

**DISEÑO DE UNA RED DE CANALES DE DRENAJES PARA LA
ADECUACIÓN DE TIERRAS EN UN ÁREA ESTABLECIDA AL
CULTIVO DE PALMA DE ACEITE**



JUAN GUILLERMO BOLÍVAR VALDERRAMA



**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERIA
INGENIERIA AGRICOLA
2013**

**DISEÑO DE UNA RED DE CANALES DE DRENAJES PARA LA
ADECUACIÓN DE TIERRAS EN UN ÁREA ESTABLECIDA AL
CULTIVO DE PALMA DE ACEITE**

JUAN GUILLERMO BOLÍVAR VALDERRAMA

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de
Ingeniero Agrícola.

Director de Pasantía
Esp. MIGUEL GERMAN CIFUENTES PERDOMO
Ingeniero Agrícola y Especialista en Ingeniería de Irrigación

**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERIA
INGENIERIA AGRICOLA
2013**

Nota de aceptación

Jurado

Jurado

Director

Neiva, Marzo de 2013

DEDICATORIA

A Dios. Por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado la vida para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.

A mi amor eterno Lina Alexandra Meza M, Por siempre estar a mi lado, brindándome todo su inmenso amor, entrega, comprensión, dedicación y sobre todo paciencia durante estos años de mi vida y quien ha sido una pieza clave en mi desarrollo profesional. Mil gracias porque siempre estas a mi lado sin condiciones.

A mi hija Valeria Bolívar Meza, que es el motor de mi vida; gracias Dios por habérmela regalado, ya que con sus risas, preguntas y palabritas de personita grande, alegre y motiva mi existir cada día, gracias hija por permitirme estar en tu vida y ser tu papá, por las risas, los llantos, los juegos y las caídas en las que te he podido levantar y compartirlas, te amo con todas las fuerzas de mi vida.

A mi mama, Por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos, por su ejemplo de perseverancia y constancia, por sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, por ser la persona que me enseñó a ser quien soy, pero más que nada, por su amor incondicional.

A mi papa. Por los ejemplos de perseverancia y constancia que lo caracterizan y que me ha infundado siempre, por el valor mostrado para salir adelante y por su amor.

A mis hermanos y hermanita, por su constante amor inexplicable para mi superación personal, porque siempre me han apoyado incondicionalmente.

A mis abuelitos, Octavio, Blanca, Emilio e Irma por ser fuente de motivación y por dejarme la herencia más importante: la familia y la educación.

A mi nueva familia, los Meza Mendoza, porque con su amor, hermandad, convivencia y ejemplo, han sido parte fundamental para mi promoción personal.

A mis compañeros de clase, Lugo "mi hijo" por sus bromas y ayuda esencial para este logro, Rochy por su alegría y amistad, Echeverry y Carvacho dos grandes amigos que me enseñaron el valor de la amistad y por ultimo a Juanito, Bolaños, Marín, Leivy, Mayra, Ingrid, Didier y a mis otros compañeros gracias por su amistad.

AGRADECIMIENTO

Los Autores expresan sus agradecimientos a:

Esp. MIGUEL GERMAN CIFUENTES PERDOMO, Ingeniero Agrícola y especialista en Ingeniería de Irrigación, Profesor de tiempo completo de la Facultad de Ingeniería, Área de Riego y Drenaje del programa de Ingeniería Agrícola. Universidad Surcolombiana y Director de la Pasantía, por la orientación y apoyo académico.

Msc. NESTOR ENRIQUE CERQUERA PEÑA, Ingeniero Agrícola, Especialista en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Magister en Ingeniería Agrícola, Profesor de tiempo completo de la Facultad de Ingeniería, Área de Agroindustria del programa de Ingeniería Agrícola. Universidad Surcolombiana y concejero.

Ms. MAURICIO DUARTE TORO, Ingeniero Agrícola y Maestría en Ingeniería Civil, Director de Departamento Ingeniería Agrícola.

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA y Docentes del programa de Ingeniería Agrícola, por la gran paciencia y conocimientos suministrados en el transcurso de nuestra carrera, ya que contribuyeron a nuestro buen desarrollo académico y a nuestra formación como profesionales integrales en el sector Agrícola.

Doña GLADYS QUINO, Secretaria del Programa de Ingeniería Agrícola, por ser tan servicial, su colaboración y apoyo en todos los procesos académicos y administrativos del proceso de formación como Ingenieros Agrícolas.

Y a todas las personas que de una manera directa o indirecta colaboraron en la realización de este proyecto.

CONTENIDO

GLOSARIO.....	11
RESUMEN.....	12
INTRODUCCION	14
OBJETIVOS	16
1. MARCO CONCEPTUAL	17
1.1 HIDRAULICA DE CANALES.....	17
1.2 CONCEPTO DE CANALES.....	17
1.3 CLASIFICACION DE CANALES.	17
1.4 TIPO DE CANALES.....	18
1.5 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE DISEÑO DEL CANAL.....	18
1.6 PRECIPITACIÓN DE DISEÑO.	21
2. METODOLOGIA.....	22
2.1 ESTUDIOS BASICOS PARA EL DISEÑO HIDRAULICO	22
2.1.1. <i>Ubicación Y Descripción Física.....</i>	22
2.1.2. <i>Levantamiento Altiplanimétrico</i>	23
2.1.3. <i>Información Hidrológica Y Climática</i>	23
2.1.4. <i>Escorrentía.....</i>	25
2.1.5. <i>Tiempo De Drenaje.....</i>	27
2.1.6. <i>Caudal Critico De Diseño.....</i>	28
2.2. CRITERIOS DE DISEÑO PARA EL ESTABLECIMIENTO DE LOS CANALES DE DRENAJES.	29
2.2.1. <i>Cultivo establecido.....</i>	29
2.2.2. <i>Trazados De Canales Primarios Y Secundario.....</i>	30
2.2.3. <i>Distanciamiento Entre Canales Terciarios.....</i>	30
2.3. DIMENSIONAMIENTO DE SECCIONES TRANSVERSALES DE LOS CANALES.	31
2.3.1. <i>Borde Libre.....</i>	33
2.3.2. <i>Trazado Geométrico.....</i>	33
3. RESULTADOS	34
3.1 LEVANTAMIENTO ALTIPLANIMÉTRICO	34

3.2.	DISEÑO DE LA RED DE CANALES.....	36
3.3.	CÁLCULOS HIDRÁULICOS Y DIMENSIONAMIENTO DE CANALES DE DRENAJE.....	37
3.3.1.	<i>Canales Principales</i>	38
3.3.2.	<i>Canales Secundarios</i>	38
3.3.3.	<i>Canales Terciarios</i>	39
3.4.	SECCIONES DE CANALES.....	39
3.5.	DISEÑO DE LOTES.....	44
3.6.	RESUMEN INFRAESTRUCTURA DE CANALES.....	45
4.	MEMORIAS DE CÁLCULO.....	46
4.1.	PARÁMETROS DE DISEÑO DE LA RED DE DRENAJE.....	46
4.1.1.	<i>Coefficiente De Drenaje</i>	46
4.1.2.	<i>Precipitación De Diseño</i>	47
4.1.3.	<i>Diseños hidráulicos de los canales</i>	48
5.	CONCLUSIONES.....	51
6.	RECOMENDACIONES.....	52
7.	BIBLIOGRAFIA.....	53

LISTADO DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Sección transversal de un canal.	20
Ilustración 2. Ubicación Finca San Felipe, Sub división Guafitas.....	22
Ilustración 3. Cultivo de palma de diferentes densidades.	30
Ilustración 4. Canal Revestido (Coeficiente de Manning 0.014)	31
Ilustración 5. Canal Sin Revestir (Coeficiente de Manning 0.025)	31
Ilustración 6. Mapa de comportamiento altimétrico del predio San Felipe, Sub división Guafitas.....	35
Ilustración 7. Distrito de drenajes.....	37
Ilustración 8. Secciones comunes y tipo de drenaje.	40
Ilustración 9. Mapa de diseño de lotes.....	44
Ilustración 10. Calculo Hidráulico del Canal Primario	49
Ilustración 11. Calculo Hidráulico del Canal secundario	49
Ilustración 12. Calculo Hidráulico del Canal Terciario.....	50

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Velocidades máximas permitidas en canales.	19
Tabla 2. Máxima precipitación para 1, 3 y 5 días consecutivos de lluvias	24
Tabla 3. Organización de lluvias máxima de mayor a menor.	24
Tabla 4. Tabla para determinar el valor de CN para cálculo de escorrentía.	26
Tabla 5 Descripción de grupos hidrológicos para el cálculo de escorrentía.	26
Tabla 6. Tiempo de aireación requerido para diferentes texturas de suelo. El valor seleccionado corresponde a suelos de textura franca.	27
Tabla 7. Diferentes densidades de siembra.....	29
Tabla 8. Coeficiente de Manning.	32
Tabla 9. Banco de medias (MB).....	34
Tabla 10. Resumen Indicadores generales de áreas.....	35
Tabla 11. Zonas de entrega de agua.	37
Tabla 12. Calculo de Coeficiente de Drenaje.....	39
Tabla 13. Sección y tipo de canal.	40
Tabla 14. Dimensionamiento de los canales primario y secundario.	41
Tabla 15. Resumen cuadro de área por lote.....	44
Tabla 16. Construcción de Infraestructura de Drenaje.....	45
Tabla 17. Datos de precipitación media.....	48
Tabla 18. Distribución Gumbel.....	48

LISTADO DE ANEXOS

ANEXO 1. Valores de "Yn" y "Sn" según número de observaciones, Distribución de Gumbel.....	55
ANEXO 2. Zona alta del predio.....	56
ANEXO 3. Zona media del predio.....	56
ANEXO 4. Estación climatológica.....	57
ANEXO 5. Canal perimetral.....	57

GLOSARIO

Hidráulica. La Hidráulica General aplica los conceptos de la Mecánica de los Fluidos y los resultados de experiencias de Laboratorio en la solución de problemas prácticos que tienen que ver con el manejo del agua en almacenamientos y en conducciones a presión y a superficie libre.

Canal. Es un conducto en el que el líquido fluye con una superficie sometida a la presión atmosférica. El flujo se origina por la pendiente del canal y de la superficie del líquido.

Caudal. Volumen de agua que pasa por unidad de tiempo por una sección normal determinada de una corriente líquida.

Rugosidad. Altura media de las asperezas de una tubería o conducto.

Levantamiento topográfico. Constituye el conjunto de operaciones que tiene por objeto conocer la posición relativa de los puntos sobre la tierra en base a su longitud, latitud y elevación (x,y,z). Para el estudio operacional de la topografía se dividió en Planimetría, Altimetría y Altiplanimetría.

Climatología. Es la ciencia que estudia el clima y sus variaciones a lo largo del tiempo. Aunque utiliza los mismos parámetros que la meteorología, su objetivo es distinto, ya que no pretende hacer previsiones inmediatas, sino estudiar las características climáticas a largo plazo.

Precipitación. Es el conjunto de las aguas meteóricas que, recogidas en la atmosfera por condensación del vapor de agua, caen a la superficie de la tierra en forma de lluvia, nieve, ect.

Diseño. Actividad creativa y técnica encaminada a idear objetos útiles y estéticos que puedan llegar a producirse en serie.

Cultivo. El cultivo es la práctica de sembrar semillas en la tierra y realizar las labores necesarias para obtener frutos de las mismas.

Drenaje. Es toda estructura, natural o artificial, que facilitan el escurrimiento y evita el almacenamiento del agua en una zona particular.

Subsuperficial. Es la parte del escurrimiento que se infiltró y que se mueve de las capas superiores del suelo a las corrientes, del cual, una parte de él se percola hacia el agua subterránea al que se le llama escurrimiento subterráneo.

RESUMEN

El proyecto fue realizada en la empresa Agrodinco como modalidad de grado (pasantía), con una duración de 6 meses, donde el objetivo fundamental fue la elaboración de un diseño de una red de canales de drenaje para la adecuación de tierras, a una área establecida al cultivo de palma de aceite para el predio San Felipe, subdivisión Guafitas en zona rural del municipio de Orocué en el departamento de Casanare.

Este proyecto se encuentra dividido en etapas, que se describen a continuación: visita del predio, levantamiento topográfico con una cuadrícula de (30 mts. x 30 mts.), recopilación de información hidroclimatológica, recopilación de la información altiplanimétrica, procesamiento de la información recopilada. Los canales principales de drenaje ya se encuentran establecidos, actualmente se cuenta con 3 distintas densidades de siembra y los canales diseñados (primarios, secundarios y terciarios), se utilizarán como canales de riego en época de verano.

Para llevar a cabo el diseño de los canales se tomó como referencia la ecuación de Manning, el método estadístico de Gumbel para el cálculo de la precipitación crítica, para realizar los cálculos hidráulico de cada canal fue necesario implementar el programa Hcanales y para la elaboración de los planos (topográfico y trazado de los canales), se utilizó el software AUTOCAD LAND.

ABSTRACT

The project was carried out in the company Agrodinco as a form of degree (internship), with a duration of 6 months, where the main objective was the development of a design of a network of drains to the adequacy of land, to an established area for the cultivation of palm oil for the venue San Felipe, Guafitas subdivision in rural area of the municipality of Orocué in the Department of Casanare.

This project is divided into stages, which are described below: visit of the grounds, topographic survey with a grid of (30 MTS. x 30 MTS.), compilation of information hidroclimatologica, collection of information altiplanimetrica, processing of collected information. Main drainage channels are already established, currently has 3 different stocking densities and the designed canals (primary, secondary and tertiary), may be used as irrigation canals in summer.

To carry out the design of the channels was taken as reference the Manning equation, the statistical method of Gumbel for the calculation of the critical rainfall, for the hydraulic calculations of each channel was needed to implement the program Hcanales and software AUTOCAD LAND was used for the preparation of plans (topographic and mapping) of the channels.

INTRODUCCION

Los canales son las estructuras básicas para conducir el agua de riego hacia los puntos de entrega en las parcelas, lotes o chacras. Los canales pueden utilizarse también para la remoción de los excesos hídricos. (Michel Koolhaas, 2011).

En gran parte del mundo los canales de riego como los de drenaje, en general, son canales en tierra. Los canales en tierra pueden ser con un terraplén hacia el lado de abajo o “de una pierna”, con terraplenes a ambos lados o “dos piernas”, o excavados y a su vez pueden estar revestidos o no. En los canales el agua fluye por la acción de la gravedad. La conducción del agua de riego por canales es la forma más económica de conducción del agua, en comparación con tuberías y especialmente si comparamos caudales transportados. (Michel Koolhaas, 2011).

La construcción de infraestructuras para proyectos de irrigación en este caso los canales son muy importantes en nuestro país ya que Colombia cuenta con un gran potencial en superficie irrigable, lo cual convierte a la adecuación de tierras en un área de mucha importancia en el desarrollo agrícola del país.

El dinamismo actual del aceite de palma en el departamento del meta y el aumento de su demanda para uso doméstico y de biocombustibles, ha generado un significativo aumento del área sembrada, productores y la adopción de nuevas tecnologías productivas que mejorando los rendimientos y ampliando la competitividad del sector. Esta situación ha obligado a buscar alternativas que permitan la integración de áreas nuevas a la producción, mediante la adecuación de tierras como el diseño y construcción de sistema de canales para riego o drenaje.

Un diseño acertado de una red de canales para riego y drenaje asegura el aprovechamiento de agua en épocas de déficit y remoción de agua en épocas de invierno, para garantizar una mejor producción del cultivo.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El predio San Felipe, Sub división Guafitas tiene establecido una plantación de palma de aceite. Se encuentra ubicado en una zona culturalmente dedicada a la ganadería extensiva y que presenta algunas restricciones climáticas y de suelos para el establecimiento óptimo del cultivo.

Como la época de verano que se presenta generalmente entre los meses de diciembre a marzo, durante la cual se debe suplementar los cultivos con riego para suplir el déficit hídrico, haciéndose necesaria la búsqueda de

alternativas de riego para mitigar este efecto. En la época de invierno, presente generalmente entre los meses de abril a noviembre, se hace necesario la construcción de infraestructura de drenaje, para evacuar con rapidez los excesos de agua que naturalmente se acumulan en la superficie e interior del suelo, limitando el desarrollo potencial de cualquier tipo de cultivo por la poca disponibilidad de oxígeno para sus raíces.

Y por lo tanto se hace necesario la implementación de diseño de infraestructuras de canales de riego y drenaje, para mitigar el déficit hídrico en épocas de verano y remover el exceso de agua de escorrentía en épocas de invierno, para que haya un incremento en productividad del cultivo.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- Realizar el diseño de una red de canales de drenaje para la adecuación de tierras, en un área establecida al cultivo de palma de aceite para el predio San flipe Subdivisión Guafitas en zona rural de municipio de Orocué Departamento de Casanare.

Objetivos Específicos

- Realizar un levantamiento topográfico detallado del terreno con el fin obtener los modelos de elevación, que servirán como base para la realización de trazado de redes de drenaje.
- Determinar el volumen de movimiento de tierra para la construcción de los canales.
- Determinar el número de lotes para el cultivo establecido, de acuerdo al diseño de los canales.

1. MARCO CONCEPTUAL

1.1 HIDRAULICA DE CANALES

Se llama hidráulica de canales a la rama que comprende la teoría y los procedimientos para el diseño y conducciones que transportan flujo a superficie libre. Si bien este término luce menos restrictivo que el de hidráulica de tuberías, podría incluir a pensar que solo se ocupa de flujo a la intemperie. El término canal abierto empleando en forma corriente por muchos ingenieros contribuye notablemente a alentar esta confusión. Menos frecuente es la utilización de la denominación hidráulica de los conductores a superficie libre.

1.2 CONCEPTO DE CANALES.

Los canales son conductos abiertos o cerrados en los cuales el agua circula debido a la acción de la gravedad y sin ninguna presión, pues la superficie libre del líquido está en contacto con la atmósfera; esto quiere decir, que el agua fluye impulsada por la presión atmosférica y de su propio peso. Fuente: [CONCEPTOS Y ELEMENTOS DE UN CANAL]

1.3 CLASIFICACION DE CANALES.

1.3.1 Naturales.

Incluyen todos los cursos de agua que existen de manera natural en la tierra, los cuales varían en tamaño desde pequeños arroyuelos en zonas montañosas, hasta quebradas, ríos pequeños y grandes, arroyos, lagos y lagunas. Las corrientes subterráneas que transportan agua con una superficie libre también son consideradas como canales abiertos naturales. La sección transversal de un canal natural es generalmente de forma muy irregular y variable durante su recorrido, lo mismo que su alineación, las características y la aspereza de los lechos. Fuente: [CONCEPTOS Y ELEMENTOS DE UN CANAL]

1.3.2 Artificiales.

Los canales artificiales son todos aquellos construidos o desarrollados mediante el esfuerzo de la mano del hombre, tales como: canales de riego, de navegación, control de inundaciones, canales de centrales hidroeléctricas, alcantarillado pluvial, sanitario, canales de desborde, canaletas de madera, cunetas a lo largo de carreteras, cunetas de drenaje agrícola y canales de modelos construidos en el laboratorio. Los canales artificiales usualmente se diseñan con forma geométricas regulares (prismáticos). Canal construido con una sección transversal invariable y una pendiente de fondo constante se

conoce como canal prismático. Fuente: [CONCEPTOS Y ELEMENTOS DE UN CANAL]

1.4 TIPO DE CANALES.

1.4.1 Canales De Riego.

Los canales de riego tienen la función de conducir el agua desde la captación hasta el campo o huerta donde será aplicado a los cultivos. Son obras de ingeniería importantes, que deben ser cuidadosamente pensadas para no provocar daños al ambiente y para que se gaste la menor cantidad de agua posible. Están estrechamente vinculados a las características del terreno, generalmente siguen las curvas de nivel de este, descendiendo suavemente hacia cotas más bajas. Fuente: [CANAL DE RIEGO]

1.4.2 Canales De Drenaje

El Drenaje Agrícola consiste en la remoción del exceso de agua de la superficie del suelo y/o del perfil del suelo de terreno cultivable, tanto por gravedad como por medios artificiales. Las dos principales razones para mejorar el drenaje en los suelos agrícolas, son la conservación del suelo y el mejoramiento de la producción de los cultivos. Fuente: [REGOS Y DRENAJES Y MANEJO DE SUELOS AGRICOLAS]

1.5 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE DISEÑO DEL CANAL

Un canal de desviación o llamada adecuado, según el terreno, debe conducir el gasto máximo a una velocidad máxima que no socave la estructura del canal. Obtenida la escorrentía máxima y la velocidad máxima permitidas, se determina el área mínima que deberá poseer la sección hidráulica, a partir de la cual, el canal podrá cumplir con las características de diseño señaladas.

1.5.1 Máxima Velocidad del agua

La máxima velocidad del agua, depende de la naturaleza del material, en el cual se construye el canal (Tabla 1).

Tabla 1. Velocidades máximas permitidas en canales.

Material	Velocidad media (m/s)
Suelo Arenoso muy suelto	0.30 - 0.45
Arena gruesa o suelo arenoso suelto	0.45 - 0.60
Suelo arenoso promedio	0.60 - 0.75
Suelo franco arenoso	0.75 - 0.83
Suelo franco de aluvión o ceniza volcánica	0.83 - 0.9
Suelo franco pesado o franco arcilloso	0.90- 1.2
Suelo arcilloso	1.20 - 1.50
Conglomerado, cascajo cementado, pizarra blanda, hard pan, roca sedimentaria blanda	1.80 - 2.40
Roca dura o Mampostería	3.00 - 4.50
Concreto	4.50 – 6.00

1.5.2 Área mínima de diseño

El diseño de un canal, se requiere de una serie de iteraciones, a partir de una sección transversal del canal, la cual, como mínimo, debiera tener una superficie igual o mayor a la calculada según la Ecuación:

$$A_{min} = \frac{Q_{max}}{V_{max}}$$

Dónde:

V_{max}: Máxima velocidad permitida, m/s.

Q_{max}: Escorrentía crítica o gasto máximo de diseño, m³/s.

1.5.3 diseño de la sección transversal

Una vez conocidas las especificaciones de gasto máximo, máxima velocidad permitida y área mínima, se deberá realizar una serie de iteraciones, de sucesivas secciones transversales, a fin de encontrar aquella sección que sea capaz de trasladar de manera segura el caudal para el cual se diseña.

Se debe considerar, para una misma sección transversal, aquella capaz de trasladar un mayor caudal, es decir, la que posea el mayor radio hidráulico (proporción entre el área transversal A_c y el perímetro mojado).

Para este fin se propone la metodología que se describe a continuación:

a) Selección de área, para la primera iteración, se recomienda utilizar un área igual o superior al área mínima de diseño.

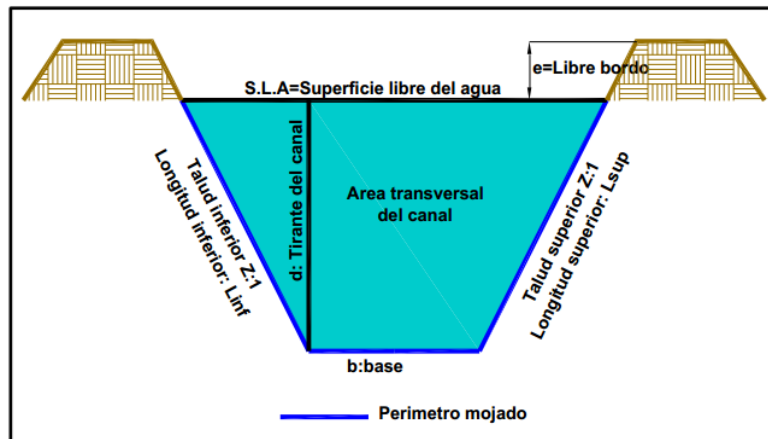
b) Determinación de parámetros de la sección transversal base y taludes, según las condiciones del terreno.

c) Cálculo de los parámetros de tirante del canal (d), longitud de la superficie libre del agua (S.L.A), taludes (Z), longitud de taludes inferior y superior (L_{inf} y L_{sup}) y radio hidráulico (r) (ilustración 1).

d) Asignación de la pendiente del canal (según las condiciones del terreno) y determinación de un coeficiente de rugosidad n .

e) Cálculo del caudal y velocidad de transporte del canal.

Ilustración 1. Sección transversal de un canal.



f) Si el canal no satisface las especificaciones técnicas, se procede a un nuevo diseño, según las opciones:

g) Modificación de la pendiente y luego se realiza nuevamente la prueba de control.

h) Modificación de la sección transversal (se recomienda un aumento de un orden del 5-10% respecto a la última iteración), volviendo a la secuencia a partir del punto b de esta sección.

Aprobadas las condicionantes técnicas, el perfil de canal podrá ser implementado en terreno.

1.5.4 Cálculo de los componentes de la sección transversal

Los datos de entrada para el diseño del canal, son los siguientes:

A_c = Área de sección transversal del canal (Superior al área mínima).

b = base del canal.

Z_{inf} = Talud inferior.

Z_{sup} = Talud superior.

Área (A_c): Área de diseño; se recomienda utilizar como primera iteración el área mínima de diseño ($A_{mín}$) o una levemente superior, y aumentar en cada iteración entre un 5 – 10 %, hasta encontrar el diseño adecuado.

Base (b): Valor predefinido.

Talud inferior y superior: Es importante en la determinación de los taludes del canal, que éstos sean adecuados para cada tipo de suelo o revestimiento, de modo que el canal no se erosione (Z_{inf} – Z_{sup}), teniendo cuidado de manera especial en obras de conservación desarrolladas en suelos de texturas livianas (arenosas), las cuales deben tener taludes mayores. Fuente: [DISEÑO HIDRÁULICO DE UN CANAL DE LLAMADA].

1.6 PRECIPITACIÓN DE DISEÑO.

La lluvia de diseño es el cálculo de la cantidad de agua que se debe evacuar en un momento dado. Para tal efecto se requiere información de las precipitaciones a través de varios años, que permitan realizar un análisis de frecuencias y, con base en él, seleccionar lluvias con periodos de retorno apropiadas para cada proyecto. Fuente: [Vélez, M y Vélez, J. 2002. Capítulo 10: Relación Precipitación-Escorrentía]

2. METODOLOGIA

2.1 ESTUDIOS BASICOS PARA EL DISEÑO HIDRAULICO

2.1.1. Ubicación Y Descripción Física

El Predio San Felipe, Sub división Guafitas se encuentra localizado en zona rural del municipio de Orocué, departamento del Casanare, entre las coordenadas $71^{\circ}57'52.90''$ - $71^{\circ}53'46.77''$ de longitud oeste y $5^{\circ}05'25.94''$ – $5^{\circ}03'22.09''$ de latitud norte, con un área de 2790.78 hectáreas aproximadamente. En los meses de enero a marzo el clima es más caluroso y la temporada de lluvias se presenta a partir del mes de abril, prolongándose hasta octubre y noviembre. Estas características indican un clima cálido húmedo o de bosque húmedo tropical (bhT).

Ilustración 2. Ubicación Finca San Felipe, Sub división Guafitas



2.1.2. Levantamiento Altiplanimétrico

El levantamiento altiplanimétrico se realizó con estación total marca Topcon GTS 236 w y GPS geodésico marca Trimble R6 con RTK tomando los puntos en una cuadrilla de 30 x 30 metros. Adicionalmente a esta malla, se tomaron puntos en zonas como bajíos y cauces naturales; de acuerdo con esta metodología se realizó el levantamiento de 2790.78 Ha de área bruta, teniendo en cuenta los linderos, áreas de bosque, espejos de agua, lagunas, canales de drenaje, así como infraestructura existente y vías.

Una vez se obtuvo el resultado del levantamiento altiplanimétrico, con la información levantada y utilizando software (AutoCAD Land) se realizaron los planos y utilizando métodos estadísticos se generaron las curvas de nivel cada 25 cm.

2.1.3. Información Hidrológica Y Climática

Con el fin de contar con registros de comportamiento de variables climáticas del área de San Felipe fue necesario realizar una recopilación de la información climatológica. Estos registros fueron tomados de datos de las estaciones meteorológicas de los predios Aceites Manuelita y El Carmen, cercanos al predio objeto de estudio.

Según los valores registrados durante 14 años en la estación de Aceites Manuelita y predio el Carmen, desde el año 1996 hasta el 2011 (menos el año 2003 año en el cual no se obtuvieron datos), el área de análisis se ubica en el clima ambiental cálido húmedo (c-H), caracterizado por precipitaciones entre 2.000 – 4.000 mm al año, temperaturas superiores a 24°C., altitud de 0-1000 m.

De acuerdo con estos resultados de precipitación, el área de estudio muestra un acumulado anual de lluvias medias de 2080.10 mm. El régimen de lluvias es de tipo bimodal presentándose las máximas precipitaciones en los meses de julio y septiembre con valores de 476.7 mm y 421mm, respectivamente; las épocas de menor precipitación corresponde a los meses de diciembre, enero y febrero con menos de 100 mm de precipitación. Esta condición reafirma que el régimen de humedad del suelo es údico.

El cálculo de la precipitación de diseño, se fundamentó en los datos estadísticos de 10 o más años (**Grassi** 1991), como se presenta a continuación.

$$X_{\max} = \bar{x} - \frac{\sigma_X}{\sigma_N} (\bar{Y}_N - \ln T) \text{ (Distribución Gumbel)}$$

Dónde:

X máx. = Valor extremo (Precipitación de diseño)

\bar{x} = media aritmética

σ_X = Desviación estándar de la muestra

σ_N = Desviación poblacional, Coeficiente función del número de datos

(Ver en anexos)

\bar{Y} = Variable reducida (Coeficiente función del número de datos) **(Ver en anexos)**

T = Periodo de retorno (años), 10 años.

Tabla 2. Máxima precipitación para 1, 3 y 5 días consecutivos de lluvias

Año	Días de lluvia consecutivos		
	1	3	5
1996	62.7	102	160.2
1997	21	90	128
1998	44	97	168
1999	30	55	155
2000	60	102	133
2001	21	34	94.7
2002	55	90	58.7
2004	103	118.7	177
2005	60	132	175
2006	65	86.7	102
2008	105	91	100
2009	82.7	70.2	80.9
2010	60	129.9	290
2011	147.6	155.8	0

Tabla 3. Organización de lluvias máxima de mayor a menor.

N° Orden	Lluvias Máximas				
	P=m/n+1	T=1/P	1	3	5
1	0.08	13.00	147.6	155.8	290
2	0.15	6.50	105	132	177
3	0.23	4.33	103	129.9	175
4	0.31	3.25	82.7	118.7	168
5	0.38	2.60	65	102	160.2
6	0.46	2.17	62.7	102	155

N° Orden	Lluvias Máximas				
	P=m/n+1	T=1/P	1	3	5
7	0.54	1.86	60	97	133
8	0.62	1.63	60	91	128
9	0.69	1.44	60	90	102
10	0.77	1.30	55	90	100
11	0.85	1.18	44	86.7	94.7
12	0.92	1.08	30	70.2	80.9
13	1.00	1.00	21	55	58.7
14	1.08	0.93	21	34	0

2.1.4. Escorrentía

La escorrentía es el excedente de aguas lluvias que recibe una zona o área determinada denominada cuenca hidrográfica, normalmente se estima como el resultado de la precipitación menos la infiltración en el suelo y la evaporación. Un modelo matemático comúnmente utilizado para cuantificarla es el modelo de la Curva Número propuesto por el departamento de conservación de suelos de los Estados Unidos (SCS) el cual consiste en la determinación en cuanto a las características hidrológicas del área de estudio. El modelo sugiere que la escorrentía se debe estimar bajo la fórmula:

$$E = \frac{(P - 0.2 * S)^2}{(P + 0.8 * S)}$$

Dónde:

- E = Escorrentía de diseño (cm)
- P = Precipitación de diseño (cm)
- S = Infiltración Potencial (cm)

La infiltración potencial se calcula mediante la ecuación:

$$S = \frac{2540}{CN} - 25.4$$

Dónde:

- CN = Número de curva (adimensional)

El valor de CN se debe extraer de la Tabla 4 que contempla el tipo de uso y laboreo que va a tener el suelos, a la vez, la tabla depende de la tabla 5 que describe los grupos hidrológicos de la zona de estudio teniendo como objeto tener en cuenta las condiciones de infiltración y el tipo de suelo del área de estudio.

Tabla 4. Tabla para determinar el valor de CN para cálculo de escorrentía.

Cobertura del suelo	Laboreo	Condiciones Hidrológicas	Número de Curva			
			A	B	C	D
Cultivos alineados	Recto	Pobres	77	86	91	94
	Contorno	Pobres	70	79	84	88
Cultivo alineados o con surcos pequeños	Recto	Pobres	65	76	84	88
	Contorno y Terrazas	Pobres	61	72	79	82
	Contorno y Terrazas	Buenas	59	70	78	81
Cultivo densos de leguminosas o prados en alternativa	Recto	Pobres	66	77	84	88
	Contorno	Pobres	64	75	83	85
	Contorno y Terrazas	Buenas	51	57	76	80
Pastizales (pastos naturales)	Contorno	Pobres	47	67	81	88
	Contorno	Regulares	25	59	75	83
Montes con pastos (ganadero-forestal)		Pobres	45	66	77	83
		Regulares	36	60	73	79
Bosques (forestales)		Pobres	46	68	78	84
		Regulares	36	60	70	76
		Buenas	26	52	63	69

Para el caso del proyecto se trabajó con un valor de curva número de 88 considerando que el cultivo va a tener una buena cobertura superficial, cincelado y condiciones hidrológicas pobres teniendo en cuenta la baja pendiente del terreno.

Tabla 5 Descripción de grupos hidrológicos para el cálculo de escorrentía.

GRUPO	DESCRIPCIÓN
A	Bajo potencial de escorrentía. Suelos que tienen altas tasas de infiltración aun cuando están S bien mojados, consistentes principalmente en arenas o gravas profundas y bien a excesivamente drenados. Estos suelos tienen una alta tasa de transmisión de agua.
B	Moderadamente bajo potencial de escorrentía. Suelos con tasas de infiltración moderadas cuando están bien mojados, moderadamente profundos a profundos, moderadamente bien a bien drenados, con texturas moderadamente finas a moderadamente gruesas. Estos suelos tienen una tasa de transmisión de agua moderada.

GRUPO	DESCRIPCIÓN
C	Moderadamente alto potencial de escorrentía. Suelos con tasas de infiltración lentas cuando están bien mojados, principalmente con una capa que impide el movimiento hacia abajo del agua, o de textura moderadamente fina a fina y una tasa de infiltración lenta. Estos suelos tienen una tasa lenta de transmisión de agua.
D	Alto potencial de escorrentía. Suelos que tienen tasas de infiltraciones muy lentas principalmente suelos arcillosos con un alto potencial de expansión; suelos con nivel freático D alto; suelos con claypan o capa arcillosa en la superficie o cercana a ella; y suelos poco profundos sobre materiales casi impermeables. Estos suelos tienen una tasa muy lenta de transmisión de agua.

Teniendo en cuenta el alto potencial de escorrentía del terreno, se realizaron los cálculos de escorrentía asumiendo un grupo hidrológico D.

2.1.5. Tiempo De Drenaje

El tiempo de drenaje es el periodo de tiempo empleado para evacuar los excesos de humedad en el suelo hasta que alcance un punto aireación mínimo del 10% y a su vez antes de que el cultivo experimente daños considerables por efecto de ahogamiento de raíces. El tiempo de drenaje se describe bajo el modelo matemático:

$$Td = (Tt * Dp^{0.46}) - t10$$

Dónde:

Td= Tiempo de Drenaje (hr)

Tt= Tiempo de tolerancia del Cultivo a encharcamiento, (24 hora para palma)

Dp= Daño Permisible (%), generalmente 10%

t10= Tiempo requerido para que el suelo alcance aireación del 10% (hr), el SCS propone la tabla 6 para obtener ágilmente el valor requerido.

Tabla 6. Tiempo de aireación requerido para diferentes texturas de suelo. El valor seleccionado corresponde a suelos de textura franca.

TEXTURA	t8	t10	t15
Arena	1,3	2,0	4,1
Arena fina	2,0	3,0	6,9
Franco arenoso	6,3	10,8	29,8

TEXTURA	t8	t10	t15
Franco	11,2	20,2	61,3
Franco limoso	19,3	36,7	122,2
Franco arcilloso arenoso	10,2	18,4	55,0
Franco arcilloso	9,5	16,9	49,9
Franco arcilloso limoso	18,4	34,9	115,4
Arenoso Franco	4,4	7,3	19,0
Arcillo limoso	16,0	29,9	96,3
Arcilloso	31,9	63,6	230,8

2.1.6. Caudal Crítico De Diseño

El caudal de diseño es la cantidad de agua que debe evacuarse en un tiempo determinado de manera que se impida el daño de los cultivos por falta de oxígeno en la zona radicular del cultivo; el caudal de diseño es el producto de la escorrentía en 24 horas por el coeficiente de drenaje de la zona. El coeficiente de drenaje es determinado por la ecuación de Stephen y Mills:

$$Cd = 4.573 + 1.62 * E24$$

Dónde:

E24= Escorrentía de diseño para 24 hr (cm)

Y a su vez se calcula mediante:

$$E24 = \frac{E * 24hr}{Td}$$

Finalmente el caudal de diseño se calcula por el modelo matemático:

$$Q = Cd * A^{5/6}$$

Donde

Q= Caudal de diseño (l/s)
Cd= Coeficiente de drenaje (l/s*ha)
A= Área de micro cuenca (ha)

2.2. CRITERIOS DE DISEÑO PARA EL ESTABLECIMIENTO DE LOS CANALES DE DRENAJES.

Existen diferencias en cuanto a los criterios que rigen el diseño de cada infraestructura, es necesario tener en cuenta el trazado de la plantación, aquellos criterios concernientes a las labores generales que permiten un manejo funcional y operativo de la plantación.

Los principales criterios tenidos en cuenta para el diseño de la red de canales fueron:

2.2.1. Cultivo establecido.

El cultivo establecido tiene tres diferentes densidades de siembra:

- Siembra en tres bolillo con un espaciamiento de 8.52 x 8.52 m entre plantas y 7,20 m entre hileras, proporcionándonos una densidad de siembra de 164 plantas*ha⁻¹.
- Siembra en tres bolillo con un espaciamiento de 8,17 x 8,17 m entre plantas y 7,08 m entre hileras, proporcionándonos una densidad de siembra de 173 plantas*ha⁻¹.
- Siembra en tres bolillo con un espaciamiento de 8.00 x 8.00 m entre plantas y 6.93 m entre hileras, proporcionándonos una densidad de siembra de 186 plantas*ha⁻¹.

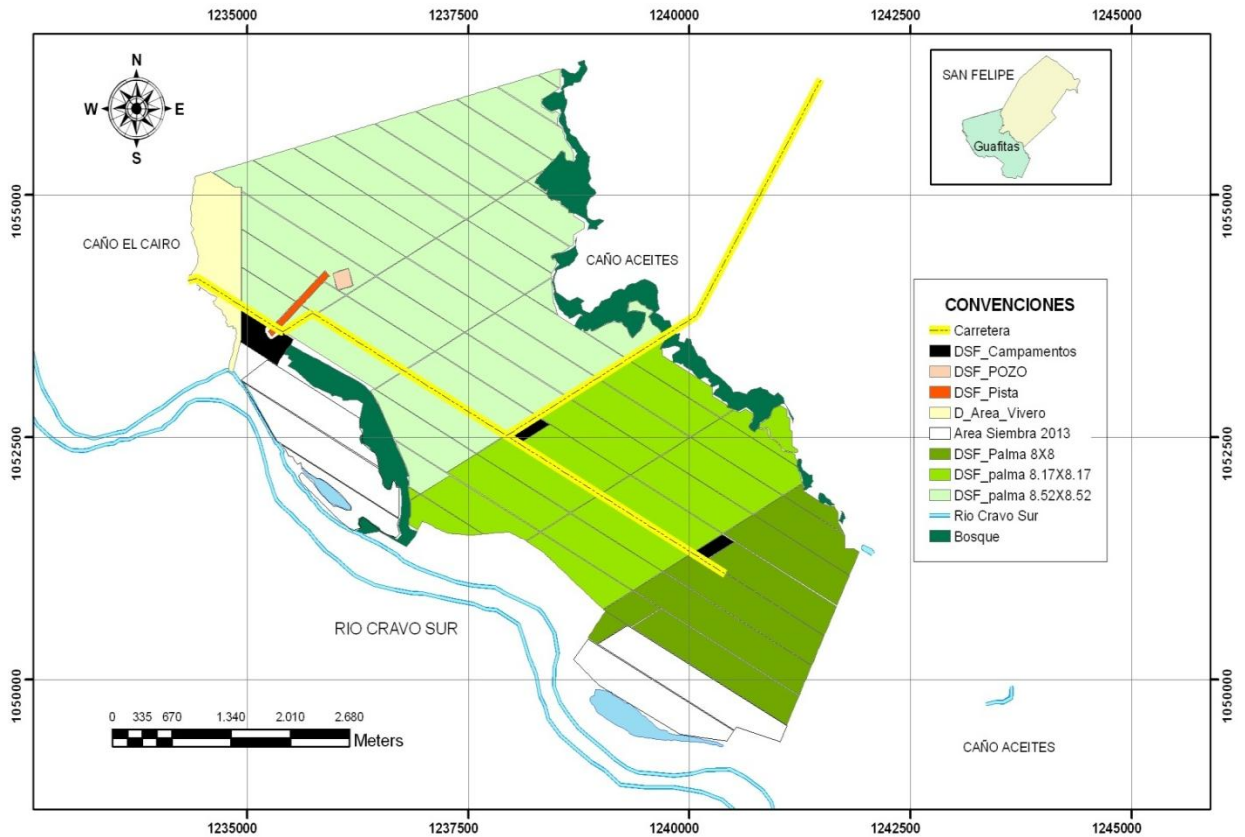
La orientación de este cultivo de palma está proyectada a Norte-Sur.

Tabla 7. Diferentes densidades de siembra

Espece	Distancia de siembra	Área (ha)	No Palmas	Densidad real (árbol/ha)
Compacta por Nigeria	8.52 X 8.52	1081.93	177284	163.86
Compacta por Ghana	8.17 X 8.17	614.78	106243	172.81
Deli por compacta	8.00 X 8.00	349.23	64953	185.99
Total		2045.94	348480	

En la ilustración 3. Se puede ver la disposición de cada uno de los materiales ya sembradas.

Ilustración 3. Cultivo de palma de diferentes densidades.



2.2.2. Trazados De Canales Primarios Y Secundario.

Debido a la falta de información de suelos de la zona de estudio, el cálculo de espaciamiento entre drenajes se realiza de acuerdo a la experiencia en cultivos de palma en la región. El trazado de los canales principales ya definidos atraviesa el lote y el distrito de drenaje a lo largo y ancho a una distancia ya establecida, los canales secundarios se trazaran perpendicular a los canales primarios.

2.2.3. Distanciamiento Entre Canales Terciarios.

Los canales serán utilizados para drenaje ya que en época de invierno se hace necesaria la construcción de infraestructura de drenaje para evacuar con rapidez los excesos de agua, también será utilizados para el riego debido a que en época de verano se implementa riego al cultivo. Para suplir el déficit hídrico, por lo tanto los canales se trazaran cada cuatro “4” líneas de palma.

2.3. DIMENSIONAMIENTO DE SECCIONES TRANSVERSALES DE LOS CANALES.

La ecuación de Manning es un modelo matemático que sirve para simular las condiciones de flujo uniforme en canales abierto, es decir que permite conocer las dimensiones de un canal en función a la capacidad de agua conducida. La fórmula depende de varios factores como la pendiente del canal, el radio hidráulico y un coeficiente de rugosidad de la sección también conocido como el coeficiente de Manning. Dicho coeficiente se expresa adimensionalmente y varía según las condiciones del cauce, siendo más comúnmente utilizado el coeficiente igual 0,025 debido a que corresponde a condiciones de canales abierto, nivelados en su fondo con una sección lisa y definida. En las ilustraciones 3 y 4 se muestra un comparativo de coeficiente para diferentes cauces.

Ilustración 4. Canal Revestido (Coeficiente de Manning 0.014)

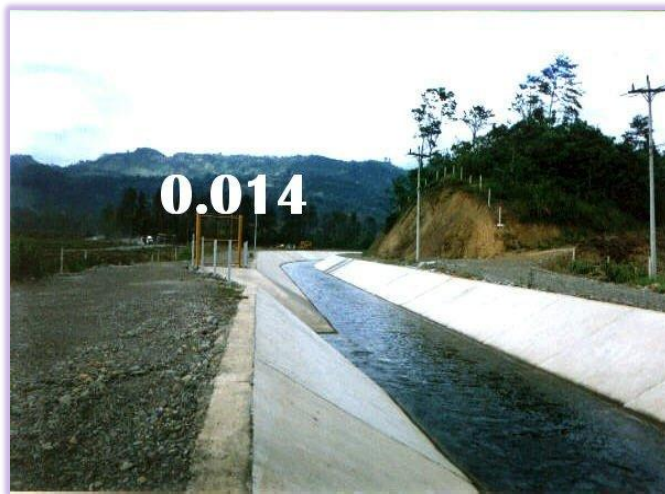


Ilustración 5. Canal Sin Revestir (Coeficiente de Manning 0.025)



En la tabla 8 se presentan los diferentes coeficientes para múltiples condiciones dadas en el manejo común de las aguas. De la tabla se puede inferir que el coeficiente es proporcional a la rugosidad de la sección siendo más bajo en superficies lisas y más grandes en superficies pedregosas y/o con malezas.

Tabla 8. Coeficiente de Manning.

TIPO DE CAUCE	Coef. Manning
CUNETAS Y CANALES SIN REVESTIR	
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
CUNETAS Y CANALES REVESTIDOS	
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
CORRIENTES NATURALES	
Limpias, orillas rectas, fondo uniforme, altura delámina de agua suficiente.	0,027-0,033
Limpias, orillas rectas, fondo uniforme, altura delámina de agua suficiente, algo de vegetación	0,033-0,040
Limpias, meandros, embalses y remolinos de pocaimportancia.	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

El modelo matemático que describe la capacidad del canal se describe como:

$$Q = \frac{1}{n} * R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}}$$

Dónde:

n= Coeficiente de Manning
R= Radio hidráulico
S= Pendiente del Canal

A su vez el Radio hidráulico se determina la fórmula:

$$R = \frac{bh + zh^2}{b + 2h\sqrt{z^2 + 1}}$$

Dónde:

b= Base del canal
h= Tirante Hidráulico
z= Talud (adimensional)

Determinar el tirante o altura del nivel del agua para un caudal específico es un proceso complejo, son procesos de iteración que se hacen hasta lograr las dimensiones requeridas para desplazar un caudal sin problemas de erosión del canal, generalmente se realiza los cálculos con un software que se llama Hcanales.

2.3.1. Borde Libre

Debido a los múltiples imprevistos ya sean de orden climático, hidráulico u operativo es aconsejable presupuestar un borde libre de agua que permita soportar fluctuaciones de caudal. Dicho borde libre puede considerarse entre 1 y 1/3 veces la longitud de la base del canal.

2.3.2. Trazado Geométrico

El trazado geométrico consiste en proponer los lineamientos de infraestructura de drenaje, vial y cable vía. Una vez realizado el trazado se cuenta con una distribución parcelaria que permite determinar el área sembrada.

3. RESULTADOS

3.1 LEVANTAMIENTO ALTIPLANIMÉTRICO

Se tomaron 31.008 puntos codificados cada uno con ID, coordenadas, cota y descripción, para un promedio de 11,1 puntos/hectárea y una malla media de captura de 30 x 30 metros aproximados.

Se dejan en campo instalados 4 bancos de medida (mojones). Dos de ellos se encuentran ubicados sobre el eje de vía principales y servirán para futuros replanteos topográficos de infraestructura y ejes de siembra.

Tabla 9. Banco de medias (MB)

MB	NORTE	ESTE	COTA
1	1053560	1235265	143.00
2	1053637	1235299	143.25
3	1055569	1244180	142.06
4	1055258	1244388	141.96

De acuerdo con levantamiento topográfico realizado en campo, el predio Guafitas cuenta con un área total de 2790.78 ha. La mayor parte de los esteros que se encuentran en la zona son drenables, por lo que estas áreas se incluirán dentro del total de área aprovechable. A partir de la topografía se generaron mapas de comportamiento del terreno como base para la realización del diseño de los canales.

En la ilustración 6 se aprecia el comportamiento altimétrico del terreno y se identifica una pendiente generalizada en dirección Nor-Occidente – Sur-Oriente. A partir de los mapas de pendientes se establece que el 80% del área del levantamiento topográfico presenta pendientes inferiores al 0.5%. Lo que indica que por cada 1000 metros de recorrido en la dirección indicada, la diferencia de altura es de 0.5 metros.

Ilustración 6. Mapa de comportamiento altimétrico del predio San Felipe, Sub división Guafitas.

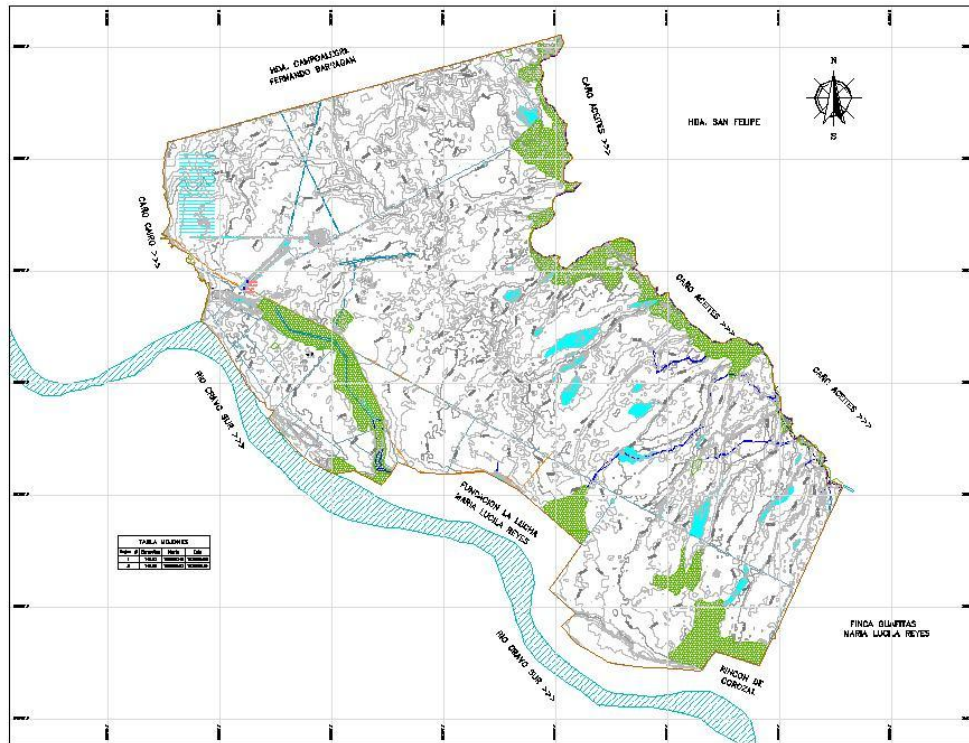


Tabla 10. Resumen Indicadores generales de áreas.

CUADRO GENERAL DE ÁREAS			
Descripción	Unidad	Cantidad	Participación
Área Bruta	Hectárea	2790.78	100.00%
Bosque	Hectárea	178.36	6.39%
Zona de vivero	Hectárea	73.6	2.64%
Área vía principal	Hectárea	29.4	1.05%
Campamentos	Hectárea	27	0.97%
Pista Aérea	Hectárea	5.8	0.21%
Pozo Petrolero	Hectárea	3.2	0.11%
Lagos de conservación	Hectárea	27.90	1.00%
Áreas amortiguación de drenaje	Hectárea	111.63	4.00%
Área aprovechable	Hectárea	2333.89	83.63%

3.2. DISEÑO DE LA RED DE CANALES.

Al hacer la recopilación de información hidrográfica, se identifican dos fuentes hídricas de vital importancia para el proyecto. El Río Cravo Sur que limita al Sur-Occidente de la plantación en una longitud de 2400 metros lineales, este perímetro compartido con el Cravo Sur se encuentra delimitado al sur-occidente por la fundación la Lucha de María Lucila Reyes y al Nor-Occidente con el caño Cairo. El Río Cravo Sur se convierte en un afluente importante para temas como disponibilidad de agua para riego, drenaje, y transporte entre otros.

La zona oriental del área de estudio está delimitada por el caño Aceites. A este caño se descargan la mayor parte de las aguas de escorrentía superficial por lo que será de vital importancia para el desarrollo de la infraestructura de los canales.

De acuerdo a la distribución topográfica de la zona y los parámetros de diseño para la red de los canales (ver numeral 4 memorias de cálculo) se realizó el trazado de la infraestructura de canales principales. Se identificaron y establecieron 5 distritos de drenaje y tres puntos de entrega de aguas de la red primaria.

El primer punto de entrega de las aguas está ubicado sobre el caño Aceites, el canal colector planteado limita al Norte y se convierte en la infraestructura de frontera entre la hacienda Campo Alegre y San Felipe. Este canal intercepta tanto los flujos superficiales como niveles freáticos que ingresan actualmente desde la hacienda Campo Alegre a la zona de estudio.

El segundo punto de descarga está ubicado sobre el río Cravo Sur, el canal planteado recogerá las aguas de los distritos de drenaje 1 y 2 y a su vez redirige parte de las aguas del Caño aceites hacia el río Cravo Sur, lo que permitirá disminuir los caudales aportados por la red de drenaje sobre este Caño Natural.

El tercer punto de descarga se realiza sobre el Caño Aceites en la zona más baja de la Finca San Felipe, tanto el canal perimetral principal número 3 que limita con la hacienda Guafitas al sur, como el caño aceites recogen las aguas de los distritos de drenaje 3, 4 y 5.

En la ilustración 6 se observa la distribución de distritos de drenaje, canales principales y puntos de descarga. Los caudales de entrega de cada uno de los canales fueron calculados en base a las áreas de influencia de cada obra.

Ilustración 7. Distrito de drenajes.

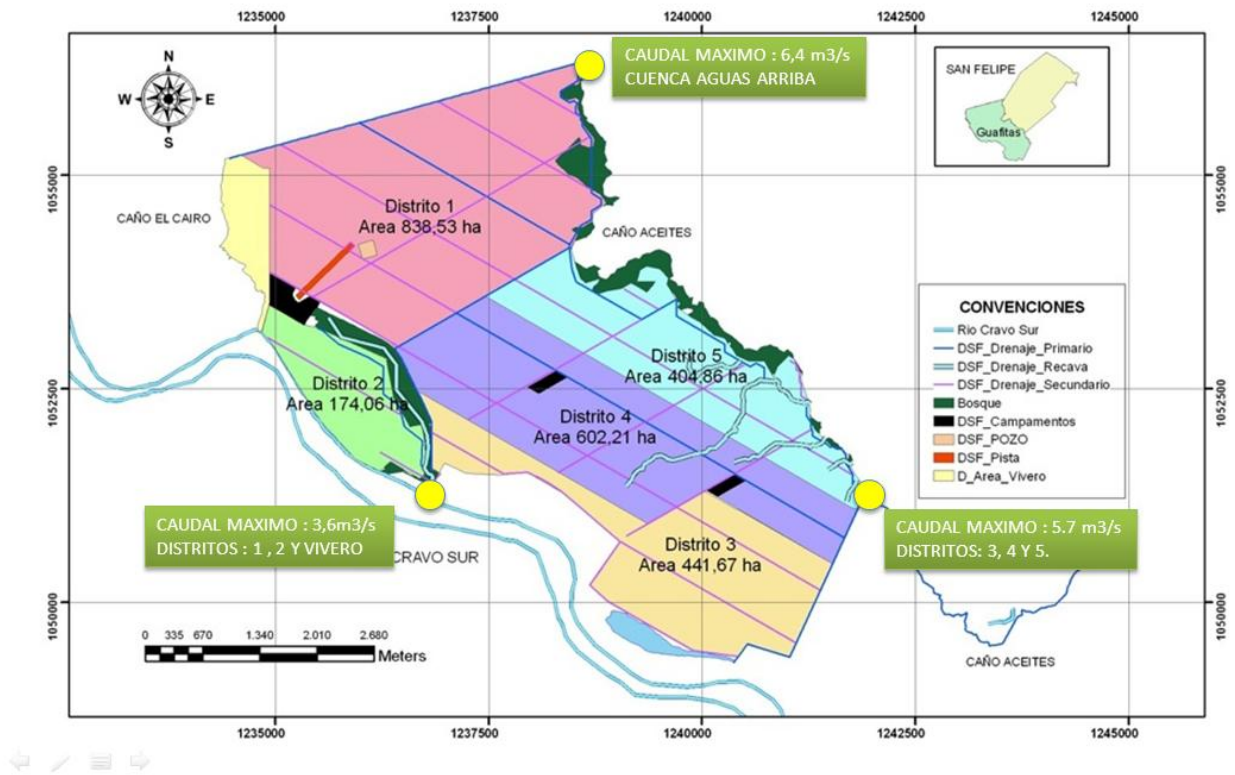


Tabla 11. Zonas de entrega de agua.

No	Descripción	Caudal (m3/s)	Coordenadas	
			Norte	Este
1	Cuenca Aguas Arriba	6.40	1056386	1238812
2	Distrito 1,2 y vivero	3.60	1051158	1236906
3	Distrito 3,4 y 5	5.70	1051246	1242052

3.3. CÁLCULOS HIDRÁULICOS Y DIMENSIONAMIENTO DE CANALES DE DRENAJE.

El drenaje agrícola consiste en la remoción del exceso de agua de la superficie del suelo y/o del perfil del suelo de terreno cultivable, tanto por gravedad como por medios artificiales. Las dos principales razones para mejorar el drenaje en los suelos agrícolas son la conservación del suelo y el mejoramiento de la producción de los cultivos.

El dimensionamiento de canales de drenaje en el cultivo de palma africana está ligado al análisis de dos factores preponderante. La remoción de los excesos de agua de escorrentías, denominada drenaje superficial y la

evacuación de los excesos de humedad de los perfiles internos del suelo, denominado drenaje subsuperficial.

La configuración de drenaje interno del diseño estará dividida en tres órdenes. Obedeciendo a la capacidad de conducción de agua. Los drenajes se deben proponer para mejorar las condiciones naturales de los predios aprovechando al máximo el flujo natural del terreno con el fin de optimizar rendimiento, minimizar costos de construcción y mantenimiento.

3.3.1. Canales Principales

Los drenajes principales tienen la función de recibir la mayor cantidad de agua de una micro cuenca para entregarla al final del predio ya sea a un caño, río o algún otro punto de concentración que permita el movimiento del agua en el terreno.

Estos canales generalmente se ubican sobre bajos o cauces naturales para aumentar la capacidad de evacuación del cauce; su geometría generalmente es irregular ya que se obliga a las zonas más bajas del relieve.

El redimensionamiento de los canales existentes y de los nuevos canales estará ligado a optimizar el flujo de las aguas en las direcciones establecidas, realizando un trazado de rasante que permita la extracción de las aguas internas de los lotes a través de drenajes terciarios.

3.3.2. Canales Secundarios

Los drenajes secundarios son de mayor dimensión que los terciarios y tienen la función de colectar las aguas que estos tributan y descargarlas en las partes bajas de los lotes sobre canales primarios; su área de influencia es máximo de 100 hectáreas y su geometría es bastante recta salvo algunas excepciones cuando se utiliza como lindero de bosques o sobre lotes cuya topografía es muy irregular.

El dimensionamiento de los canales secundarios está ligado directamente a las necesidades de evacuación de las aguas internas, coeficientes de drenaje y al mismo tiempo a las dimensiones reales de los canales tributario, la infraestructura actual, labores agronómicas realizadas en la zona, procesos de erosión y sedimentación, con el fin de garantizar la duración de la infraestructura construida.

El diseño planteado contempla la construcción de este tipo de infraestructura orientada en el sentido de la pendiente.

3.3.3. Canales Terciarios

El objetivo de este tipo de infraestructura es interceptar las aguas de drenaje superficial al interior de los lotes, al mismo tiempo que se realiza control del nivel freático. Los canales terciarios se encuentran ubicados en áreas en donde las condiciones topográficas y los tipos de suelo indiquen problemas de drenaje.

El cálculo para determinar el distanciamiento entre este tipo de infraestructura se realizó por el método de Glover Dunn el cual aplica para las condiciones de recarga variable del proyecto. Los resultados indican que la distancia máxima que debemos tener es de 30 metros con espaciamentos de 4 líneas de siembra. Esta disposición favorece tanto el drenaje óptimo de los terrenos como las labores de cosecha. Es necesario que esta infraestructura se realice sobre las calles denominadas paleras en donde se agrupa la biomasa del cultivo con el fin de evitar traumatismo en las labores de cosecha.

3.4. SECCIONES DE CANALES

Una vez realizado el análisis estadístico de las precipitaciones diarias en el área de estudio, se determinó una precipitación de diseño igual a 153 mm para la zona, con un periodo de retorno de 10 años. Estos datos son tomados del análisis hidrológico de las estaciones de Manuelita y predio el Carmen. En el numeral 4.1.2 se podrán detallar los cálculos realizados para determinar la precipitación de diseño.

Tabla 12. Calculo de Coeficiente de Drenaje.

VARIABLE	UNIDAD	MAGNITUD
Precipitación de Diseño	Mm	153
Curva Numero	Adimensional	88
Tolerancia del Cultivo	Hr.	24
Daño permisible	%	10
Tiempo airea 10%	Hr.	20
Tiempo de Drenaje	Hr.	49.22
Infiltración Potencial	mm/Hr.	34.6
Escorrentía de Diseño	Mm	118.1
Escorrentía 24 hr.	Mm	57.6
Coeficiente de Drenaje	LPS/ha	13.90

Una vez conocida la capacidad de evacuación de los canales, se determinó la mejor sección para cada tipo de canal. En la Tabla 13 se muestra el

resumen de cálculos realizados para determinar la sección que deben tener los canales de diferente orden.

Tabla 13. Sección y tipo de canal.

VARIABLE/DRENAJE	UNIDAD	PRINCIPAL	SECUNDARIO	TERCIARIO
Caudal	LPS	5717.80	1675.60	135.80
Base	M	2.24	1.00	0.50
Talud	Adimensional	0.50	0.50	0.36
Rugosidad	Adimensional	0.025	0.025	0.025
Pendiente	m/m	0.00051	0.00050	0.00015
Tirante	M	1.20	1.00	0.80
Borde libre	M	0.80	0.50	0.20
Altura total	M	2.00	1.50	1.00
Boca del Canal	M	4.24	2.50	1.22
Velocidad	m/s	0.88	0.64	0.21

En la práctica los canales principales y secundarios pueden construirse con el mismo de tipo de balde de retroexcavadora, esa condición es importante dado que se evitan traumatismos en la logística de construcción o mantenimientos de canales. En la tabla 14 se encuentra el cálculo de las dimensiones de los canales primario y secundario. Es recomendable que la plantación tenga en su inventario por lo menos un balde propio para hacer canales adicionales o limpiezas de los existentes. En la ilustración 8 se presenta las secciones tipo para cada tipo de canal.

Ilustración 8. Secciones comunes y tipo de drenaje.

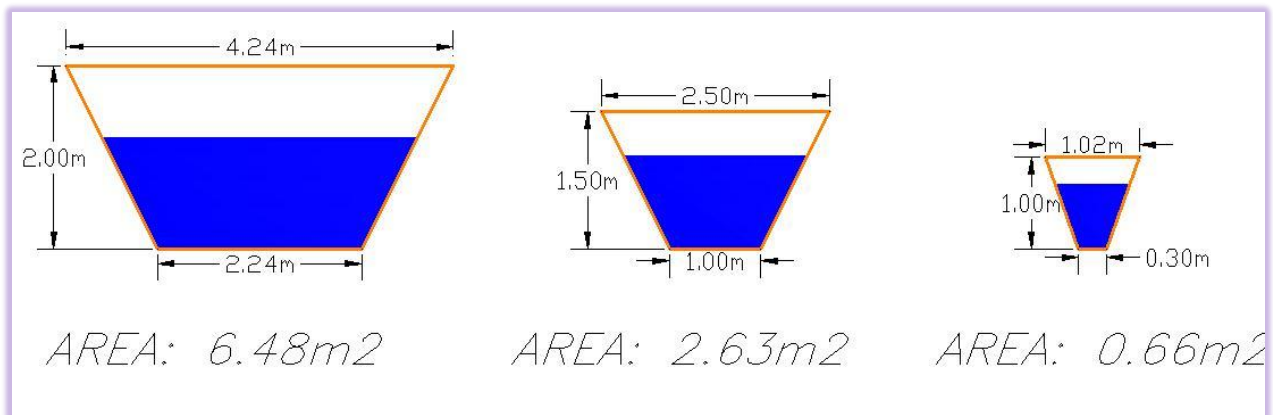


Tabla 14. Dimensionamiento de los canales primario y secundario.

SECTORES	Nombre del Canal	Pendiente (m/m)	Caudal (LPS)	Lámina de agua (m)	Altura (m)	Base (m)	Talud	Espejo del canal (m)	Area (m ²)	Longitud (m)	Volumen (m ³)	Velocidad (m/s)	Tiempo (min)
1	DS-1	0,00035	360,37	0,70	1,50	1,00	0,50	2,50	2,63	1721,02	4517,68	0,38	74,76
	DS-2	0,00134	583,31	0,62	1,50	1,00	0,50	2,50	2,63	1414,39	3712,77	0,71	32,97
	DS-3	0,00066	769,04	0,90	1,50	1,00	0,50	2,50	2,63	1973,84	5181,33	0,59	55,89
	DS-4	0,00092	483,41	0,62	1,50	1,00	0,50	2,50	2,63	1516,72	3981,39	0,59	42,67
	DS-5	0,00045	171,18	0,42	1,50	1,00	0,50	2,50	2,63	555,32	1457,72	0,34	26,87
	DS-6	0,00015	197,72	0,63	1,50	1,00	0,50	2,50	2,63	650,71	1708,11	0,24	45,19
	DS-7	0,00131	500,45	0,57	1,50	1,00	0,50	2,50	2,63	1179,3	3095,66	0,68	28,86
	DS-8	0,00085	500,45	0,65	1,50	1,00	0,50	2,50	2,63	1179,28	3095,61	0,58	33,86
	DS-9	0,00081	240,40	0,42	1,50	1,00	0,50	2,50	2,63	1179,28	3095,61	0,47	41,99
	DS-10	0,00032	171,18	0,46	1,50	1,00	0,50	2,50	2,63	788,52	2069,87	0,31	43,09
	DS-10.4	0,00064	654,59	0,83	1,50	1,00	0,50	2,50	2,63	784	2058,00	0,56	23,38
	DS-10.3.4	0,00128	1423,63	1,06	1,50	1,00	0,50	2,50	2,63	784	2058,00	0,88	14,87
	DS-11	0,00020	583,31	1,08	1,50	1,00	0,50	2,50	2,63	1403,89	3685,21	0,34	68,10
	DP-A	0,00117	677,68	0,55	1,80	1,50	0,50	3,30	4,32	1702,14	7353,24	0,69	41,07
	DP-B	0,00075	100,00	0,20	1,80	1,50	0,50	3,30	4,32	929,93	4017,30	0,32	47,98
	DP-AC.3.4.	0,00078	2573,34	1,39	2,00	2,00	0,50	4,00	6,00	1148,03	6888,18	0,84	22,65
	DP-BD.1	0,00056	1043,68	0,90	1,80	1,50	0,50	3,30	4,32	900,54	3890,33	0,60	25,20
	DP-BD.1.6	0,00102	1241,40	0,83	1,80	1,50	0,50	3,30	4,32	880,95	3805,70	0,78	18,88
	DP-ABCD.1.3.4.6	0,00052	3814,74	1,19	2,00	3,50	0,50	5,50	9,00	766,5	6898,50	0,80	15,99
	DP-ABCD.1.3.4.6.7	0,00045	4315,19	1,35	2,00	3,50	0,50	5,50	9,00	784	7056,00	0,77	17,00
DP-ABCD.1.3.4.6.7.8	0,00060	4815,64	1,21	2,00	4,00	0,50	6,00	10,00	784	7840,00	0,87	15,10	

SECTORES	Nombre del Canal	Pendiente (m/m)	Caudal (LPS)	Lámina de agua (m)	Altura (m)	Base (m)	Talud	Espejo del canal (m)	Area (m ²)	Longitud (m)	Volumen (m ³)	Velocidad (m/s)	Tiempo (min)
	DP-ABCD.1.3.4.6.7.8.9	0,00025	5056,04	1,63	2,00	4,00	0,50	6,00	10,00	1600,43	16004,30	0,88	30,37
	Drenaje terciario	0,00015	135,80	0,80	1,00	0,50	0,36	1,22	0,86	264927,11	227837,31		
2	DP-A	0,00078	2573,34	1,18	2,00	2,00	0,50	4,00	6,00	2320,94	13925,64	0,84	45,78
	DS-1	0,0006	663,42	0,85	1,50	1,00	0,50	2,50	2,63	2274,44	5970,41	0,5609	67,58
	DS-2	0,0004	212,85	0,49	1,50	1,00	0,50	2,50	2,63	851,24	2234,51	0,3507	40,45
	Drenaje Terciario	0,00015	135,80	0,80	1,00	0,50	0,36	1,22	0,86	40339,99	26624,39		
3	DS-1	0,00096	425,08	0,57	1,50	1,00	0,50	2,50	2,63	1462,25	3838,41	0,58	41,89
	DS-2	0,00052	635,71	0,86	1,50	1,00	0,50	2,50	2,63	1155,4	3032,93	0,51	37,52
	DS-3	0,00067	756,37	0,89	1,50	1,00	0,50	2,50	2,63	1941,96	5097,65	0,59	54,90
	DS-4	0,00055	1487,24	1,37	1,70	1,00	0,50	2,70	3,15	2372,64	8790,63	0,64	61,43
	DS-5	0,00036	379,88	0,56	1,50	1,00	0,50	2,50	2,63	2230,56	5855,22	0,39	94,60
	DP-A	0,00061	379,88	0,47	1,80	1,50	0,50	3,30	4,32	981,50	4240,08	0,4627	35,35
	DP-B	0,00103	1867,12	1,06	1,9	1,50	0,50	3,40	4,66	682,10	3175,18	0,8679	13,10
	DP-C	0,00029	2623,49	1,25	2,00	3,00	0,50	5,00	8,00	677,60	5420,80	0,58	19,53
	DP-D	0,00040	6239,85	1,49	2,00	4,50	0,50	6,50	11,00	618,80	6806,80	0,95	10,81
	Drenaje terciario	0,00015	135,80	0,80	1,00	0,50	0,36	1,22	0,86	151022,67	129879,50		
4	DP-A	0,00098	551,33	0,66	1,80	1,50	0,50	3,30	4,32	1323,35	5716,87	0,61	36,10
	DS-1	0,00066	489,75	0,69	1,50	1,00	0,50	2,50	2,63	1317,7	3458,96	0,53	41,79
	DS-4	0,00077	489,75	0,65	1,50	1,00	0,50	2,50	2,63	1171,74	3075,82	0,56	35,09
	DP-AB	0,00082	1523,52	1,25	1,80	1,50	0,50	3,30	4,32	1225,5	5294,16	0,76	26,99
	DS-2	0,00082	506,64	0,66	1,50	1,00	0,50	2,50	2,63	1221,61	3206,73	0,57	35,43
	DS-5	0,00081	506,64	0,66	1,50	1,00	0,50	2,50	2,63	1360	3570,00	0,57	39,62
	DP-ABC	0,00083	2540,21	1,35	2,00	1,50	0,50	3,50	5,00	1208,58	6913,08	0,86	23,29

SECTORES	Nombre del Canal	Pendiente (m/m)	Caudal (LPS)	Lámina de agua (m)	Altura (m)	Base (m)	Talud	Espejo del canal (m)	Area (m ²)	Longitud (m)	Volumen (m ³)	Velocidad (m/s)	Tiempo (min)
	DS-3	0,00083	500,98	0,66	1,50	1,00	0,50	2,50	2,63	1197,58	3143,65	0,58	34,68
	DS-6	0,00077	500,98	0,67	1,50	1,00	0,50	2,50	2,63	1554,21	4079,80	0,56	46,27
	DP-ABCD	0,00060	3616,36	1,22	2,00	3,00	0,50	5,00	8,00	1493,22	11945,76	0,82	30,28
	Drenaje Terciario	0,00015	135,80	0,80	1,00	0,50	0,36	1,22	0,86	195076,80	167766,05		
5	DS-1	0,00091	551,33	0,68	1,50	1,00	0,50	2,50	2,63	1317,57	3458,62	0,61	35,97
	DS-7	0,00030	551,33	0,93	1,50	1,00	0,50	2,50	2,63	1164,45	3056,68	0,40	48,18
	DP-A	0,00062	100	0,21	1,80	1,50	0,50	3,30	4,32	1293,87	5589,52	0,30	71,08
	DS-2	0,00063	155,61	0,35	1,50	1,00	0,50	2,50	2,63	479,42	1258,48	0,38	21,14
	DP-AB.2	0,00059	806,94	0,76	1,80	1,50	0,50	3,30	4,32	1699,61	7342,32	0,57	49,97
	DS-3	0,00075	510,05	0,68	1,50	1,00	0,50	2,50	2,63	1205,4	3164,18	0,56	36,07
	DS-8	0,00030	510,05	0,89	1,50	1,00	0,50	2,50	2,63	1348,23	3539,10	0,40	56,86
	DP-ABC.2	0,00110	1414,51	0,88	1,80	1,50	0,50	3,30	4,32	1086,98	4695,75	0,83	21,89
	DS-5	0,00033	100	0,33	1,50	1,00	0,50	2,50	2,63	600,54	1576,42	0,26	37,90
	DPABC.2.5	0,00010	1514,51	1,83	2,60	1,50	0,50	4,10	7,28	280,43	2041,53	0,34	13,66
	DS-4	0,00125	504,03	0,58	1,50	1,00	0,50	2,50	2,63	1197,87	3144,41	0,67	29,77
	DS-9	0,00030	504,03	0,88	1,50	1,00	0,50	2,50	2,63	1030,69	2705,56	0,39	43,59
	DP-ABCD.2.5	0,00086	2018,54	1,17	2,00	1,50	0,50	3,50	5,00	808,96	4044,80	0,83	16,29
	DS-6	0,00062	324,93	0,55	1,50	1,00	0,50	2,50	2,63	804,75	2112,47	0,46	29,08
	DP-ABCD.2.5.6	0,00030	2343,47	1,15	2,00	3,00	0,50	5,00	8,00	448,39	3587,12	0,57	13,18
	Drenaje terciario	0,00015	135,80	0,80	1,00	0,50	0,36	1,22	0,86	123469,54	81489,90		

3.5. DISEÑO DE LOTES

En el caso de san Felipe, el diseño de lotes está determinado por la infraestructura propuesta de vías, cable vías y drenajes, en algunos casos encontraremos lotes delimitados por bosques, caños y otras estructuras civiles como la pista de aterrizaje y campamentos.

Se obtienen lotes típicos con anchos de 294 metros, y longitudes promedio de 1200 metros. En total se diseñan 64 lotes con áreas promedio de 35.75 ha.

Ilustración 9. Mapa de diseño de lotes.

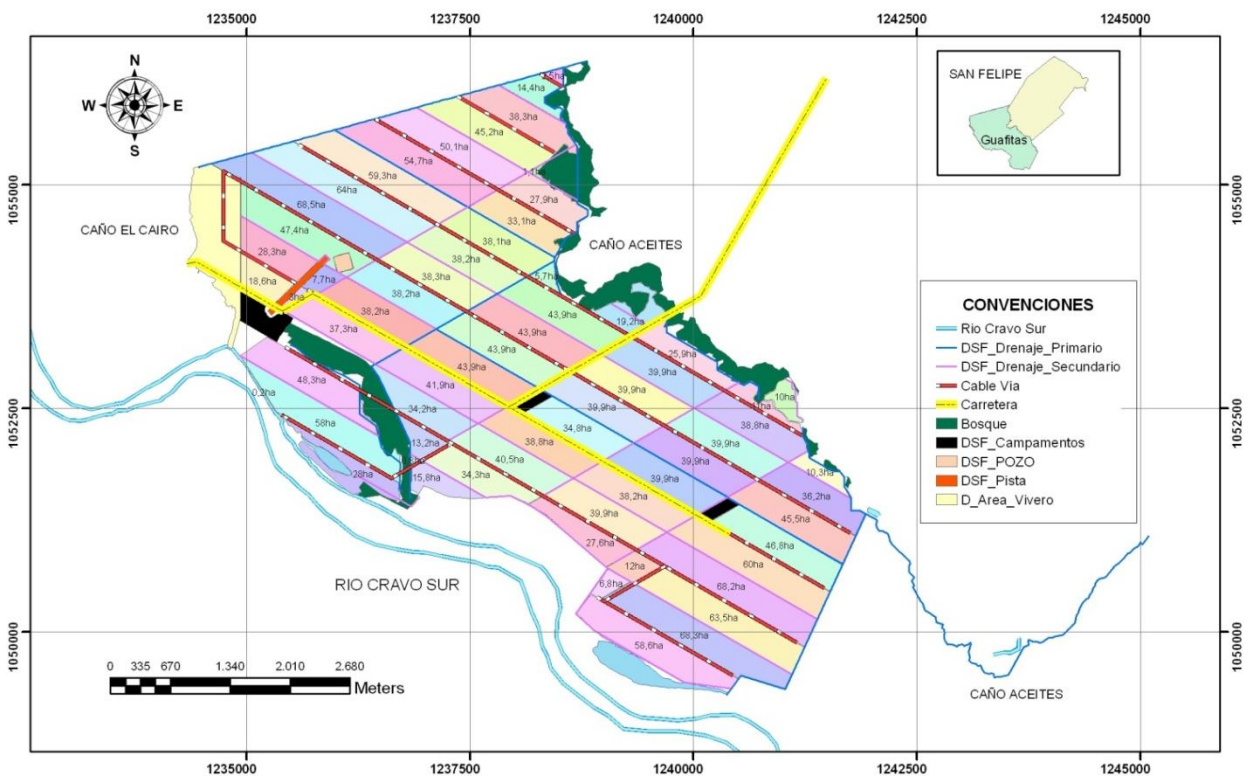


Tabla 15. Resumen cuadro de área por lote

Lote	Área (Ha)	Lote	Área (Ha)
1	2.52	33	16.68
2	14.39	34	34.26
3	38.26	35	40.48
4	45.24	36	38.76
5	50.09	37	34.78
6	54.70	38	39.94
7	59.34	39	39.94

Lote	Área (Ha)	Lote	Área (Ha)
8	63.99	40	39.94
9	68.46	41	25.89
10	47.43	42	9.95
11	28.32	43	10.97
12	18.57	44	38.81
13	2.98	45	39.94
14	37.30	46	39.94
15	7.66	47	39.94
16	38.19	48	38.24
17	38.19	49	39.94
18	38.19	50	27.64
19	38.19	51	6.78
20	38.13	52	11.97
21	33.14	53	63.55
22	27.95	54	68.18
23	1.06	55	59.99
24	19.22	56	46.81
25	5.73	57	45.46
26	43.85	58	36.21
27	43.85	59	10.29
28	43.85	60	68.31
29	43.85	61	58.64
30	41.90	62	48.27
31	34.18	63	58.19
32	13.25	64	27.99

3.6. RESUMEN INFRAESTRUCTURA DE CANALES

Tabla 16. Construcción de Infraestructura de Drenaje.

INFRAESTRUCTURA DE DRENAJE			
Descripción	Longitud (m)	Volumen (m3)	Indicador m/ha
Drenaje primario	25646.35	154492.96	10.99
Drenaje Secundario	44390.52	119087.57	19.02
Drenaje Terciario	774836.11	633597.15	331.99
Total	844872.98	707177.68	362.00

4. MEMORIAS DE CÁLCULO

4.1. PARÁMETROS DE DISEÑO DE LA RED DE DRENAJE

4.1.1. Coeficiente De Drenaje.

El coeficiente de drenaje depende de varios componentes, una vez desarrollados los modelos matemáticos se obtuvo un coeficiente de drenaje de 13.90 lps/Ha, el resumen de la variable de cálculo se presenta en la Tabla 5.

Infiltración Potencial:

$$S = \frac{2540}{CN} - 25.4$$

$$S = \frac{2540}{88} - 25.4$$

$$S = 3.46 \text{ cm}$$

Escorrentía:

$$E = \frac{(P - 0.2 * S)^2}{(P + 0.8 * S)}$$

$$E = \frac{(15.3 - 0.2 * 3.46)^2}{(15.3 + 0.8 * 3.46)}$$

$$E = 11.81 \text{ cm}$$

Escorrentía de diseño para 24 hr;

$$E24 = \frac{E * 24hr}{Td}$$

$$E24 = \frac{11.81 \text{ cm} * 24hr}{49.22hr}$$

$$E24 = 5.76 \text{ cm}$$

Calculo de coeficiente de diseño:

$$Cd = 4.573 + 1.62 * E24$$

$$Cd = 4.573 + 1.62 * 5.76 \text{ cm}$$

$$Cd = 13,90 \text{ LPS/ha}$$

4.1.2. Precipitación De Diseño

Una vez realizado el análisis probabilístico del área de estudio se determinó una precipitación de diseño igual a 153 mm para la zona. Con un periodo de retorno de 10 años, estos datos son tomados del análisis hidrológico de las estaciones de Manuelita y predio el Carmen.

Cálculo de precipitación máxima:

Para 3 días consecutivos:

Hallar la media:

$$\bar{x} = \frac{\sum \text{Precipitacion}}{\text{numero de datos}}$$

$$\bar{x} = \frac{1354.3 \text{ mm}}{14}$$

$$\bar{x} = 96.74 \text{ mm}$$

Hallar desviación Estándar:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (Xi - \bar{x})^2}{N}}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{13974.25}{14}}$$

$$\sigma = 31.59$$

Tabla 17. Datos de precipitación media

VARIABLES	1	3	5
Media	65.5	96.73	130.19
Desviación Estándar	34.97	31.59	68.02
N	14	14	14
Y	0.51	0.51	0.51
Σn	1.0095	1.0095	1.0095

Se reemplazó en la ecuación de Gumbel:

$$X = \bar{x} - \frac{\sigma_x}{\sigma_N} * (\bar{Y} - \ln(T))$$

$$X = 96.73 \text{ mm} - \frac{31.59 \text{ mm}}{1.0095} * (0.51 - \ln(10 \text{ años}))$$

$$X = 152.84 \text{ mm}$$

Tabla 18. Distribución Gumbel

TR	1	3	5
2	71.84	102.47	142.52
3	85.89	115.16	169.84
5	103.58	131.14	204.26
10	127.59	152.84	250.97

4.1.3. Diseños hidráulicos de los canales

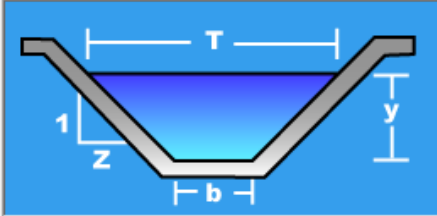
Para los cálculos hidráulicos de los canales se utilizó el software Hcanales, las siguientes imágenes son los cálculos de los canales más comunes del canal primario secundario y terciario.

Ilustración 10. Calculo Hidráulico del Canal Primario

Lugar:	<input type="text" value="Vereda Mariara"/>	Proyecto:	<input type="text" value="San Felipe"/>
Tramo:	<input type="text" value="Canal Principal"/>	Revestimiento:	<input type="text" value="Tierra"/>

Datos:

Caudal (Q):	<input type="text" value="5.056"/>	m ³ /s
Ancho de solera (b):	<input type="text" value="4"/>	m
Talud (Z):	<input type="text" value="0.5"/>	
Rugosidad (n):	<input type="text" value="0.025"/>	
Pendiente (S):	<input type="text" value="0.00025"/>	m/m



Resultados:

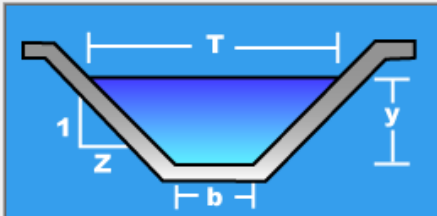
Tirante normal (y):	<input type="text" value="1.6309"/>	m	Perímetro (p):	<input type="text" value="7.6468"/>	m
Area hidráulica (A):	<input type="text" value="7.8534"/>	m ²	Radio hidráulico (R):	<input type="text" value="1.0270"/>	m
Espejo de agua (T):	<input type="text" value="5.6309"/>	m	Velocidad (v):	<input type="text" value="0.6438"/>	m/s
Número de Froude (F):	<input type="text" value="0.1741"/>		Energía específica (E):	<input type="text" value="1.6520"/>	m·Kg/Kg
Tipo de flujo:	<input type="text" value="Subcrítico"/>				

Ilustración 11. Calculo Hidráulico del Canal secundario

Lugar:	<input type="text" value="Vereda Mariara"/>	Proyecto:	<input type="text" value="San Felipe"/>
Tramo:	<input type="text" value="Canal Secundario"/>	Revestimiento:	<input type="text" value="Tierra"/>

Datos:

Caudal (Q):	<input type="text" value="0.583"/>	m ³ /s
Ancho de solera (b):	<input type="text" value="1"/>	m
Talud (Z):	<input type="text" value="0.5"/>	
Rugosidad (n):	<input type="text" value="0.025"/>	
Pendiente (S):	<input type="text" value="0.00020"/>	m/m



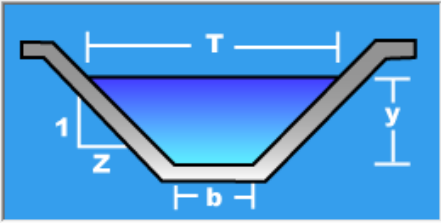
Resultados:

Tirante normal (y):	<input type="text" value="1.0806"/>	m	Perímetro (p):	<input type="text" value="3.4163"/>	m
Area hidráulica (A):	<input type="text" value="1.6645"/>	m ²	Radio hidráulico (R):	<input type="text" value="0.4872"/>	m
Espejo de agua (T):	<input type="text" value="2.0806"/>	m	Velocidad (v):	<input type="text" value="0.3503"/>	m/s
Número de Froude (F):	<input type="text" value="0.1250"/>		Energía específica (E):	<input type="text" value="1.0869"/>	m·Kg/Kg
Tipo de flujo:	<input type="text" value="Subcrítico"/>				

Ilustración 12. Calculo Hidráulico del Canal Terciario

<p>Lugar: <input style="width: 80%;" type="text" value="Vereda Mariara"/></p> <p>Tramo: <input style="width: 80%;" type="text" value="Canal Terciario"/></p>	<p>Proyecto: <input style="width: 80%;" type="text" value="San Felipe"/></p> <p>Revestimiento: <input style="width: 80%;" type="text" value="Tierra"/></p>
--	--

Datos:	
Caudal (Q):	<input style="width: 60%;" type="text" value="0.135"/> m ³ /s
Ancho de solera (b):	<input style="width: 60%;" type="text" value="0.5"/> m
Talud (Z):	<input style="width: 60%;" type="text" value="0.36"/>
Rugosidad (n):	<input style="width: 60%;" type="text" value="0.025"/>
Pendiente (S):	<input style="width: 60%;" type="text" value="0.00015"/> m/m



Resultados:			
Tirante normal (y):	<input style="width: 60%;" type="text" value="0.8027"/> m	Perímetro (p):	<input style="width: 60%;" type="text" value="2.2062"/> m
Área hidráulica (A):	<input style="width: 60%;" type="text" value="0.6333"/> m ²	Radio hidráulico (R):	<input style="width: 60%;" type="text" value="0.2870"/> m
Espejo de agua (T):	<input style="width: 60%;" type="text" value="1.0779"/> m	Velocidad (v):	<input style="width: 60%;" type="text" value="0.2132"/> m/s
Número de Froude (F):	<input style="width: 60%;" type="text" value="0.0888"/>	Energía específica (E):	<input style="width: 60%;" type="text" value="0.8050"/> m-Kg/Kg
Tipo de flujo:	<input style="width: 100%;" type="text" value="Subcrítico"/>		

5. CONCLUSIONES

- El diseño hidráulico de los canales para el sistema de drenaje en el predio San Felipe, debe generalmente resolver el problema de exceso de agua superficial y ascenso del manto freático hasta la superficie, con correctivos que van desde canales abiertos.
- El levantamiento topográfico detallado que se realizó en el predio con curvas de nivel cada 0.20 m, servirá de base para futuros proyectos que se realice en el predio.
- El volumen de tierra movida los canales terciarios es 633597.15 m³ secundario es 119087.57 m³ y primario es 154492.96 m³ y esa tierra será utilizada para establecerla como muro cuando allá una creciente y así evitar que entre agua del caño aceite al predio
- De acuerdo al trazado de los canales el número total de lotes diseñados son 64 con un área promedio de 35.75 Ha, que están limitadas por vías, canales y cable vías.
- Debido a la alta precipitación que presenta la zona es indispensable la construcción de la red de canales para la evacuación de estas aguas.
- La escorrentía que presenta esta zona es alta, esto se debe a que la mayoría de los suelos son arcillosos.

6. RECOMENDACIONES

Realizar la localización de la infraestructura con equipos de alta precisión que garanticen la correcta georeferenciación y nivelación altimétrica. Se recomienda hacer la nivelación de los drenajes cada 10 metros, incluido los drenajes terciarios para diseñar las rasantes de cada uno.

Se recomienda negociar con los propietarios del predio Guafitas y La Lucha (María Lucila Reyes) el paso de aguas para entregar al Cravo Sur y la canalización del Caño Aceites. En el caso de la entrega al Caño Aceites se requiere canalizar las aguas del proyecto en una longitud de 5 km aprox.

El manejo de aguas de drenaje y en especial las servidumbres deben incluirse en el plan de manejo ambiental del proyecto para tener el visto bueno de Corporinoquia y evitar futuras sanciones.

El talud recomendado para la construcción de los canales primarios y secundarios es de 1:0. Vertical a 0.5 horizontal. En algunos casos cuando se corten estratos arenosos es posible que se derrumben los taludes, se aconseja revestir el canal. El mantenimiento de estos taludes debe hacer manualmente o con guadañadoras.

Se recomienda realizar un estudio detallado del suelo para observar si el suelo tiene problemas de salinidad o sodicidad y así aplicar lavados pertinentes o enmiendas para la corrección de estos problemas.

Los drenajes terciarios pueden construirse con taludes de 1 Vertical a 0.36 Horizontal. Esto teniendo en cuenta que conducirán pequeños caudales a baja velocidad. Con este talud se logran menores costos de construcción sin aumentar significativamente los costos de mantenimiento.

Se recomienda realizar estudio de freaticimetría para evaluar si la red de canales cumple satisfactoriamente la remoción de agua.

7. BIBLIOGRAFIA

- ESTUDIO TEÓRICO-EXPERIMENTAL DE UN SISTEMA DE DISIPACIÓN DE ENERGÍA POCO HABITUAL AL PIE DE UNA CAÍDA DE AGUA. Disponible en: URL: [en línea]. <http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/6002/4/03.pdf>. [Consulta: 20 Noviembre 2012].
- Koolhaas Michel 2011. Estructuras Hidráulicas para Riego. En línea <http://www.fagro.edu.uy/~topografia/docs/Canales%20para%20Riego%20y%20Drenaje.pdf>. Visitado 25 Noviembre del 2012.
- Vélez, M y Vélez, J. 2002. Capítulo 10: Relación Precipitación-Escorrentía. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Minas. Unidad de Hidráulica. <http://poseidon.unalmed.edu.co/materia/hidrología.html>.
- CONCEPTOS Y ELEMENTOS DE UN CANAL. Disponible en: URL: [en línea]. <http://civilgeeks.com/2010/11/10/conceptos-y-elementos-de-un-canal/> [Consulta: 20 Noviembre 2012].
- CANAL DE RIEGO. Disponible en: URL: [en línea]. http://es.wikipedia.org/wiki/Canal_de_riego [consulta: 20 Noviembre 2012].
- REGOS Y DRENAJES Y MANEJO DE SUELOS AGRICOLAS. Disponible en: URL: [en línea]. <http://riegosydrenajescerrito.blogspot.com/> [Consulta: 20 Noviembre 2012].
- DISEÑO HIDRÁULICO DE UN CANAL DE LLAMADA. Disponible en: URL: [en líneas]. http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/noticias/2012/Documents/FICHAS%20TECNICAS%20E%20INSTRUCTIVOS%20NAVA/FICHA%20TECNICA_CANAL%20DE%20LLAMADA.pdf [consulta: 31 enero 2013]

ANEXOS

ANEXO 1. Valores de "Yn" y "Sn" según número de observaciones,
Distribución de Gumbel

Nºdatos	yn	Sn	Nºdatos	yn	Sn	Nºdatos	yn	Sn
1	0,36651	0,00000	35	0,54034	1,12847	69	0,55453	1,18440
2	0,40434	0,49838	36	0,54105	1,13126	70	0,55477	1,18535
3	0,42859	0,64348	37	0,54174	1,13394	71	0,55500	1,18629
4	0,44580	0,73147	38	0,54239	1,13650	72	0,55523	1,18720
5	0,45879	0,79278	39	0,54302	1,13896	73	0,55546	1,18809
6	0,46903	0,83877	40	0,54362	1,14131	74	0,55567	1,18896
7	0,47735	0,87493	41	0,54420	1,14358	75	0,55589	1,18982
8	0,48428	0,90432	42	0,54475	1,14576	76	0,55610	1,19065
9	0,49015	0,92882	43	0,54529	1,14787	77	0,55630	1,19147
10	0,49521	0,94963	44	0,54580	1,14989	78	0,55650	1,19227
11	0,49961	0,96758	45	0,54630	1,15184	79	0,55669	1,19306
12	0,50350	0,98327	46	0,54678	1,15373	80	0,55689	1,19382
13	0,50695	0,99713	47	0,54724	1,15555	81	0,55707	1,19458
14	0,51004	1,00948	48	0,54769	1,15731	82	0,55726	1,19531
15	0,51284	1,02057	49	0,54812	1,15901	83	0,55744	1,19604
16	0,51537	1,03060	50	0,54854	1,16066	84	0,55761	1,19675
17	0,51768	1,03973	51	0,54895	1,16226	85	0,55779	1,19744
18	0,51980	1,04808	52	0,54934	1,16380	86	0,55796	1,19813
19	0,52175	1,05575	53	0,54972	1,16530	87	0,55812	1,19880
20	0,52355	1,06282	54	0,55009	1,16676	88	0,55828	1,19945
21	0,52522	1,06938	55	0,55044	1,16817	89	0,55844	1,20010
22	0,52678	1,07547	56	0,55079	1,16955	90	0,55860	1,20073
23	0,52823	1,08115	57	0,55113	1,17088	91	0,55876	1,20135
24	0,52959	1,08646	58	0,55146	1,17218	92	0,55891	1,20196
25	0,53086	1,09145	59	0,55177	1,17344	93	0,55905	1,20256
26	0,53206	1,09613	60	0,55208	1,17467	94	0,55920	1,20315
27	0,53319	1,10054	61	0,55238	1,17586	95	0,55934	1,20373
28	0,53426	1,10470	62	0,55268	1,17702	96	0,55948	1,20430
29	0,53527	1,10864	63	0,55296	1,17816	97	0,55962	1,20486
30	0,53622	1,11237	64	0,55324	1,17926	98	0,55976	1,20541
31	0,53713	1,11592	65	0,55351	1,18034	99	0,55989	1,20596
32	0,53799	1,11929	66	0,55378	1,18139	100	0,56002	1,20649
33	0,53881	1,12249	67	0,55403	1,18242	101	0,56015	1,20701
34	0,53959	1,12555	68	0,55429	1,18342			

ANEXO 2. Zona alta del predio



ANEXO 3. Zona media del predio



ANEXO 4. Estación climatológica



ANEXO 5. Canal perimetral

