,5	0	1,9	0	0	0	0
24	0	0	0	0	6,6	29,6	0,6	1,3	22,2	3	0	0
25	0	2,7	0	0	0,8	56,8	3,6	0	14,1	3,2	0	0
26	0	0,1	0	0	18,1	7,2	3,9	0	28,3	8	0	0
27	0	0	0	0	14,9	1,5	47,4	0	2,1	1,7	0,6	0
28	0	0	0	0,1	2,2	0	15,9	0	25,2	21,5	0	0
29	0	0	0	0	22,6	0	0,4	1,1	9,1	43,2	24,4	0
30	0		0	0,2	17,4	1,9	1,7	0	32	36,4	35	0
31	0		0		8		24,3	0		16		0
Total	37,2	24,6	5,4	37,1	178,4	296,4	129,2	171,2	350,5	287,3	202,9	69,4

Fuente: Instituto Meteorológico Nacional (IMN), 2013.

Continuación Anexo 7. Resumen Diario de Precipitación (mm), Año 2001.

Día	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agst	Sept	Oct	Nov	Dic
1	7,5	0	0	2,5	0	4,8	0	0	0	0	3,4	0
2	15,2	0	0	0	0	40,7	0	2,9	7,4	0	5,9	0
3	0,9	0	0	0	0	24,2	0	0	3,8	0	17,1	0
4	0	0	0	0	0	11,3	0,6	0	43	14,5	2,5	2,8
5	0	0	0	0	0	0,9	0,6	0	1,9	2,8	8,7	0,8
6	1,8	0	0	0	0	2,2	0,3	0	8,4	0	3,2	4,1
7	0	0	0	0	0	1,1	9,8	2,5	7,4	8,6	0,9	1,2
8	0	0	0	4,1	7,5	8	6	0	19,4	0	4,8	0
9	0	0	0	6,9	0	2,8	30,2	0	0	0	5,2	0
10	0	5,6	0	0	0	0	24,4	0,6	0	1,2	4,4	5,7
11	0	0	0	0	0	0	41,2	0,4	10,4	4,9	6	15,9
12	0	0	0	1	0	0	0	0	10,5	0,4	12,2	0,6
13	0	0	0	7,1	0	0	0	0	35,1	0	26,5	2,8
14	0	0	0	9,6	0	0	0	12,2	0,6	1,4	14,4	0
15	0	0	0	23,1	28,9	0	0	7,4	0	1,9	14,7	0
16	0	0	0	3,6	0	0	14,1	2,4	0	2,9	19,2	0
17	0	0	0	0,1	5,1	0	0	3,3	0	3,6	4,6	0
18	0	0	0,8	15,9	0	0	20,5	0	6	26,1	3,6	2,1
19	0	0	0	0	12,1	0	1,5	0	3,5	28,9	6,2	4,6
20	1,9	0	0	0	1,5	0	0	31,1	1,7	1,7	3,6	16,6
21	0	0	0	0	2,8	3,1	4,1	21,8	6,3	48,5	6,1	0
22	0	0	0	0	8,4	0	0	16,3	4,5	26,2	0,6	0
23	2,1	0	0	0	7,7	0	0	0	19,6	2,3	0,8	0
24	1,2	0	0,4	0	12,7	17,1	0	0	4,9	0	9,2	0
25	8,2	0	0	0	0	1,6	0	0	7,5	9,9	0,7	0,9
26	1,4	0	0	0	1,1	0,5	0	0	21,8	4,6	9,6	0
27	0	0	0	0	0	1,6	0	7,2	16,2	4,5	0	0
28	0	0	0	0	9,6	11,2	0	0	0,6	17,6	0	0
29	0		0	9,9	0,2	2,4	0	3,2	0	12,9	0	9
30	0		0	0,2	1,8	0,4	4,2	0	0	9,4	0	0,2
31	0		0		8,1		1,4	0		12,9		0
Total	40,2	5,6	1,2	84	107,5	133,9	158,9	111,3	240,5	247,7	194,1	67,3

Fuente: Instituto Meteorológico Nacional (IMN), 2013.

Continuación Anexo 7. Resumen Diario de Precipitación (mm), Año 2002.

Día	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agst	Sept	Oct	Nov	Dic
1	0	0	0	0	2,7	12,3	6,7	0	0,2	4,7	0	0
2	0,4	0	0	0	21,4	0,2	0	0	0,5	1,9	0	0
3	0	0	0	0	10,4	25,1	0	0,2	3,3	0	0	0
4	0	0	0	0	35,4	17,8	10,4	0,3	7,5	0	3,8	0
5	0	0	0	0	3,5	23,8	8	9,3	1	0,8	0	0
6	49,3	0	0	0	3,9	0	5,4	0,9	0	1,1	7,3	0
7	5,7	0	0	0	2	33,7	12,2	0	0,4	50,4	73,4	0
8	6,9	0	0	0	2,1	16,1	0,2	0	0	4,3	5,8	0
9	0,4	0	0	0	26,3	21,9	0	0	9,4	0,3	0,3	0
10	0	0	0	0	3,1	6,2	0,4	0	14,2	4,9	0	0
11	0	0	0	0	0,6	22,9	16,8	0	12,5	23,7	0	0
12	0	0	0	0	0	0,2	0,9	3,1	7	0	0	0
13	0	0	0	0	3,7	0	0	1,7	0	24,7	0	0
14	0	0	0	0	0,8	0	0,6	10,6	0,4	6,6	0	0,4
15	0	0	0,7	0	2,9	0	0	0,9	5,4	39,1	0	0
16	0	0	0	0	0,7	0	1,4	0,1	2	8,2	47,2	0
17	0	0	0,6	0	30,4	6,9	1	0,8	0,8	26,3	34,6	0,9
18	0	0	0	0	36,2	0	15,3	8,9	10,8	1,2	3,4	0
19	0	0	0,3	0	10,4	0	38,4	0,8	1,3	32,5	0	0
20	0	0	0	0	9,4	0,8	2,4	21,1	24,1	0,6	0	0
21	0	2,2	0	0	16,2	0	0,2	10,8	9,5	1,1	0,4	0
22	0	0,6	0	9,2	1,9	1	0	0,1	1,9	5,4	7,5	0
23	0	0,3	0	2,4	4,4	0	0	6,1	1,4	40,7	14,3	0
24	0	0	0	0	38,2	0	0	44,2	33,6	0	0	0
25	0	0	0	0	40,9	18,2	16,8	42,4	1,3	5,7	0	0
26	0	0	0	0	26,1	12,3	1,8	2,3	19,1	0,6	0	0
27	0	0	0	0	17,2	0	0	53,2	32,1	6,7	1,6	0
28	0	0	0	0	19,3	1	5,4	4,7	1,7	19,6	1,6	0
29	0		0	0	0	0,2	0,4	27,6	16,1	25,5	33,4	0
30	0		0	0	60,8	-	0,9	8,3	14,3	23,4	0,2	0
31	0		0		0,4		0,3	0,7		0,2		0
Total	62,7	3,1	1,6	11,6	431,3	220,6	145,9	259,1	231,8	360,2	234,8	1,3

Fuente: Instituto Meteorológico Nacional (IMN), 2013.

Continuación Anexo 7. Resumen Diario de Precipitación (mm), Año 2003.

Día	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agst	Sept	Oct	Nov	Dic
1	0	0	0	0,3	7,9	26,6	0	0,2	0,2	1,9	13,4	4,3
2	0	0	0	0	0	1,2	2,4	0	0	11,5	18,7	0,6
3	0	0	0	0	0	31,6	13,5	0	10,2	0,4	5	0
4	0	0	0	0	25,1	22,3	1,1	0,1	0,2	2,1	1,4	0
5	1,6	0	0	0	2,6	15,2	0	0	19,2	34,1	0	2,4
6	0	0	0	0	6,1	7,1	0	8,8	10,6	33,8	0	0,5
7	0	0	0	1,7	5,9	9,9	0	0	0	20,7	9,3	0,8
8	0	0	0	7,7	0,3	0	0	3,5	0	44,2	6,3	0,3
9	0	0	0	1,9	0,6	0,6	3,7	0,3	9,1	0	15,2	55,1
10	0	0	0	0,3	10,2	39,6	1,4	0,2	13,1	0	8,8	83,2
11	0	0	0	0	25,7	89,4	2,5	0,5	14,1	6	2,8	8,6
12	0	0	0	0	2,1	25,4	6,7	3,9	7,9	45,5	43,9	0,3
13	0,6	0	1,4	9,1	9,8	5,7	16,9	11,5	5,4	19,7	0,6	0,1
14	0	0	1,1	0	1	34,8	1,7	0,7	2,1	21,5	35	0
15	0	0	3,7	0	14,1	4,1	2,1	21,2	13,8	11,8	0	0
16	0	0	3,3	0	2,6	6,3	0,3	20,9	4,8	12,1	0,6	5,2
17	0	0	0,9	0	19,8	70,8	0,2	0	6,1	30,3	0,8	0
18	0,1	0	0	0	4,2	11,1	0,1	0,1	2,9	7,5	9,4	2,1
19	0	0	0	0	0,3	1,2	0	5,5	6,1	4,7	1,3	3,4
20	0,6	0	2,9	0	0,3	8,7	6,1	0	0,7	25	7,1	12,1
21	0	0	0	9,5	13,1	11,2	7,7	1	3,9	26,2	3,4	0
22	0	0	0	12,5	25,2	14,1	1,2	8,6	29,6	4,2	22,7	0
23	0,6	0	0	5,9	6,1	1,4	0,2	1,3	86,2	32,6	36,7	28,6
24	2,7	0	1,4	0,2	20,2	18,9	0	0	0	7,6	0,5	0
25	4,9	0	11,2	0	21,1	0	3,5	0	2,6	21,6	0,9	0
26	1,3	0	0,5	0	59,5	0,1	0,3	0,2	47,2	37,1	0	0
27	0,8	0	0	0	8,4	0	0	1,4	4,9	18,1	15,8	0
28	0	0	0	7,1	3,9	0	0,7	0	0	0,4	19,2	1
29	0		0,6	0,5	22,3	4,8	6,1	0	0	2,5	17,6	0
30	0		6,9	0	29,1	0,8	26,6	7,6	0	0	11,9	0
31	0		11,7		8,9		1,2	0		0,9		0
Total	13,2	0	45,6	56,7	356,4	462,9	106,2	97,5	300,9	484	308,3	208,6

Fuente: Instituto Meteorológico Nacional (IMN), 2013.

Continuación Anexo 7. Resumen Diario de Precipitación (mm), Año 2004.

Día	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agst	Sept	Oct	Nov	Dic
1	0	0	0	0	16,8	8,6	0	0,4	0	22,6	12,1	0
2	0	0	0	0	1,7	0,4	0	0	0	0	0,4	0
3	0	0	0	0	17,9	0	0	2,6	0,2	0	42,7	0
4	0	0	0	0	1,6	28,5	6,9	0,3	3,4	2,8	14,7	0
5	0	0	3,5	0	1,5	5,9	4,2	0,2	25,4	27,4	87,3	5,9
6	0	0	0,1	0	0,4	2,8	16,2	0	16,6	0	112,2	1,2
7	0	0	0	0	1,9	0,3	4,1	0	0,7	6,8	52,3	1,6
8	0	0	0	0	13,9	0,3	0,2	0,1	21,2	0	16,4	0
9	0	0,3	0	0	1,7	22,1	5,3	0	23,3	24,3	0,2	0
10	0	0	1,9	0	0,2	0,1	3,8	0	7,1	0,5	0	0
11	0	0	1,4	0	9,5	0	1,2	0	1,2	17,2	0	0
12	0	0	0	0	0,2	0	43,5	0	2,4	0,2	0	0
13	0	0	0	0	7,9	0	5,9	2,1	6,5	0	4,9	3,9
14	0	0	0	1,6	21,9	6,9	0,3	7,4	4,8	0	1,6	1,3
15	0	0	0	0,3	26,9	0	1,2	0,3	1,1	0	8,1	0,3
16	0	0	0	0,6	32,7	4,7	0	2,5	43,5	2,4	0,2	7,8
17	0	0	0	6,5	29,5	2,6	0	3,5	107,3	11,8	0	6,6
18	0	0	0	2,5	51,5	1,3	1,2	3,6	9,2	6,8	0	18,1
19	0	0	0	1,5	12,5	2,3	0,2	2,5	45,6	0,2	0	14,3
20	0	0	0	0,7	7,5	3	0	0,3	2,1	8,4	1,5	0
21	0	0	0	2,5	74,1	0,1	0	0	0	19,1	0,2	0
22	1,7	6,9	0	0,5	26,3	0	17,2	4,4	0	1,2	19,8	0
23	0	0,4	0	1,3	0,8	0,4	1,3	6,1	7	0,8	0	0
24	0	0	0	0	10	0	0	6,1	0,2	15,9	10,7	0
25	0	0	0	1,5	1,8	2	0	1,7	18,9	3,5	0,4	0
26	0	2,1	0	0,8	4,6	0	0	9,5	0	16,9	1,3	4
27	0	0,2	6,1	0,1	10,4	2,8	0,9	0,2	1,3	52,4	0	5,4
28	0	0	9,4	3,3	0	1	0	0,5	28,5	22,2	0	0
29	0	0	0,9	0,2	2,4	6,1	0	1,6	29,2	6,8	0	0
30	0		0,2	0	0	0,3	0	8,7	12,7	0,3	-	0
31	0		0		16,2		0	1,1		0		0
Total	1,7	9,9	23,5	23,9	404,3	102,5	113,6	65,7	419,4	270,5	387	70,4

Fuente: Instituto Meteorológico Nacional (IMN), 2013.

Continuación Anexo 7. Resumen Diario de Precipitación (mm), Año 2005

Día	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agst	Sept	Oct	Nov	Dic
1	0	0	0	0	0	21,5	41,9	0,2	11,8	25,1	3,9	0
2	0,9	0	0	0	35,9	26,8	2,9	14,1	0	30,2	4,4	0
3	2,9	0	0	0	5,7	41,5	0	0	0	17,3	34,5	0
4	0	0	0	0	0,3	58,8	0	0	0	0,5	25,1	0
5	0	0	0	0	0	0,5	0,7	0	0	0,6	0	0
6	0	0	0	0	11,1	55,3	0	0	0	10,7	0,5	0,1
7	13,4	0	0	24,2	19,5	14,7	4,8	0	1,1	29,7	16,1	0
8	9,6	0	0	0,2	21,3	6,1	0,2	3,1	0	29,8	2,6	0
9	0,3	0	0	15,7	8,9	0	2,1	19,1	4,2	14,2	27,2	0
10	0	0	0	0,1	27,8	0	96,6	0,8	1,3	13,7	4,4	0,8
11	0	0	0	0	0	34,1	0	1,6	0	8,2	4,6	12,5
12	0	0	0	0	5,1	13,7	23,2	11,9	1,2	6,7	13,1	3,6
13	6,7	0	0	0	2,7	1,1	0,1	1,1	0	5,2	24,2	0
14	0,3	0	0	0	37,6	0	10	1,5	0	4,8	11,6	0
15	8,4	7,1	0	0,8	27,1	0,5	10	8,1	0	20,3	16,6	0
16	0,6	0,4	29,2	4,3	49,3	0	2,1	23,5	0,9	19,9	5,9	0
17	0,2	0	0	11,4	4,4	0,2	0	9,3	0	24,7	1,6	0
18	2,1	0	0	0,4	9,1	0	0	8,9	42,7	29,7	4,3	0
19	0	0	0	0	8,3	0	7,2	0	37,6	22,7	0	0
20	0	0	0	0	4,6	0	39,4	0,2	35,5	45,8	1,8	0
21	0	0	0	0	2	0	0	8,3	1,7	16,8	27,9	0
22	0	0	0	0	28,5	47,1	0	0,2	38,8	24,3	0,2	0
23	0	0	0	0	13,2	23,6	0	1,7	9,3	17,6	0,8	0
24	0	0	0	0	0	18,5	0	1,7	9,8	8,4	0	0,8
25	0	0	0	0	0	4,3	1,7	33,7	3,4	14,4	0	8,5
26	0	0	0	0	1,6	0,2	5,1	2,9	14,3	14,1	0	2,9
27	0	0	3,6	0	0,3	0,3	5,3	36,5	32,5	1	0	0,2
28	0	0	0,2	0	0	6,9	7,5	0	15,2	0,4	0	0
29	0		0	0	0	2,9	0	0	43,1	0,7	0	0
30	2,2		0	0	21,9	-	6,7	0	25,3	28,7	0	0
31	0		0		12,1		0	0,7		1,2		0
Total	47,6	7,5	33	57,1	358,3	378,6	267,5	189,1	329,7	487,4	231,3	29,4

Fuente: Instituto Meteorológico Nacional (IMN), 2013.

Continuación Anexo 7. Resumen Diario de Precipitación (mm), Año 2006.

Día	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agst	Sept	Oct	Nov	Dic
1	0	0,2	0	0	0	1,3	0	0	3,3	0	10,4	7,5
2	0	3,9	0	0	0	86,6	0	0	0	0,8	1,9	0
3	0	12,1	0	0	0	0,7	0,9	0	0,3	1,6	0	0,3
4	0	0,1	0	0	0	16,2	0	0	0,1	0	0	0,2
5	1,1	1,6	0	0	0	14,8	1,6	1,4	26,6	1,6	5,5	1,9
6	2,6	0	0	0	0	1,2	2,4	0,6	10,9	1,1	7,1	0
7	4,6	0	0	0	10,5	1,2	0	0	26,8	15,4	0,9	0
8	0,5	0	0	1,2	39,7	6,6	8,7	0	36,7	3,6	5,8	0
9	0	0	0	0,1	26,5	26,1	0	13,3	41,2	57,7	0	0
10	0	0	0	4,1	3,7	2,8	0	0	0	10,7	5,3	26,6
11	0	0	0	0,3	2,3	0,2	1,8	0	0	0,4	8,4	0,2
12	0	4,8	0	0	0	9,3	24,2	0	0	0	0	0
13	0	0,2	0	0	0	27,7	0,3	1,9	1,9	0	1,6	0,4
14	6,8	0	0	0	6,9	4,1	3,4	7,7	12,3	2,9	6,1	0
15	14,8	0	0	0	3,9	5,6	1,3	2,1	19,4	3,7	18,3	0
16	3,8	0	0	0	24,4	1,6	41,8	0,1	22,5	15,2	13,3	0
17	0	0	0	0	1	0	4,2	9,7	30,9	7,6	18,9	0
18	0	0	0	0	33,1	0	6,7	16,8	19,9	16,8	1,1	0
19	0	0	0	0	21,4	0	2,9	23,4	30,9	38,2	10,7	0
20	0	0	0	0	1,4	0,4	6,4	0	8,6	0,5	0,6	0
21	0	0	0	0	2,3	0	1,8	0	0	9,6	0,2	0
22	0	0	1,6	0	1,7	0	0	0	0	0,7	0	0
23	0	0	1,7	0	0,3	1	0,5	2,6	0	0	0	0
24	0	0	0,4	16,7	0	5,5	0	25,2	0,4	0	0	0
25	0	0	0	9,5	0,3	0,2	6,3	2,6	0	0,5	2,6	3,3
26	0	0	0	0	2,3	6,8	7,1	12,7	0	0	10,9	2,6
27	0,4	0	0	1,4	0	1,9	5,9	0,3	0	0	41,6	0,4
28	1,9	0	14,6	0	2,2	2,3	41,2	0	2,7	6,2	6,1	0
29	0		6,2	0	2,5	0,3	17,4	0	2,5	13,1	7,4	0
30	0		0	0	22,3	0	0,6	0	0	4,5	0	0
31	0		0		19,6		0	2,1		32,2		0
Total	36,5	22,9	24,5	33,3	228,3	224,4	187,4	122,5	297,9	244,6	184,7	43,4

Fuente: Instituto Meteorológico Nacional (IMN), 2013.

Continuación Anexo 7. Resumen Diario de Precipitación (mm), Año 2007.

Día	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agst	Sept	Oct	Nov	Dic
1	0	0	0	0	28	0	0	0	2	17,4	6,2	0
2	0	0	0	0	57	0	0	1,2	44,4	70,2	2,2	0
3	0,9	0	0	3,1	16,8	4,6	1	2,3	0	18,4	0	3
4	0,4	0	0	0	10	0	5,5	6,4	20,3	4,4	15,6	0,8
5	0	0	0	3,3	49,2	0	0	2	3,5	52,5	21,5	5,7
6	0	0	0	4,1	15,1	0	2	24,3	0	4,6	13	0
7	0	0	0	0,4	0	0	12,4	0	0	7,5	26,6	3,2
8	0	0	0	0	2,5	6,7	10,7	1,3	31	7,2	4,2	1,5
9	0	0	0	14,1	2,7	10,8	2,3	0	2,5	33,5	7,5	1,7
10	0	0	2,5	18,7	0	0	16,1	13,5	0	4	3,6	0
11	0,3	0	0	0	9	8	38,1	22,4	0	96	8,5	0
12	0,3	0	0	0	5,1	10	3	1,1	0	18,5	6,5	0
13	0	0	0	0,7	0	0	10,8	12,5	4,5	0,5	1,2	0
14	0	0	0	12,8	32,2	0	3,6	1,3	3,5	0	4,4	0
15	0	0	0	0	5,2	1,8	0	0	10	5,2	2,8	0
16	0	0	0	0	12,3	0	1,6	2,8	0	33	3,1	0
17	0	0	0	0	29,2	0	5,8	23,4	9,5	3	0,5	0
18	0	2,5	0	0	30,8	0	0	43,4	23,3	24,2	0	0
19	0	2,5	0	0	7	3	1,4	15	16,4	23,5	7	0
20	0	4,4	0	0	33,1	3,5	10,2	0,8	13	11,3	0	0
21	0	0	0	0	0,3	0	16,8	1,6	0	9,2	0	4
22	0	0	0	0	13,8	12,5	4,8	11,5	0	0	0	0
23	0	0	0	0	30	0	0	17,5	8	15,5	0	0,6
24	0	0	0	0	4	1	0	13,5	0	9,2	0	13
25	0	0	0	0	1,5	0	0,6	3,4	1,1	7,7	0,4	0
26	0	0	0	3,1	5,5	1	15	36,2	1,3	3,5	0	1,1
27	0	0	0	16,6	2,3	3	2,1	14,2	17,2	1,4	0	0
28	0	0	0	0	0	9,3	2,4	0	2	9,4	0	0
29	0		0	31,6	16,5	0	9,2	0	7,5	9,6	0	0
30	0		0	6,1	8	0	0	24,4	22,4	15,5	0	0
31	0		0		0		0	15,4		-		0
Total	1,9	9,4	2,5	114,6	427,1	75,2	175,4	311,4	243,4	515,9	134,8	34,6

Fuente: Instituto Meteorológico Nacional (IMN), 2013.

Continuación Anexo 7. Resumen Diario de Precipitación (mm), Año 2008.

Día	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agst	Sept	Oct	Nov	Dic
1	0	0	0	0	0	0	10	2	12	59	23,2	45
2	0	0	0	0	2,6	0	0,5	2	37,1	21,2	3,6	9,5
3	0	0	0	4,6	0	6,1	20,3	3,3	2,6	8,5	6,1	1,5
4	0	0	0	0,4	0	0	24,5	0	5,5	1,5	4,2	0
5	1,5	0	0	11	0	19,2	0	6	0	9,5	13,5	1
6	0	0	0	10,5	0	1	0,4	7,2	3,2	23,5	16,4	0
7	0	0	0	0	17,8	20,2	0	0	6,3	29,2	36,5	0
8	0	0	0	0,5	10,2	47,3	16,8	5	2,1	0	12	0
9	0	0	0	0,6	7,7	9,5	18,2	0,2	0,5	1,8	3	0
10	0	0	0	8,1	0,5	0	2,4	8,5	3,6	11	2,7	0
11	0	0	0	0	0	9,3	0	29,7	0	58	15,7	0
12	0	0	0	0	0	11,3	14	0	1,1	4	0	7,5
13	0	0	16	4,5	0	3,8	0	0	15,4	18,2	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	13,6	17,5	24,5	0	0
15	0	0	0	0	0	0	17,3	9,8	4,9	53,1	4	0
16	0	0	0	3,2	0	0	38,1	27,6	6,7	5,7	15	0
17	0	0	0	3,5	17,6	2,6	5,2	11,6	5,3	33,2	34,6	0
18	0	2,1	0	1,6	1,2	0	16,3	11	19,2	41,5	4,6	0
19	0	0	2,1	0	19,6	0	1,3	0	27,2	4,4	0	0
20	0	0	0	0	60,1	0	0	2,3	3,3	47,2	16,7	0
21	0	0	0	0	35,7	0	0	4,2	0	0	28,8	2
22	0	0	0	0	25,2	4,4	8	4,2	60,5	0	59,5	0
23	0	0	0	0	38,7	0	0	36	0	0	12,5	0
24	1,5	0	0	0	63	0	0	15,3	2,2	1,5	3,2	0
25	0	0	0	0	6,8	0,5	5	8,1	27,4	0	24,4	0
26	0	0	0	0	12,7	8,1	0	13,2	53,5	0	0	0
27	0	0	0	0	37,2	0	0	25,5	12	9	11,3	0
28	0	0	0	12,5	68,5	3,3	48,2	11,5	56,3	0	0	0
29	0	0	0	6,5	7,7	0	39	14,2	14,5	8,2	17,5	0
30	0		0	0	0,7	6,2	7,1	10,5	85	0	1,7	0
31	0		0		6,3		0	48,5		6,7		0
Total	3	2,1	18,1	67,5	439,8	152,8	292,6	331	484,9	480,4	370,7	66,5

Fuente: Instituto Meteorológico Nacional (IMN), 2013.

Continuación Anexo 7. Resumen Diario de Precipitación (mm), Año 2009.

Día	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agst	Sept	Oct	Nov	Dic
1	0	0	0	0,2	1,6	0	1,4	0	0	0,4	56	0
2	0	0	0,3	0,5	5,5	0,1	5,5	0	0,4	0,8	14,8	2,3
3	0	0	0	0	0,7	0,9	0	10,6	0	3,6	26	2,6
4	0	7,7	0	0	4,3	35,2	12,1	2,9	1,2	44	5,6	0
5	0	5	0	0	0,2	5,6	4,9	3,8	0	0,6	0	0,2
6	3	1,5	0	0	1,9	6,7	0	0,1	0	0,1	24,6	0
7	0	3	1,4	0	0	5,5	0	4	0	1,3	0	1,1
8	0	0	0	0	1,8	0,1	0	6,3	0	0	0	0,2
9	0	0	0	0	0,4	0,2	9,5	0,1	9,4	3	0,6	0,5
10	0	0	0	0	0	13,1	0	0,1	10,3	9	1,1	0
11	0	0	0	0	11,7	21,3	0	0	0	1,4	27,4	0
12	0	0	0	0	14,5	25	0	2,7	0	0	1,6	0,4
13	0	0	0	0	1	8,7	0	0,3	0	0	12,4	0
14	0	0	0	0	0,1	0,1	1,4	20,9	0	0	0,9	0,3
15	0	1,3	0	0	11	6,8	0,1	26,4	0	0,3	0,7	0,2
16	0	0	0	0	0,1	0,1	10,6	0,8	0,1	0	0	0
17	0	0	0	0	1,2	12,1	3,1	0	0,7	8,6	0,2	0
18	5,2	0	0	0	4,2	7,2	0,5	26,2	21	0,8	0	0
19	3,2	0	0	0	1,5	8,3	0,1	12,1	0	29	1,4	1,2
20	0	1	0	0	1,1	10,7	5,3	0,2	0	3,7	0	5,1
21	0	0	0	0	0,3	3,7	0,1	0	0,8	0	8,6	0
22	0	0	0	0	26,1	2,4	0	0	0,2	118	6,1	0
23	0	0	0	4,2	5,2	25,4	0,8	0,2	4,6	37,5	11,4	0
24	10,5	0	0	0	2,9	37	0,1	0	0	6	0,4	0
25	0	0	0	0	6,6	0	2	0	0	8	10,2	0
26	0	0	0	0,1	3,5	1,7	0	0	0,8	0,8	0,6	0
27	0	0	0	0	13	36	0	0	8,6	0,9	0	0
28	0	0,2	0	0	5,8	6,1	0,1	0	0	69	0	0
29	0		0	0	31,3	0,2	10,2	4	0	9,5	0,2	0
30	0,5		0	0	0,8	0,1	0	0	0,2	0	0,1	0
31	0		0,4		0,1		0	0		24,9		0
Total	22,4	19,7	2,1	5	158,4	280,3	67,8	121,7	58,3	381,2	210,9	14,1

Fuente: Instituto Meteorológico Nacional (IMN), 2013.

Anexo 8. Temperaturas mensuales, en °C, para el periodo 1992- 2012, recolectados de la Estación 84125, Finca Tres Llano Grande

Año	Ene		Feb		Mar		Abr		May		Jun		Jul		Ago		Sep		Oct		Nov		Dic	
	Max (°C)	Min (°C)	Max (°C)	Min (°C)	Max (°C)	Min (°C)	Max (°C)	Min (°C)	Max (°C)	Min (°C)	Max (°C)	Min (°C)	Max (°C)	Min (°C)	Max (°C)	Min (°C)	Max (°C)	Min (°C)	Max (°C)	Min (°C)	Max (°C)	Min (°C)	Max (°C)	Min (°C)
1990	19,8	5,2	20,1	3,8	20,5	4,8	21,1	7,4	19,1	7	19,5	8,5	18,9	8,3	19,3	9	19,5	8,7	18,3	8,4	19,2	8		
1991			21,2	4,3	20,8	3,4	19,7	5,9	18,3	9,3	18,9	9,3	19,2	9,3	19,1	9	18,5	11	17,8	8,6	17,6	7,1	18,4	5,6
1992	19,3	5	19,6	4,3	20,3	4,9	19,9	6,2	19,1	8,1	19	8,9	18,3	8,7	18,3	8,1	17,7	8,2			18,4	6,8	18,7	6,5
1993	18,6	6,1	19,8	3,8	19,6	4,5	19,5	6,3	18,6	9,4	18,4	9,4	19,1	9,1	18,5	10,3	17	10,5	17,9	10,3	17,1	9,7	17,3	8,4
1994	17,6	8	18	8,2	19	8	18,5	9,3	18,2	10,8	17,9	10,7	17,2	10,5	18,1	10,5	17,9	10,6	17,3	9,9	17	10,3	17,8	9,3
1995	17,9	8	17,8	8,4	18,7		18,7	10,6	18,2	10,6	18,2	11,6		10,5		10,6	17,5	10,1	16,9		17,3	10,6	17,7	9,1
1996	17,1	8,6	17,5	8,7	18,2	8,9	18,3	9,2	17,7	10,7	17,5	10,5	17,9	10	17,6	10,3	17,4	10,5	17,3	10,1	16,5	9,9	16,7	8,3
1997	17,4	7,9	17,6	8,7	18,6	8,2	18,8	9,1	17,9	10,6	17,9	11,1	18,9	12,1	19,1	12	18,5	11,8	18,7	12,1	18,1	11,9	19,1	10,9
1998	20,2	10,4	21	11,6	20,4	12,1	20,8	11,7	19,6	12,9	18,4	11,6	17,9	11,5	18,3	10,8	17,8	10,7	17,3		17,2	10,4	16,4	9,9
1999	17,1	8,5	17,1	9,6	18,3	9,1	18,3	10	17,1	11,3	17,1	11,2	17,7	11	17	11,1	16,7	11,4	16,6	11,3	16,9	10,8	16,3	10,2
2000	16,5	9,2	16,5	8,7	17,6	9	18,3	10,3	18,1	11,4	18	11,6	17,5	11	18,1	11,4	17,8	11,2	17,1	11,2	17,5	10,9	17,2	9,9
2001	16,5	9	17,4	8,6	18,5	9,9	18	10	18,1	11,6	18	11,8	17,7	11,5	18,6	11,9	17,4	11,4	17,7	11,7	16,4	11,8	17,3	11,1
2002	17,6	10,2	17,7	9,1	18,7	9,4	18,5	10	18,2	12,2	18,3	11,9	17,9	11,8	18,1	12,2	18,3	11,8	17,4	11,5	17,8	10,7	17,9	10,4
2003	17,6	9,9	18,6	9,6	19	10,5	19	11,1	18,2	12,1	17,6	12,1	18	11,6	17,9	11,6	18,1	11,6	17,6	11,9	17,6	11,5	16,9	10,6
2004	17,4	9,3	18,2	9,4	18,5	9,8	19	11,2	17,6	12,2	18,1	12	17,3	11,2	18,3	11,7	17,8	11,7	17,4	11,5	17,2	11,1	17,3	10,1
2005	16,9	10,1	17,7	8,9	19	11,2	18,8	11,9	18,2	12,2	18,1	12,8	18,7	11,9	18,3	11,6	18,6	11,5	16,8	11,6	16,9	11	17,5	9,5
2006	17,7	9,2	18	8,4	19,1	9,3	18,9	9,8	18,5	11	18,1		18,9		19		18,8		18,4		17,4		18,4	
2007	18,2		20,1		19,9		19,6		18,5	12,1	18,4	11,4	18,5	11,1	18,4	11	18,4	11	16,9	11,1	17	10,6	17	8,9
2008	17,8	8	18,4	8,9	18,7	8,8	18,3	10	18,1	11,1	18,3	11,1	17,7	11,1	18,1	11	18,1	11,3	17,2	11	17,1	10,7	17,8	9,2
2009	17,8	8,5	18,4	8,8	19,5	8,7	20,9	9,9	18,8	11,4	19,1	11,5	19,3	11,6	19	11,7	19,8	11,5	18,5	11,7	17,5	11,3	18,6	10,3
2010	19,1	10	20,2	11,1	20,4	10,8	20,5	12,1	18,7	12,5	18,1	12,1	17,6	12	17,6	12,1	17	11,9	16,9	11,1	16,2	10,7	16,3	9,5
2011	17,2	9,5	18,1	9,2	18,1	8,6	18,3	10,5	17,9	11,9	18,4	12,1	18,1	11,5	18,1	11,4	17,8	11,3	16,6	11,4	16,2	10,7	16,9	9,9
2012	17,8	8,3	19,1	8,6	20,1	9,8		10,6	19,5	11,6	18,7	11,2	18,7	11,1	18,6	11	18,6	10,6	16,8	10,7		10,9	17,5	10,3
Promedio	17,9	8,5	18,6	8,2	19,2	8,6	19,2	9,7	18,4	11,0	18,3	11,1	18,2	10,8	18,3	10,9	18,0	10,9	17,4	10,9	17,3	10,3	17,5	9,4

Fuente: Instituto Meteorológico Nacional (IMN), 2013.

Anexo 9. Determinación de los parámetros de la ecuación de intensidad máxima.

Método Empírico con Ecuación de Grobe, conocido como Dick y Peschke

De la información suministrada por el Instituto Meteorológico Nacional (IMN) de la Estación 84125 Llano Grande Finca Tres y del proceso de cálculo de la precipitación de diseño, en el cual se determinaba la precipitación máxima para 1 día, se tiene el siguiente cuadro.

Precipitación máxima absoluta para 24 h, del periodo 1994 – 2009.

Año	P_{máx.} en 24 h (mm)
1994	94,2
1995	76,1
1996	91,3
1997	116
1998	75
1999	79,5
2000	81,5
2001	48,5
2002	73,4
2003	89,4
2004	112,2
2005	96,6
2006	86,6
2007	96
2008	85
2009	118

Al utilizar la ecuación 18 propuesta por Dick y Peschke se obtienen las precipitaciones para diferentes duraciones, las cuales se muestran a continuación.

Precipitaciones máximas, para diferentes duraciones.

Año	Pmax en 24 h(mm)	Duración (min)					
		15	30	60	120	180	240
1994	94,2	30,09	35,79	42,56	50,61	56,01	60,19
1995	76,1	24,31	28,91	34,38	40,89	45,25	48,62
1996	91,3	29,17	34,69	41,25	49,05	54,29	58,34
1997	116	37,06	44,07	52,41	62,33	68,97	74,12
1998	75	23,96	28,49	33,89	40,30	44,60	47,92
1999	79,5	25,40	30,20	35,92	42,71	47,27	50,80
2000	81,5	26,04	30,96	36,82	43,79	48,46	52,07
2001	48,5	15,49	18,43	21,91	26,06	28,84	30,99
2002	73,4	23,45	27,89	33,16	39,44	43,64	46,90
2003	89,4	28,56	33,96	40,39	48,03	53,16	57,12
2004	112,2	35,84	42,63	50,69	60,28	66,71	71,69
2005	96,6	30,86	36,70	43,64	51,90	57,44	61,72
2006	86,6	27,67	32,90	39,13	46,53	51,49	55,33
2007	96	30,67	36,47	43,37	51,58	57,08	61,34
2008	85	27,16	32,29	38,40	45,67	50,54	54,31
2009	118	37,70	44,83	53,31	63,40	70,16	75,40

Estas precipitaciones con diferentes duraciones, se transforman a intensidades, utilizando la ecuación 19, con lo cual se obtiene el cuadro siguiente.

Intensidades máximas de precipitación, para diferentes duraciones.

Año	Duración (min)					
	15	30	60	120	180	240
1994	120,38	71,58	42,56	25,31	18,67	15,05
1995	97,25	57,82	34,38	20,44	15,08	12,16
1996	116,67	69,37	41,25	24,53	18,10	14,58
1997	148,23	88,14	52,41	31,16	22,99	18,53
1998	95,84	56,99	33,89	20,15	14,87	11,98
1999	101,59	60,41	35,92	21,36	15,76	12,70
2000	104,15	61,93	36,82	21,89	16,15	13,02
2001	61,98	36,85	21,91	13,03	9,61	7,75
2002	93,80	55,77	33,16	19,72	14,55	11,72
2003	114,24	67,93	40,39	24,02	17,72	14,28
2004	143,38	85,25	50,69	30,14	22,24	17,92
2005	123,44	73,40	43,64	25,95	19,15	15,43
2006	110,66	65,80	39,13	23,26	17,16	13,83
2007	122,68	72,94	43,37	25,79	19,03	15,33
2008	108,62	64,59	38,40	22,83	16,85	13,58
2009	150,79	89,66	53,31	31,70	23,39	18,85

A estas intensidades, se les debe de determinar el periodo de retorno para lo cual se ordenan descendientemente y se determina este periodo con la ecuación de Weibull, los resultados se muestran a continuación

Periodo de retorno (T) en años, para las intensidades máximas con diferente duración.

Nº de Orden m	T (años)	Duración (min)					
		15	30	60	120	180	240
1	17,00	150,79	89,66	53,31	31,70	23,39	18,85
2	8,50	148,23	88,14	52,41	31,16	22,99	18,53
3	5,67	143,38	85,25	50,69	30,14	22,24	17,92
4	4,25	123,44	73,40	43,64	25,95	19,15	15,43
5	3,40	122,68	72,94	43,37	25,79	19,03	15,33
6	2,83	120,38	71,58	42,56	25,31	18,67	15,05
7	2,43	116,67	69,37	41,25	24,53	18,10	14,58
8	2,13	114,24	67,93	40,39	24,02	17,72	14,28
9	1,89	110,66	65,80	39,13	23,26	17,16	13,83
10	1,70	108,62	64,59	38,40	22,83	16,85	13,58
11	1,55	104,15	61,93	36,82	21,89	16,15	13,02
12	1,42	101,59	60,41	35,92	21,36	15,76	12,70
13	1,31	97,25	57,82	34,38	20,44	15,08	12,16
14	1,21	95,84	56,99	33,89	20,15	14,87	11,98
15	1,13	93,80	55,77	33,16	19,72	14,55	11,72
16	1,06	61,98	36,85	21,91	13,03	9,61	7,75

Para determinar los parámetros de la ecuación de la intensidad máxima, se debe realizar una regresión lineal múltiple, para lo cual se necesitan los cálculos mostrados a continuación.

Cálculos requeridos para estimación de parámetros de la ecuación de Dick y Peschke.

I (mm/h)	T (años)	D (min)	Y = ln I	X ₁ = ln T	X ₂ = ln D	Y * X ₁	Y * X ₂	X ₁ * X ₂	X ₁ ²	X ₂ ²
150,79	17,00	15	5,016	2,833	2,708	14,211	13,583	7,672	8,027	7,334
89,66	17,00	30	4,496	2,833	3,401	12,738	15,292	9,636	8,027	11,568
53,31	17,00	60	3,976	2,833	4,094	11,265	16,280	11,600	8,027	16,764
31,70	17,00	120	3,456	2,833	4,787	9,792	16,547	13,564	8,027	22,920
23,39	17,00	180	3,152	2,833	5,193	8,931	16,369	14,713	8,027	26,967
18,85	17,00	240	2,936	2,833	5,481	8,320	16,094	15,528	8,027	30,037
148,23	8,50	15	4,999	2,140	2,708	10,698	13,537	5,795	4,580	7,334
88,14	8,50	30	4,479	2,140	3,401	9,585	15,234	7,279	4,580	11,568

Continuación de Cálculos requeridos para estimación de parámetros de la ecuación de Dick y Peschke.

I (mm/h)	T (años)	D (min)	Y = ln I	X ₁ = ln T	X ₂ = ln D	Y * X ₁	Y * X ₂	X ₁ * X ₂	X ₁ ²	X ₂ ²
52,41	8,50	60	3,959	2,140	4,094	8,473	16,210	8,762	4,580	16,764
31,16	8,50	120	3,439	2,140	4,787	7,360	16,465	10,246	4,580	22,920
22,99	8,50	180	3,135	2,140	5,193	6,709	16,281	11,113	4,580	26,967
18,53	8,50	240	2,919	2,140	5,481	6,248	16,000	11,729	4,580	30,037
143,38	5,67	15	4,965	1,735	2,708	8,616	13,447	4,699	3,011	7,334
85,25	5,67	30	4,446	1,735	3,401	7,714	15,120	5,902	3,011	11,568
50,69	5,67	60	3,926	1,735	4,094	6,812	16,073	7,104	3,011	16,764
30,14	5,67	120	3,406	1,735	4,787	5,910	16,306	8,307	3,011	22,920
22,24	5,67	180	3,102	1,735	5,193	5,382	16,108	9,011	3,011	26,967
17,92	5,67	240	2,886	1,735	5,481	5,008	15,817	9,510	3,011	30,037
123,44	4,25	15	4,816	1,447	2,708	6,968	13,041	3,918	2,094	7,334
73,40	4,25	30	4,296	1,447	3,401	6,216	14,611	4,921	2,094	11,568
43,64	4,25	60	3,776	1,447	4,094	5,464	15,461	5,924	2,094	16,764
25,95	4,25	120	3,256	1,447	4,787	4,711	15,589	6,927	2,094	22,920
19,15	4,25	180	2,952	1,447	5,193	4,271	15,330	7,514	2,094	26,967
15,43	4,25	240	2,736	1,447	5,481	3,959	14,997	7,930	2,094	30,037
122,68	3,40	15	4,810	1,224	2,708	5,886	13,025	3,314	1,498	7,334
72,94	3,40	30	4,290	1,224	3,401	5,250	14,590	4,162	1,498	11,568
43,37	3,40	60	3,770	1,224	4,094	4,613	15,435	5,011	1,498	16,764
25,79	3,40	120	3,250	1,224	4,787	3,977	15,559	5,859	1,498	22,920
19,03	3,40	180	2,946	1,224	5,193	3,605	15,298	6,355	1,498	26,967
15,33	3,40	240	2,730	1,224	5,481	3,341	14,963	6,707	1,498	30,037
		Σ=	112,32	56,27	128,32	212,03	458,66	240,71	115,25	577,95
120,38	2,83	15	4,791	1,040	2,708	4,984	12,973	2,817	1,082	7,334
71,58	2,83	30	4,271	1,040	3,401	4,443	14,526	3,538	1,082	11,568
42,56	2,83	60	3,751	1,040	4,094	3,902	15,358	4,259	1,082	16,764
25,31	2,83	120	3,231	1,040	4,787	3,361	15,469	4,980	1,082	22,920
18,67	2,83	180	2,927	1,040	5,193	3,045	15,200	5,402	1,082	26,967
15,05	2,83	240	2,711	1,040	5,481	2,820	14,859	5,701	1,082	30,037
116,67	2,43	15	4,759	0,888	2,708	4,226	12,889	2,404	0,788	7,334
69,37	2,43	30	4,239	0,888	3,401	3,764	14,419	3,020	0,788	11,568
41,25	2,43	60	3,720	0,888	4,094	3,303	15,229	3,635	0,788	16,764
24,53	2,43	120	3,200	0,888	4,787	2,841	15,319	4,251	0,788	22,920
18,10	2,43	180	2,896	0,888	5,193	2,571	15,037	4,611	0,788	26,967
14,58	2,43	240	2,680	0,888	5,481	2,379	14,688	4,866	0,788	30,037
114,24	2,13	15	4,738	0,756	2,708	3,583	12,832	2,048	0,572	7,334
67,93	2,13	30	4,218	0,756	3,401	3,190	14,348	2,572	0,572	11,568
40,39	2,13	60	3,699	0,756	4,094	2,797	15,143	3,096	0,572	16,764
24,02	2,13	120	3,179	0,756	4,787	2,404	15,218	3,620	0,572	22,920
17,72	2,13	180	2,875	0,756	5,193	2,174	14,928	3,927	0,572	26,967

Continuación de Cálculos requeridos para estimación de parámetros de la ecuación de Dick y Peschke.

I (mm/h)	T (años)	D (min)	Y = ln I	X₁ = ln T	X₂ = ln D	Y * X₁	Y * X₂	X₁ * X₂	X₁²	X₂²
14,28	2,13	240	2,659	0,756	5,481	2,010	14,572	4,144	0,572	30,037
110,66	1,89	15	4,707	0,637	2,708	2,996	12,745	1,724	0,405	7,334
65,80	1,89	30	4,187	0,637	3,401	2,665	14,240	2,165	0,405	11,568
39,13	1,89	60	3,667	0,637	4,094	2,334	15,013	2,606	0,405	16,764
23,26	1,89	120	3,147	0,637	4,787	2,003	15,066	3,048	0,405	22,920
17,16	1,89	180	2,843	0,637	5,193	1,810	14,763	3,306	0,405	26,967
13,83	1,89	240	2,627	0,637	5,481	1,672	14,398	3,489	0,405	30,037
108,62	1,70	15	4,688	0,531	2,708	2,488	12,695	1,437	0,282	7,334
64,59	1,70	30	4,168	0,531	3,401	2,212	14,176	1,805	0,282	11,568
38,40	1,70	60	3,648	0,531	4,094	1,936	14,937	2,173	0,282	16,764
22,83	1,70	120	3,128	0,531	4,787	1,660	14,977	2,540	0,282	22,920
16,85	1,70	180	2,824	0,531	5,193	1,499	14,666	2,756	0,282	26,967
13,58	1,70	240	2,608	0,531	5,481	1,384	14,296	2,908	0,282	30,037
		Σ=	106,78	23,11	128,32	82,45	434,98	98,85	18,77	577,95
104,15	1,55	15	4,646	0,438	2,708	2,036	12,581	1,187	0,192	7,334
61,93	1,55	30	4,126	0,438	3,401	1,808	14,033	1,491	0,192	11,568
36,82	1,55	60	3,606	0,438	4,094	1,580	14,765	1,794	0,192	16,764
21,89	1,55	120	3,086	0,438	4,787	1,353	14,775	2,098	0,192	22,920
16,15	1,55	180	2,782	0,438	5,193	1,219	14,447	2,276	0,192	26,967
13,02	1,55	240	2,566	0,438	5,481	1,125	14,065	2,402	0,192	30,037
101,59	1,42	15	4,621	0,351	2,708	1,620	12,514	0,950	0,123	7,334
60,41	1,42	30	4,101	0,351	3,401	1,438	13,949	1,193	0,123	11,568
35,92	1,42	60	3,581	0,351	4,094	1,256	14,663	1,436	0,123	16,764
21,36	1,42	120	3,061	0,351	4,787	1,073	14,656	1,679	0,123	22,920
15,76	1,42	180	2,757	0,351	5,193	0,967	14,318	1,821	0,123	26,967
12,70	1,42	240	2,542	0,351	5,481	0,891	13,929	1,922	0,123	30,037
97,25	1,31	15	4,577	0,270	2,708	1,236	12,395	0,731	0,073	7,334
57,82	1,31	30	4,057	0,270	3,401	1,096	13,800	0,918	0,073	11,568
34,38	1,31	60	3,538	0,270	4,094	0,955	14,484	1,106	0,073	16,764
20,44	1,31	120	3,018	0,270	4,787	0,815	14,447	1,293	0,073	22,920
15,08	1,31	180	2,714	0,270	5,193	0,733	14,091	1,402	0,073	26,967
12,16	1,31	240	2,498	0,270	5,481	0,674	13,690	1,480	0,073	30,037
95,84	1,21	15	4,563	0,191	2,708	0,870	12,356	0,516	0,036	7,334
56,99	1,21	30	4,043	0,191	3,401	0,771	13,750	0,648	0,036	11,568
33,89	1,21	60	3,523	0,191	4,094	0,672	14,424	0,780	0,036	16,764
20,15	1,21	120	3,003	0,191	4,787	0,572	14,377	0,913	0,036	22,920
14,87	1,21	180	2,699	0,191	5,193	0,514	14,016	0,990	0,036	26,967
11,98	1,21	240	2,483	0,191	5,481	0,473	13,610	1,045	0,036	30,037
93,80	1,13	15	4,541	0,122	2,708	0,555	12,298	0,331	0,015	7,334
55,77	1,13	30	4,021	0,122	3,401	0,491	13,677	0,416	0,015	11,568

Continuación de Cálculos requeridos para estimación de parámetros de la ecuación de Dick y Peschke.

I (mm/h)	T (años)	D (min)	Y = ln I	X ₁ = ln T	X ₂ = ln D	Y * X ₁	Y * X ₂	X ₁ * X ₂	X ₁ ²	X ₂ ²
33,16	1,13	60	3,501	0,122	4,094	0,428	14,336	0,500	0,015	16,764
19,72	1,13	120	2,982	0,122	4,787	0,364	14,274	0,585	0,015	22,920
14,55	1,13	180	2,677	0,122	5,193	0,327	13,904	0,635	0,015	26,967
11,72	1,13	240	2,462	0,122	5,481	0,301	13,492	0,670	0,015	30,037
		Σ=	102,38	8,23	128,32	28,22	416,12	35,21	2,64	577,95
61,98	1,06	15	4,127	0,058	2,708	0,240	11,176	0,158	0,003	7,334
36,85	1,06	30	3,607	0,058	3,401	0,210	12,268	0,198	0,003	11,568
21,91	1,06	60	3,087	0,058	4,094	0,180	12,639	0,239	0,003	16,764
13,03	1,06	120	2,567	0,058	4,787	0,150	12,290	0,279	0,003	22,920
9,61	1,06	180	2,263	0,058	5,193	0,132	11,752	0,303	0,003	26,967
7,75	1,06	240	2,047	0,058	5,481	0,119	11,221	0,319	0,003	30,037
		Σ=	17,70	0,35	25,66	1,03	71,35	1,50	0,02	115,59

Con el uso de esta información, para resolver el sistema de 3 ecuaciones lineales con tres incógnitas, ecuación 23, se tiene el siguiente cuadro resumen de los valores requeridos.

Valores requeridos para resolver sistema de ecuaciones lineales.

Parámetro	Valor
n	96
Σ Y	339,1804
Σ X ₁	87,9642
Σ X ₂	410,6349
Σ Y*X ₁	323,7345
Σ Y*X ₂	1381,1023
Σ X ₁ *X ₂	376,2623
Σ X ₁ ²	136,6843
Σ X ₂ ²	1849,4339

De esta manera, el sistema de ecuaciones lineales queda de la siguiente forma:

$$\begin{cases} \sum Y = a_0 * n + a_1 \sum x_1 + a_2 \sum x_2 \\ \sum x_1 * Y = a_0 \sum x_1 + a_1 \sum x_1^2 + a_2 \sum x_1 x_2 \dots \dots \dots \dots \dots \dots (23) \\ \sum x_2 * Y = a_0 \sum x_2 + a_1 \sum x_1 x_2 + a_2 \sum x_2^2 \end{cases}$$

Sustituyendo en (23), con los valores mostrados en anteriormente, se tiene:

$$\begin{cases} 339.1804 = a_0 * 96 + a_1 * 87.9642 + a_2 * 410.6349 \\ 323.7345 = a_0 * 87.9642 + a_1 * 136.6843 + a_2 * 376.2623 \\ 1381.1023 = a_0 * 410.6349 + a_1 * 376.2623 + a_2 * 1849.4339 \end{cases}$$

Resolviendo este sistema de ecuaciones lineales de tres incógnitas, se tienen los valores de a_0 , a_1 y a_2 los cuales son:

$$a_0 = 6,5297 \qquad a_1 = 0,2308 \qquad a_2 = -0,75$$

Estos valores, son equivalentes a las siguientes relaciones:

$$Y = Ln I \qquad c = Ln K \qquad x_1 = Ln T \qquad x_2 = Ln D$$

Donde:

$$a_0 = c \qquad a_1 = a \qquad a_2 = b$$

Despejando el valor de c , se tiene:

$$c = Ln K \quad \rightarrow \quad K = e^c \quad \rightarrow \quad K = e^{6,5297} \quad \rightarrow \quad K = \mathbf{685,1926}$$

De esta manera, sustituyendo en la ecuación 21 se obtiene la expresión

$$Y = c + ax_1 + bx_2 \dots \dots \dots (21)$$

$$Y = 6,5297 + 0,2308 x_1 - 0,75 x_2$$

Y devolviendo el cambio de variable para realizar la regresión lineal múltiple

$$Ln I = Ln K + a Ln T + b Ln D \dots \dots \dots (20)$$

$$Ln I = Ln 685,1926 + 0,2308 Ln T - 0,75 Ln D$$

Se tiene la ecuación de la intensidad máxima, para una duración (D) y un determinado periodo de retorno (T).

$$I = K * T^a * D^b \dots \dots \dots (17)$$

Con esto para la zona de Llano Grande de Cartago, ubicación de la empresa P&F, utilizando los datos de la Estación 84125 Finca Tres, se obtiene la ecuación de la intensidad de lluvia:

$$I = \mathbf{685,1926} * T^{0,2308} * D^{-0,75} \dots \dots \dots (17)$$

Anexo 10. Dimensiones a lo largo del perfil del canal de evacuación de excesos.

Punto	b (m)	Boca (m)	H (m)
162	0,47	0,9	1,1
165	0,47	0,7	0,9
166	0,47	0,7	1,2
167	0,47	0,96	2
168	0,4	0,85	1,45
170	0,4	1,23	1,6
172	0,32	0,95	1,5
174	0,32	0,73	1,55
175	0,3	0,75	1,65
183	0,3	0,8	0,9
184	0,3	1,2	2
188	0,3	1,2	2
191	0,3	1,2	2
194	0,28	1,2	2
197	0,3	1,3	2,1
199	0,37	1,22	2
204	0,37	1,1	2
214	0,7	1,3	1,7
224	0,5	1,35	1,8
227	0,36	1,8	1,15
232	0,32	1,2	2
240	0,35	1,6	3
245	0,4	1,6	3
248	0,4	1,6	3
266	0,4	1,5	3
266	0,3	0,9	1,4
269	0,5	0,5	0,5
272	0,85	0,85	0,5
272	0,85	1,3	0,6
273	0,9	1,25	1,45
280	0,55	1,3	1,1
282	0,9	1	0,9
284	0,8	1	0,3
286	0,7	0,7	0,6
289	0,5	0,7	0,6
295	0,5	0,9	0,6
298	0,65	0,9	0,8
302	0,5	0,9	1,2
303	0,66	0,9	0,6
304	0,7	0,9	0,9
308	0,45	0,6	0,9
311	0,45	0,9	1

Anexo 11. Tensoras ubicadas entre invernaderos



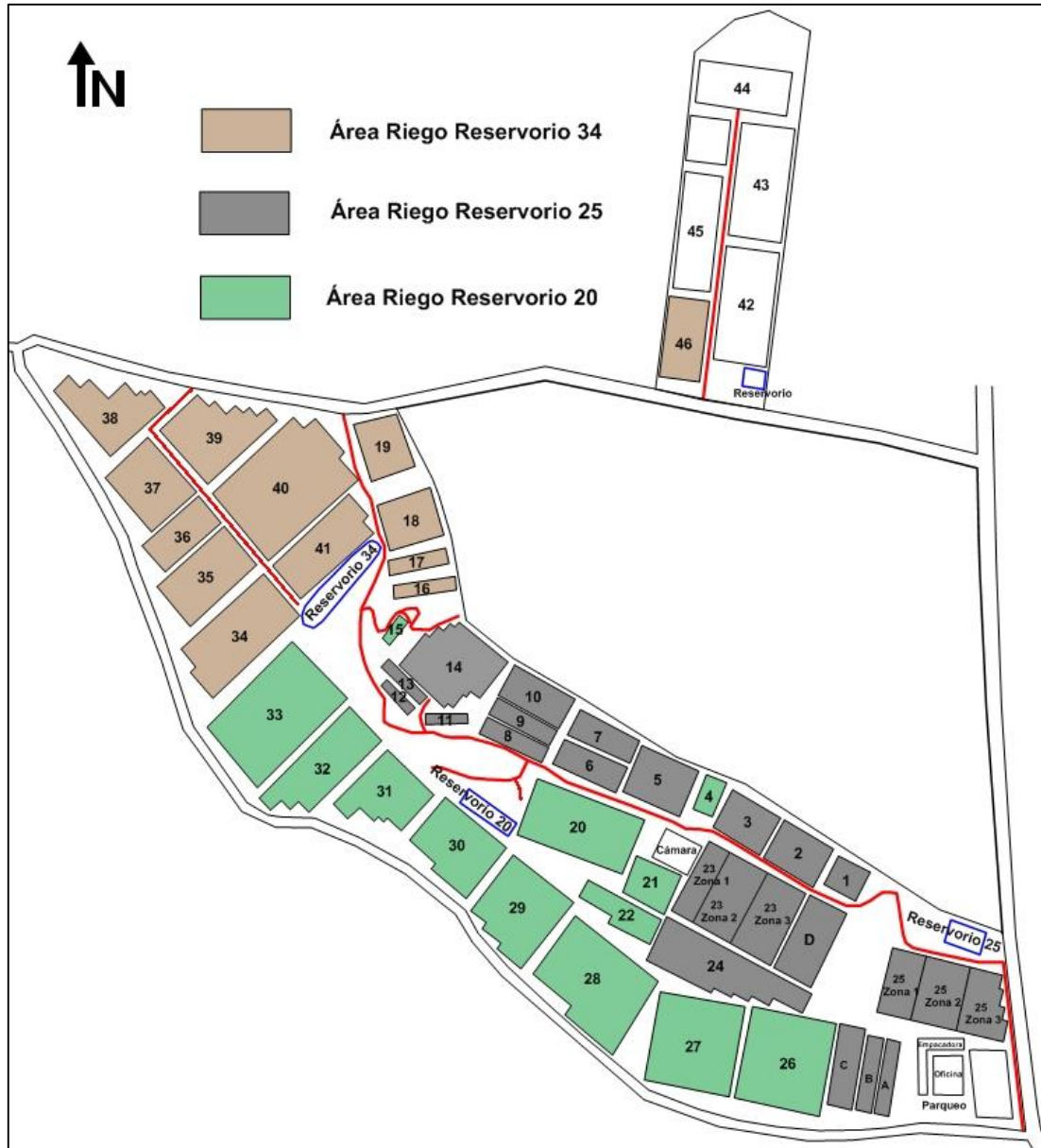
Anexo 12. Bases de invernaderos afectadas ante trabajos de maquinaria pesada.



Anexo 13. Aguas aprovechadas y no aprovechadas de los invernaderos.

Potencial Recolectado		Potencial No Recolectado	
Invernadero	Área Bruta (m2)	Invernadero	Área Bruta (m2)
D	2.025	A	636
1	804	B	368
2	1.915	C	1.239
3	1.915	18	1.904
4	432	19	2.516
5	2.196	20	6.030
6	1.464	21	1.507
7	1.464	22	3.383
8	720	25	1.273
9	720	26	4.838
10	1.800	27	6.823
11	442	28	7.504
12	272	29	4.489
13	408	30	3.117
14	3.944	31	3.216
15	204	32	3.319
16	680	Total	52.162 m²
17	680		
23	9.639		
24	4.584		
25	3.517		
33	7.603		
34	6.154		
35	2.992		
36	1.224		
37	2.210		
38	3.740		
39	3.706		
40	8.741		
41	3.392		
Total	79.587 m²		

Anexo 14. Distribución de las áreas de riego según el reservorio utilizado.



SURFER

Anexo 15. Nueva Distribución de Áreas Recolectadas por reservorio.

Reservorio 34		Reservorio 25		Reservorio 20	
Invernadero	Área Bruta (m2)	Invernadero	Área Bruta (m2)	Invernadero	Área Bruta (m2)
16	680	A	636	20	3.366
17	680	B	368	22-b	325
18	1.904	C	1.239	6	732
19	2.516	D	2.025	7	732
33	7.603	1	804	8	720
34	6.154	2	1.915	9	720
35	2.992	3	1.915	10	1.800
36	1.224	4	432	11	442
37	2.210	5	2.196	12	272
38	2.720	6	732	13	408
39	1.360	7	732	14	3.944
40	8.741	20	2.394	15	204
41	3.392	21	1.507	Total	13.665 m²
Total	42.176 m²	22	3.058		
		23	9.639		
		24	4.584		
		25	3.517		
		26	4.838		
		27	6.823		
		28	7.504		
		29	4.489		
		30	3.117		
		31	3.216		
		32	3.319		
		Total	70.999 m²		

Anexo 16. Relación entre tamaño del área de captación y el diámetro de la bajante.

Superficie (m ²)	Diámetro del bajante (mm)
65	50
113	63
117	75
318	90
580	110
1544	125
2700	160

Fuente: (Anaya, 2011).

Anexo 17. Diseño de alcantarillas para los invernaderos 18 y 19

Diseño de Alcantarilla para Invernadero 18

- 1) Dimensiones del canal
- 2) Selección del Diámetro, para $Q = 0,226 \text{ m}^3/\text{s}$ y $V = 1,52 \text{ m/s}$, tengo un diámetro de 18" (0,4572 m)
- 3) El área del diámetro es de $0,164 \text{ m}^2$.
- 4) Velocidad en el conducto

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0,226}{0,164} = 1,378 \text{ m/s}$$

- 5) La carga de velocidad en la alcantarilla

$$hv = \frac{v^2}{2g} = 0,096$$

- 6) Elevación nivel entrada

$$NAEA = 995,381 + 0,3 = 995,681$$

- 7) Calcular

$$Cota B = 995,681 - 1,5 * 0,096 - 0,4572 = 995,0798$$

$$Cota F = 995,0798 + 0,4572 + 0,45 = 995,987$$

$$Cota E = 995,381 + 0,45 = 995,831$$

- 8) Longitud alcantarilla = 9 m

- 9) Caída en la tubería

$$\Delta Z = LS = 9 * 0,005 = 0,045$$

- 10) Cota C

$$Cota C = 995,0798 - 0,045 = 995,0348$$

- 11) Pendiente línea de Energía

$$S = \left(\frac{1,378 * 0,014}{\left(\frac{0,4572}{4} \right)^{2/3}} \right)^2 = 0,0067$$

- 12) Calcular hfe

$$hfe = 9 * 0,0067 = 0,0604$$

- 13) Pérdidas asumidas

$$h_{T1} = 1,5 * 0,096 + 0,0604 = 0,2044$$

14) Calcular Nasa

$$Nasa = 995,681 - 0,2044 = 995,4766$$

15) Cota D

$$Cota D = 995,4766 - 0,3 = 995,1766$$

$$16) L_1 = 3 * 0,4572 = 1,3716. \quad L_2 = 4 * 0,4572 = 1,83.$$

$$17) Z = \frac{14}{995,381 - 995,0798} = 46,5$$

$$18) h_{T2} = 0,226^2 \left(\frac{0,0828(1+0,15)}{0,4572^4} + \frac{10,2907 * 0,014^2 * 9}{0,4572^{16/3}} \right) = 0,1715$$

19) Verificar

$$h_{T2} \leq h_{T1} \quad \text{Correcto.}$$

Diseño de Alcantarilla para Invernadero 19

1) Dimensiones del canal

2) Selección del Diámetro, para $Q = 0,171 \text{ m}^3/\text{s}$ y $V = 1,52 \text{ m/s}$, tengo un diámetro de 15" (0,3810 m).

3) El área del diámetro es de $0,114 \text{ m}^2$.

4) Velocidad en el conducto

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0,171}{0,114} = 1,5 \text{ m/s}$$

5) La carga de velocidad en la alcantarilla

$$hv = \frac{v^2}{2g} = 0,115$$

6) Elevación nivel entrada

$$NAEA = 995,3564 + 0,3 = 995,6564$$

7) Calcular

$$Cota B = 995,6564 - 1,5 * 0,115 - 0,3810 = 995,1029$$

$$Cota F = 995,1029 + 0,3810 + 0,45 = 995,9339$$

$$Cota E = 995,3564 + 0,45 = 995,8064$$

8) Longitud alcantarilla = 8 m

9) Caída en la tubería

$$\Delta Z = LS = 8 * 0,005 = 0,04$$

10) Cota C

$$Cota C = 995,1029 - 0,04 = 995,0629$$

11) Pendiente línea de Energía

$$S = \left(\frac{1,5 * 0,014}{\left(\frac{0,381}{4}\right)^{2/3}} \right)^2 = 0,0101$$

12) Calcular hfe

$$hfe = 8 * 0,0101 = 0,0811$$

13) Pérdidas asumidas

$$h_{T1} = 1,5 * 0,115 + 0,0811 = 0,2536$$

14) Calcular Nasa

$$Nasa = 995,6564 - 0,2536 = 995,4028$$

15) Cota D

$$Cota D = 995,4028 - 0,3 = 995,1028$$

16) $L_1 = 3 * 0,4572 = 1,3716$. $L_2 = 4 * 0,4572 = 1,83$.

$$17) Z = \frac{8}{995,3564 - 995,1029} = 31,5$$

$$18) h_{T2} = 0,171^2 \left(\frac{0,0828(1+0,15)}{0,381^4} + \frac{10,2907 * 0,014^2 * 8}{0,381^{16/3}} \right) = 0,2132$$

19) Verificar

$$h_{T2} \leq h_{T1} \text{ Correcto.}$$

Según manuales de instalación de tuberías de PVC y alcantarillado, se tiene que para determinar la profundidad de la zanja en la cual estará la alcantarilla, se tiene

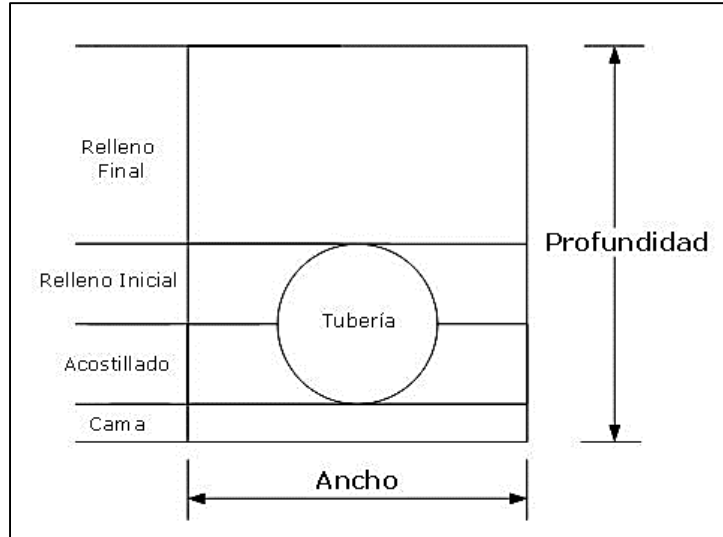
$$Prof = d + 0,45 \quad y \quad Ancho = d + 0,3$$

Con esto, se tiene para estas alcantarillas, las siguientes dimensiones

Zanja Invernadero 18 Profundidad = 0,90 m Ancho = 0,75 m

Zanja Invernadero 19 Profundidad = 0,85 m Ancho = 0,70 m

Estas dimensiones, se muestran a continuación



SKETCHUP

Según la figura anterior, hay parámetros que no son necesarios según el tipo de zanja y condiciones que se tengan de suelo. Para este caso, la cama no es necesaria del todo, el acostillado se debe realizar hasta la mitad del diámetro de la tubería. El relleno inicial y final, se realizarán con el suelo removido y una pequeña parte de lastre, en el relleno final (15 cm).

Anexo 18. Diseño de una rápida de sección rectangular.

- Diseño del canal, aguas arriba de la rápida. Se tiene una alcantarilla, en el cual el flujo está a presión. Por lo cual se tienen los parámetros:

$$y = 0,4572 \text{ m}; \quad v = 2,81 \text{ m/s} \quad E = 0,5234 \text{ m-kg/kg}$$

- Cálculo del ancho de solera en la rápida y tirante en la sección de control (y_c)

$$b = \sqrt{\frac{27Q^2}{8E^3g}} = \sqrt{\frac{27 * 0,462^2}{8 * 0,5234^3 * 9.81}} = 0.72m$$

Se redondea este valor de b, hacia el superior inmediato. De esta manera $b = 0,75 \text{ m}$.

Al conocer el b, tenemos que calcular el y_c

$$Y_c = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{b^2 g}} = 0,3382 \text{ m}$$

- Diseño de la transición de entrada

$$L = \frac{T_1 - T_2}{2 \tan 22,5} = \frac{(0,3382 - 0)}{2 \tan 22,5} = 0,408m$$

De nuevo redondeamos hacia arriba, así $L = 0,45m$.

- Cálculo Hidráulico en el Canal de la Rápida

Para realizar la tabla de ‘y’ se calcula la pendiente de la rápida

$$L_{rapida} = 35 \text{ m}$$

$$\Delta L = 5m$$

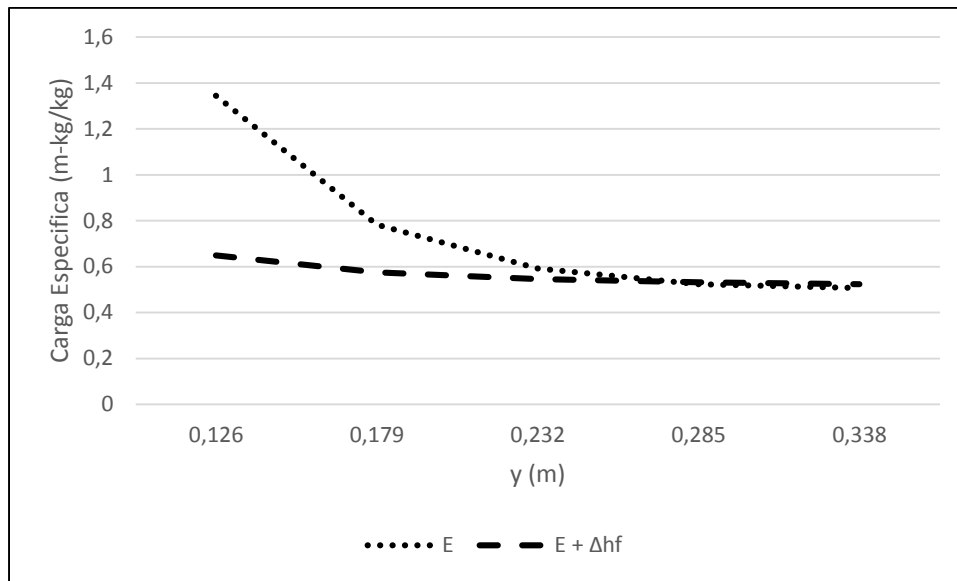
$$S = \frac{\Delta H}{L} = \frac{3,83}{35} = 0,109$$

$$\Delta Z = \Delta L * S = 0,545$$

Seguidamente se determina el tirante en la rápida, utilizando Hcanales, se tiene $y_n = 0,126 \text{ m}$, con un $n = 0,014$.

El primer valor de ‘y’ es el tirante en la sección de control

y	A	p	R	V	E	Se	hf	E + Δhf
0,338	0,254	1,426	0,178	1,821	0,507	0,007		0,523
0,285	0,214	1,320	0,162	2,161	0,523	0,010	0,008	0,532
0,232	0,174	1,214	0,143	2,655	0,591	0,018	0,014	0,546
0,179	0,134	1,108	0,121	3,441	0,783	0,039	0,029	0,575
0,126	0,095	1,002	0,094	4,889	1,344	0,109	0,074	0,649



EXCEL

- Bordo Libre

Para calcular el bordo libre utilizamos la siguiente ecuación

$$B.L. = 0.61 + 0.0371v\sqrt{y}$$

y	v	BL
0,338	1,821	0,649
0,285	2,161	0,653
0,232	2,655	0,657
0,179	3,441	0,664
0,126	4,889	0,674

- Cálculo de la profundidad del tanque amortiguador

Cálculo de la curva de elevación, en el cual el primer tirante es el tirante inicial de la trayectoria

y	A	v	V²/2g	E	Elevación rápida
0,338	0,254	1,821	0,169	0,507	987,493
0,300	0,225	2,053	0,215	0,515	987,485
0,280	0,210	2,200	0,247	0,527	987,473
0,260	0,195	2,369	0,286	0,546	987,454
0,240	0,180	2,567	0,336	0,576	987,424
0,220	0,165	2,800	0,400	0,620	987,380
0,200	0,150	3,080	0,484	0,684	987,316
0,180	0,135	3,422	0,597	0,777	987,223
0,160	0,120	3,850	0,755	0,915	987,085
0,140	0,105	4,400	0,987	1,127	986,873
0,126	0,095	4,889	1,218	1,344	986,656

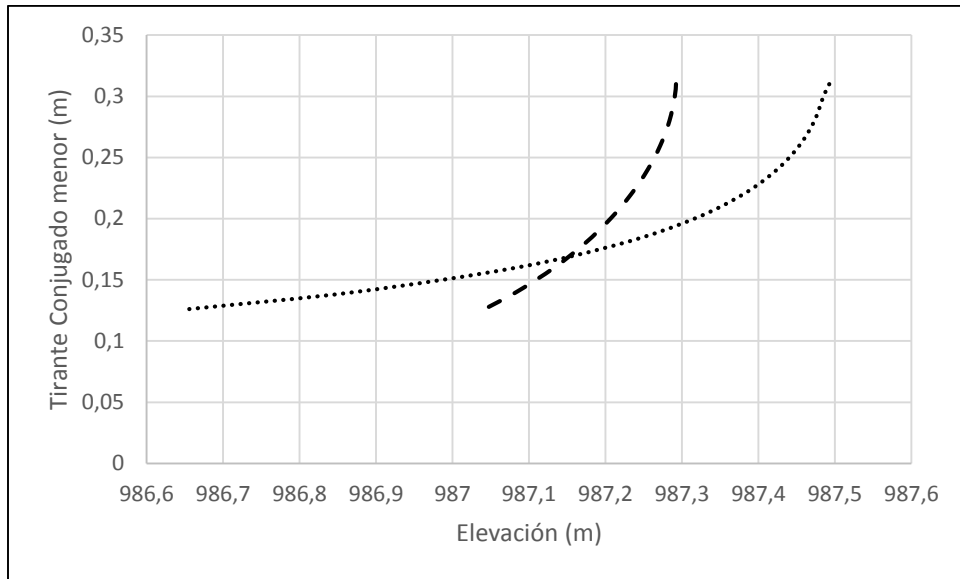
Cálculo de la elevación del colchón amortiguador

Suponemos diferentes tirantes conjugados menores y realizamos los cálculos

y₁	y₂	v²	v²/2g	E₂	Elevación colchón
0,310	0,347	1,776	0,161	0,508	987,292
0,300	0,360	1,712	0,149	0,509	987,291
0,280	0,387	1,591	0,129	0,516	987,284
0,260	0,417	1,479	0,111	0,528	987,272
0,240	0,448	1,374	0,096	0,545	987,255
0,220	0,483	1,274	0,083	0,566	987,234
0,200	0,522	1,179	0,071	0,593	987,207
0,180	0,566	1,089	0,060	0,626	987,174
0,160	0,615	1,001	0,051	0,667	987,133
0,140	0,673	0,915	0,043	0,716	987,084
0,126	0,721	0,855	0,037	0,758	987,042

Con los datos del tirante conjugado menor y la elevación realizamos la curva.

Al graficar las dos curvas en un mismo gráfico, estas llegan a intersectarse. Este punto nos dará el tirante conjugado menor y la elevación del colchón.



EXCEL

De esta manera, el tirante conjugado menor es 0,16 m

Elevación del Colchón = 987,13 m

- Cálculo de la Profundidad del Colchón Amortiguador

$$h = \text{elevación canal} - \text{elevación amortiguador}$$

$$h = 988 - 987,13 = 0,87 \text{ m}$$

- Cálculo de la longitud del Colchón

Para calcular la longitud del colchón utilizamos la fórmula de Sieñchin

$$L = K(Y_2 - Y_1)$$

Usamos $K = 5$ para canal se sección rectangular

$$L = 5(0,615 - 0,16) = 2,275 \text{ m}$$

Anexo 19. Costos de las obras de evacuación de excesos del reservorio del 34 y cosecha de aguas.

Costo Construcción Canal Guardia					
Descripción	Cantidad	Unidad	Precio Unitario	Mano obra	Total Material
Construcción canal	170	m3	₡6.000,00		₡1.020.000,00
Subtotales					₡1.020.000,00
Total Ítem					₡1.020.000,00
Imprevistos (10%)					₡1.122.000,00

Costo de Canal Evacuación de Excesos del Reservorio del 34					
Descripción	Cantidad	Unidad	Precio Unitario	Mano obra	Total Material
Recaba y re dimensión	753	m	₡ 1.700		₡ 1.280.100
Chapea	753	m	₡ 150		₡ 112.950
Trasbordo tierra	753	m	₡ 80		₡ 60.240
Cemento	11	bolsa	₡ 6.120		₡ 67.320
Arena	1	m3	₡ 15.725		₡ 15.725
Piedra	1,35	m3	₡ 15.120		₡ 20.412
Alquiler batidora	1	día	₡ 35.000		₡ 35.000
Lámina hierro 1/4" 1mx2m	1	unidad	₡ 53.000		₡ 53.000
Barra Hierro 1" 36" longitud	2	unidad	₡ 5.000		₡ 10.000
Transporte Materiales	1		₡ 125.000		₡ 125.000
Mano Obra					
Albañil y Soldador	30	h	₡ 1.950	₡ 58.500	
Subtotales				₡ 58.500	₡ 1.779.747
Revestimiento plástico					
Plástico negro (4,5x313m)	3	Rollo(6mx100x9)	₡ 241.845		₡ 725.535
Peón	75	h	₡ 1.615	₡ 121.162	
Subtotales				₡ 121.162	₡ 725.535
Total Ítem					₡846.698
Imprevistos (10%)					₡2.889.089
Revestimiento concreto					
Cemento	595	bolsa	₡ 6.120		₡ 3.641.400
Arena	57,4	m3	₡ 15.725		₡ 902.615
Piedra	77	m3	₡ 15.120		₡ 1.164.240
Alquiler batidora	2	mes	₡ 100.000		₡ 200.000
Mano Obra	125	h	₡ 1.500	₡ 187.500	
Subtotales				₡ 187.500	₡ 5.908.255
Total Ítem					₡6.095.755,00
Imprevistos (10%)					₡8.663.052,20

Costo de Obras Recolección Aguas invernaderos 20 y 22-b para abastecer el reservorio del 20					
Descripción	Cantidad	Unidad	Precio Unitario	Mano obra	Total Material
Tornillo 1/2"x 5"	40	unidad	₡ 345		₡ 13.800
Tubería PVC Sanitario 6"	6	unidad	₡ 13.886		₡ 83.316
Tubería PVC Corrugada 18"	48	m	₡ 21.462		₡ 1.030.176
Cemento	25	bolsa	₡ 6.120		₡ 153.000
Arena	2,5	m3	₡ 15.725		₡ 39.313
Piedra	3,5	m3	₡ 15.120		₡ 52.920
Batidora	1		₡ 35.000		₡ 35.000
Transporte Materiales	1		₡ 125.000		₡ 125.000
Mano de obra					
Albañil	20	h	₡ 1.950	₡ 39.000	
Peón	20	h	₡ 1.615	₡ 32.310	
Subtotales				₡ 71.310	₡ 1.532.525
Total Ítem					₡ 1.603.835
Imprevistos (10%)					₡ 1.764.218

Costo de Obras recolección de aguas de los invernaderos 18 y 19 para abastecer el reservorio del 34					
Descripción	Cantidad	Unidad	Precio Unitario	Mano obra	Total Material
Block 12x20x40 Clase A	128	unidad	₡ 355		₡ 45.440
Varilla Acero # 3 G40	11	barra/ 6m	₡ 1.670		₡ 18.370
Cemento mampostería	1	bolsa	₡ 3.215		₡ 3.215
Tubería Concreto 18"	19	m	₡ 12.730		₡ 241.870
Cemento	11	bolsa	₡ 6.120		₡ 67.320
Arena	1	m3	₡ 15.725		₡ 15.725
Piedra tercera	0,35	m3	₡ 15.120		₡ 5.292
Piedra cuarta	1	m3	₡ 17.525		₡ 17.525
Backhoe	1	total	₡ 18.000		₡ 18.000
Transporte maquinaria	1		₡ 150.000		₡ 150.000
Plástico (2,4 mx 96 m)	1	Rollo (6x100x9)	₡ 241.845		₡ 241.845
Batidora	1		₡ 35.000		₡ 35.000
Transporte Materiales	1		₡ 125.000		₡ 125.000
Mano de obra					
Albañil	20	h	₡ 1.950	₡ 39.000	
Excavación zanjas	146	m	₡ 800	₡ 116.800	
Peón	20	h	₡ 1.616	₡ 32.310	
Subtotales				₡ 188.110	₡ 984.602
Total Ítem					₡ 1.172.712
Imprevistos (10%)					₡ 1.289.983,2

Costo de Obras Re-dirección de Aguas del Invernadero 26 hasta el Reservorio del 25					
Descripción	Cantidad	Unidad	Precio Unitario	Mano obra	Total Material
Block 12x20x40 Clase A	1289	unidad	₡ 355		₡ 457.595
Varilla Acero # 3 G40	81	barra/ 6m	₡ 1.670		₡ 135.270
Cemento mampostería	5	bolsa	₡ 3.215		₡ 16.075
Tubería Concreto 18"	12	m	₡ 12.730		₡ 152.760
Tubería PVC Corrugada 18"	26	m	₡ 21.462		₡ 558.012
Cemento	123	bolsa	₡ 6.120		₡ 752.760
Arena	12	m3	₡ 15.725		₡ 188.700
Piedra tercera	5	m3	₡ 15.120		₡ 75.600
Piedra cuarta	8	m3	₡ 17.525		₡ 140.200
Backhoe	1	total	₡ 18.000		₡ 18.000
Transporte maquinaria	1		₡ 150.000		₡ 150.000
Plástico (2,5x35m)	1	rollo (6mx100mx9)	₡ 241.845		₡ 241.845
Batidora	1		₡ 35.000		₡ 35.000
Transporte Materiales	1		₡ 200.000		₡ 200.000
Mano de obra					
Albañil	20	h	₡ 1.950	₡ 39.000	
Excavación zanjas	115	m	₡ 800	₡ 92.000	
Peón	20	h	₡ 1.615	₡ 32.310	
Subtotales				₡ 163.310	₡ 3.121.817
Total Ítem					₡ 3.285.127
Imprevistos (20%)					₡ 3.942.152

Costo Obras Re-dirección de Aguas de los invernaderos 11-15 a Reservorio del 20					
Descripción	Cantidad	Unidad	Precio Unitario	Mano obra	Total Material
Block 12x20x40 Clase A	330	unidad	₡ 355		₡ 117.150
Varilla Acero # 3 G40	18	barra/ 6m	₡ 1.670		₡ 30.060
Cemento mampostería	2	bolsa	₡ 3.215		₡ 6.430
Tubería Concreto 18"	7	m	₡ 12.730		₡ 89.110
Tubería PVC Corrugada 18"	60	m	₡ 21.462		₡ 1.287.720
Cemento mampostería	26	bolsa	₡ 6.120		₡ 159.120
Arena	3	m3	₡ 15.725		₡ 47.175
Piedra tercera	1	m3	₡ 15.120		₡ 15.120
Piedra cuarta	2,5	m3	₡ 17.525		₡ 43.812
Backhoe	1	total	₡ 18.000		₡ 18.000
Transporte maquinaria	1		₡ 150.000		₡ 150.000
Batidora	1		₡ 35.000		₡ 35.000
Plástico	1	rollo (6mx100mx9)	₡ 241.845		₡ 241.845
Transporte Materiales	1		₡ 125.000		₡ 125.000
Mano de obra					
Albañil	20	h	₡ 1.950	₡ 39.000	
Excavación zanjas	160	m	₡ 800	₡ 128.000	
Peón	25	h	₡ 1.615,5	₡ 40.387	
Subtotales				₡ 207.387	₡ 2.365.543
Total Ítem					₡ 2.572.930
Imprevistos (10%)					₡ 2.830.223

Anexo 20. Flujo de Caja para el proyecto

PROYECTO DRENAJE Y COSECHA DE AGUAS									
PLANTA Y FLORES ORNAMENTALES C.A.B.H S.A. (EN MILES)									
Inversión inicial:									
OBRAS DRENAJE	-4.011,1	Costo Capital (K) = 10,0%							
OBRAS COSECHA DE AGUAS	-9.826,6								
Io	-13.837,7								
Flujos netos	Año 0	Año 1	2	3	4	5	6	7	8
Ingresos		2.768,44	2.989,91	3.229,10	3.487,43	3.766,43	4.067,74	4.393,16	4.744,61
Egresos		140,39	148,81	157,74	167,20	177,24	187,87	199,14	211,09
Depreciación (-)		-1.976,81	-1.976,81	-1.976,81	-1.976,81	-1.976,81	-1.976,81	-1.976,81	-1.976,81
Utilidad antes impuestos		932,01	1.161,91	1.410,03	1.677,82	1.966,85	2.278,80	2.615,49	2.978,89
Impuesto 30%		279,60	348,57	423,01	503,35	590,05	683,64	784,65	893,67
Utilidad neta		652,41	813,34	987,02	1.174,48	1.376,79	1.595,16	1.830,84	2.085,22
Depreciación (+)		1.976,81	1.976,81	1.976,81	1.976,81	1.976,81	1.976,81	1.976,81	1.976,81
Flujo de operación		2.629,22	2.790,15	2.963,83	3.151,29	3.353,61	3.571,97	3.807,66	4.062,04
Flujo neto	-13.837,7	2.629,22	2.790,15	2.963,83	3.151,29	3.353,61	3.571,97	3.807,66	4.062,04
Flujo descontado		2.390,20	2.536,50	2.694,39	2.864,81	3.048,73	3.247,25	3.461,51	3.692,76
Flujo descontado Acumulado		2.390,20	4.926,70	7.621,09	10.485,90	13.534,64	16.781,88	20.243,39	23.936,15
% de recuperación de Inv. Inicial		17,3%	35,6%	55,1%	75,8%	97,8%	121,3%	146,3%	173,0%

