

	GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS						  
	CARTA DE AUTORIZACIÓN						
CÓDIGO	AP-BIB-FO-06	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	1 de 2

Neiva, 11 de junio de 2015

Señores

CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Ciudad

El (Los) suscrito(s)

Andrés Mauricio Perdomo Rodríguez, con C.C. No. 1075248598,
 _____, con C.C. No. _____,
 _____, con C.C. No. _____,
 _____, con C.C. No. _____,

Autor(es) de la tesis y/o trabajo de grado o _____

Titulado “Diseño de una Red de Drenaje superficial en cultivo de Palma de Aceite (*elaeis guineensis*),
 En la plantación Macaraquilla, Municipio de Aracataca-Magdalena” _____

Presentado y aprobado en el año 2015 como requisito para optar al título de

Ingeniero Agrícola _____;

Autorizo (amos) al CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN de la Universidad Surcolombiana para que con fines académicos, muestre al país y el exterior la producción intelectual de la Universidad Surcolombiana, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en los sitios web que administra la Universidad, en bases de datos, repositorio digital, catálogos y en otros sitios web, redes y sistemas de información nacionales e internacionales “open access” y en las redes de información con las cuales tenga convenio la Institución.

- Permita la consulta, la reproducción y préstamo a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato Cd-Rom o digital desde internet, intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer, dentro de los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia.



GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS

CARTA DE AUTORIZACIÓN



CÓDIGO	AP-BIB-FO-06	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	2 de 2
---------------	---------------------	----------------	----------	-----------------	-------------	---------------	---------------

- Continúo conservando los correspondientes derechos sin modificación o restricción alguna; puesto que de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación del derecho de autor y sus conexos.

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, "Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores", los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

ANDRES MAURICIO PERDOMO RODRIGUEZ

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma: _____

Firma: _____

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma: _____

Firma: _____

	GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS						  
	DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO						
CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	1 de 3

TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO: “Diseño de una Red de Drenaje superficial en cultivo de Palma de Aceite (*elaeis guineensis*), En la plantación Macaraquilla, Municipio de Aracataca-Magdalena”

AUTOR O AUTORES:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Perdomo Rodríguez	Andrés Mauricio

DIRECTOR Y CODIRECTOR TESIS:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Cifuentes Perdomo	Miguel German

ASESOR (ES):

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Torrente Trujillo	Armando
Romero Cuellar	Jonathan

PARA OPTAR AL TÍTULO DE: Ingeniero Agrícola

FACULTAD: Ingeniería

PROGRAMA O POSGRADO: Ingeniería Agrícola

CIUDAD: Neiva **AÑO DE PRESENTACIÓN:** 2015 **NÚMERO DE PÁGINAS:** 91

	GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS						  
	DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO						
CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	2 de 3

TIPO DE ILUSTRACIONES (Marcar con una X):

Diagramas___ Fotografías_X_ Grabaciones en discos___ Ilustraciones en general_X_ Grabados___ Láminas___
Litografías___ Mapas___ Música impresa___ Planos_X_ Retratos___ Sin ilustraciones___ Tablas o Cuadros_X

SOFTWARE requerido y/o especializado para la lectura del documento: Microsoft Word ó Adobe Reader, AutoCAD

MATERIAL ANEXO: Plano Diseño de Drenaje

PREMIO O DISTINCIÓN (En caso de ser LAUREADAS o Meritoria):

PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS:

<u>Español</u>	<u>Inglés</u>
1. Producción Agrícola	Agricultural Production
2. Cambio Climático	Climate Change
3. Recurso Hídrico	Water Resources
4. Drenaje	Drainage

RESUMEN DEL CONTENIDO: (Máximo 250 palabras)

El cultivo de palma aceitera en el departamento del Magdalena constituye una de las actividades agrícolas más representativas de la zona. A pesar del déficit hídrico y el cambio climático, algunas fincas tienen problemas sanitarios y de producción de racimos de fruta fresca asociados a una falta de drenaje, por lo anterior se deben encaminar ideas para el mejoramiento de la productividad y buenas prácticas agrícolas haciendo uso eficiente del agua, mediante la transferencia de nuevas tecnologías para la adecuación de riego y drenaje

El proyecto “Diseño de una Red de Drenaje Superficial en Cultivo de Palma de Aceite *Elaeis Guineensis*, en la Plantación Macaraquilla, Municipio de Aracataca Magdalena”; Realizado bajo la modalidad de pasantía tiene como objetivo principal el diseño de la red de drenaje basado en parámetros de diseño, estudio de propiedades físicas del suelo, levantamiento altiplanimétrico, análisis de precipitación para el dimensionamiento de canales principales, secundarios y terciarios y es presentado como una alternativa para los productores de la zona dirigido a solucionar los problemas asociados a la falta de drenaje en el cultivo de palma aceitera.

	GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS				  		
	DESCRIPCIÓN DE LA TESIS Y/O TRABAJOS DE GRADO						
CÓDIGO	AP-BIB-FO-07	VERSIÓN	1	VIGENCIA	2014	PÁGINA	3 de 3

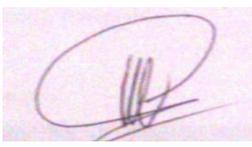
ABSTRACT: (Máximo 250 palabras)

The oil palm in the Department of Magdalena is one of the most representative agricultural activities in the zone. Despite water shortages and climate change, some farms have health and production of fresh fruit bunches associated with a lack of drainage problems, the above are to be routed ideas for improving productivity and good agricultural practices making efficient use water, by transferring new technologies to adapt irrigation and drainage

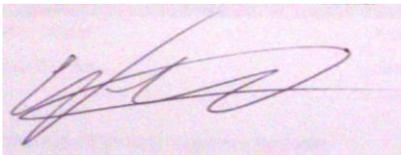
The project "Design Surface Drainage Network in Oil Palm Cultivation *Elaeis guineensis* in Macaraquilla Plantation, Aracataca Magdalena"; was performed as an internship main objective is the design of drainage based on design parameters, study of soil physical properties, topographical uplifting, precipitation analysis for sizing main, secondary and tertiary canals and is presented as an alternative for producers in the area aimed at solving the problems associated with the drainage in the cultivation of oil palm

APROBACION DE LA TESIS

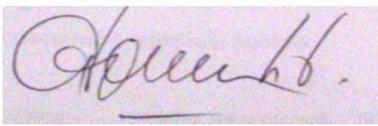
Nombre Presidente Jurado: Esp. Miguel Germán Cifuentes Perdomo

Firma: 

Nombre Jurado: IA, MSc. Jonathan Romero Cuellar

Firma: 

Nombre Jurado: I.A. M.Sc. Ph.D. Armando Torrente Trujillo

Firma: 

**DISEÑO DE UNA RED DE DRENAJE SUPERFICIAL EN CULTIVO DE
PALMA DE ACEITE (*Elaeis guineensis*), EN LA PLANTACION
MACARAQUILLA, MUNICIPIO DE ARACATACA (MAGDALENA)”**



ANDRES MAURICIO PERDOMO RODRIGUEZ



UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

FACULTAD DE INGENIERIA

INGENIERIA AGRICOLA

2015

**DISEÑO DE UNA RED DE DRENAJE SUPERFICIAL EN CULTIVO DE
PALMA DE ACEITE (*Elaeis guineensis*), EN LA PLANTACION
MACARAQUILLA, MUNICIPIO DE ARACATACA (MAGDALENA)”**

ANDRES MAURICIO PERDOMO RODRIGUEZ

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

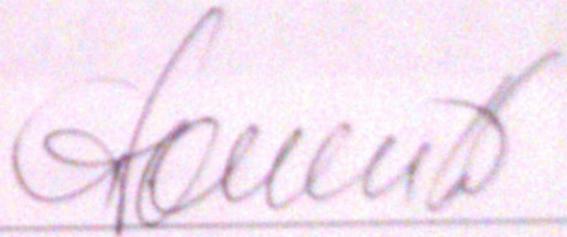
INGENIERIA AGRICOLA

2015

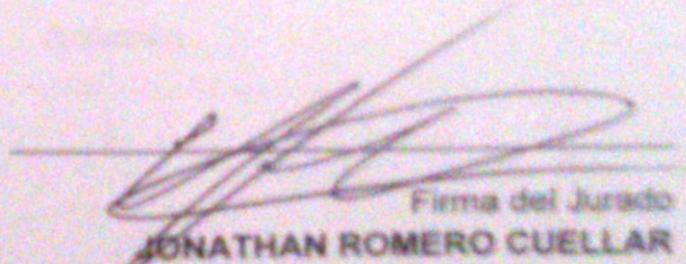
Nota de aceptación



Firma del Director
MIGUEL GERMAN CIFUENTES PERDOMO
I.A. Especialista en ingeniería de irrigación



Firma del Jurado
ARMANDO TORRENTE TRUJILLO
I.A. M.Sc. Ph.D. Doctor Ciencias Agropecuarias



Firma del Jurado
JONATHAN ROMERO CUELLAR
I.A. M.Sc. - hidrología y recursos hídricos

DEDICATORIA

Andrés Mauricio Perdomo Rodríguez. Dedico este trabajo a Dios todopoderoso, por haberme dado la vida y la oportunidad de haberme formado profesionalmente.

A mi padre Luis Perdomo que descansa en paz, y de quien aprendí a ser perseverante y constante para salir adelante, por sus valores inculcados desde la niñez.

A mi madre Alba Luz Rodríguez, por su amor incondicional y motivación, por sus consejos, ha sido el motor de mi vida durante todos estos años, A mis hermanos jonathan y Diana por su apoyo y por formar parte de mi vida, a mis abuelos marcos y mercedes, por mostrar su interés y apoyo en la familia.

A mis compañeros de universidad con los que compartí mi vida académica, gracias por su amistad, a mis profesores por sus conocimientos y formación como ingeniero agrícola, y a todas las personas que me apoyaron para crecer a nivel personal y académico.

AGRADECIMIENTOS

El autor expresan sus agradecimientos a:

Esp. MIGUEL GERMAN CIFUENTES PERDOMO, Ingeniero Agrícola y especialista en Ingeniería de Irrigación, Profesor de Ingeniería Agrícola. Universidad Surcolombiana y Director de la Pasantía, por la orientación y los conocimientos académicos.

Dr. ARMANDO TORRENTE TRUJILLO, Ingeniero Agrícola, M.Sc., Doctor. Profesor de ingeniería agrícola. Universidad Surcolombiana. Por sus conocimientos aportados.

JHONATAN ROMERO, Ingeniero agrícola. M.Sc. hidrosistemas - hidrología y recursos hídricos profesor de ingeniería agrícola. Universidad surcolombiana. Por sus conocimientos y orientación del proyecto.

RODRIGO PACHON BEJARANO, Ingeniero Agrónomo, M.Sc. Profesor de la Universidad Surcolombiana.

Doña GLADYS QUINO, Secretaria del Programa de Ingeniería Agrícola, por su colaboración y apoyo constante en todos los procesos académicos.

A la empresa INVERSIONES NOGUERA & MANRIQUE por su apoyo, y permiso para la realización del proyecto en su finca.

TABLA DE CONTENIDO

1	INTRODUCCION	12
1.1	<i>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</i>	<i>13</i>
1.2	<i>OBJETIVOS.....</i>	<i>14</i>
1.2.1	<i>Objetivo General.....</i>	<i>14</i>
1.2.2	<i>Objetivo específicos.....</i>	<i>14</i>
2	MARCO CONCEPTUAL.....	15
2.1	<i>EL SISTEMA SUELO.....</i>	<i>15</i>
2.2	<i>DRENAJE AGRÍCOLA.....</i>	<i>15</i>
2.3	<i>CONCEPTO DE CANALES.....</i>	<i>15</i>
2.4	<i>CANALES DE DRENAJES.....</i>	<i>15</i>
2.4.1	<i>Drenes primarios</i>	<i>15</i>
2.4.2	<i>Drenes secundarios o de parcela,</i>	<i>15</i>
2.5	<i>ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE DISEÑO DEL CANAL.....</i>	<i>16</i>
2.5.1	<i>Máxima Velocidad del agua.....</i>	<i>16</i>
2.6	<i>ESPACIAMIENTO DE LOS DRENES.</i>	<i>16</i>
3	METODOLOGIA	17
3.1	<i>DISEÑO HIDRÁULICO.....</i>	<i>17</i>
3.1.1	<i>Estudio de campo.....</i>	<i>17</i>
3.1.2	<i>Precipitación de diseño.....</i>	<i>17</i>
3.1.3	<i>Escorrentía</i>	<i>17</i>
3.1.4	<i>Tiempo De Drenaje.....</i>	<i>19</i>
3.1.5	<i>Estudio topográfico</i>	<i>20</i>
3.1.6	<i>Estudio de las propiedades físicas del suelo.....</i>	<i>21</i>
3.1.8	<i>Estudio de la conductividad hidráulica</i>	<i>22</i>
3.1.9	<i>Estudio del Nivel Freático</i>	<i>22</i>
3.1.10	<i>Plano de isobatas.....</i>	<i>22</i>
3.1.11	<i>Plano de isohipsas</i>	<i>23</i>
3.1.12	<i>Pozos de observación</i>	<i>23</i>
3.1.13	<i>Trazado, dimensionamiento y diseño de los canales</i>	<i>23</i>
3.1.14	<i>Localización.....</i>	<i>25</i>
3.1.15	<i>Ubicación geográfica</i>	<i>25</i>
3.1.16	<i>Información climatológica</i>	<i>27</i>
3.1.17	<i>Levantamiento Altiplanimétrico</i>	<i>27</i>

3.1.18	Estudios edafológicos.....	28
4	RESULTADOS.....	30
4.1	LEVANTAMIENTO ALTIPLANIMÉTRICO.....	30
4.2	ESTUDIOS EDAFOLÓGICOS.....	30
4.2.1	Puntos de muestreo para la caracterización física de suelos.....	30
4.2.2	Caracterización física de suelos.....	31
4.2.3	Características del muestreo.....	31
4.2.4	Estratigrafía del suelo.....	32
4.2.5	Mapa de textura del suelo.....	32
4.3	DETERMINACION DE LA DENSIDAD DE LOS SUELOS.....	33
4.3.1	Método de los cilindros:.....	33
4.4	INFILTRACIONES CON DOBLE ANILLO:.....	33
4.5	CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA:.....	37
4.6	RED FREATIMÉTRICA.....	37
4.6.1	Pozos de observación:.....	38
4.6.2	Estudio de isobatas.....	39
4.6.3	Estudio isohipsas.....	39
4.7	PARÁMETROS DE DISEÑO DE LA RED DE DRENAJE.....	39
4.7.1	Análisis temporal de la precipitación.....	39
4.8.1	Precipitación De Diseño.....	40
4.8.2	Diseños hidráulicos de los canales.....	41
4.8.3	Canales de drenaje existentes.....	44
4.9	DISEÑO DEL SISTEMA DE DRENAJE.....	45
4.9.1	Calculo del espaciamiento drenes.....	45
4.9.2	Separación entre drenes (l).....	47
4.9.3	Criterios de diseño para el establecimiento de los canales de drenajes en cultivo de palma aceitera.....	49
4.9.4	Densidad de siembra de la palma aceitera.....	50
5	PRESUPUESTO DEL PROYECTO.....	55
6	RECOMENDACIONES.....	60
7	BIBLIOGRAFIA.....	61
8	ANEXOS.....	63
9	PLANOS.....	77

LISTADO DE TABLAS.

<i>Tabla 1 . Velocidades máximas permitidas en canales</i>	<i>16</i>
<i>Tabla 2. Tabla para determinar el valor de CN para cálculo de escorrentía.</i>	<i>18</i>
<i>Tabla 3. Tabla para determinar el valor de CN para cálculo de escorrentía.</i>	<i>19</i>
<i>Tabla 4 Tiempo de aireación para diferentes texturas.....</i>	<i>20</i>
<i>Tabla 5 Clasificación de la velocidad de infiltración.....</i>	<i>21</i>
<i>Tabla 6 Convenciones conductividad hidráulica.....</i>	<i>22</i>
<i>Tabla 7 convenciones mapa isobata.....</i>	<i>22</i>
<i>Tabla 8 Coeficiente de Manning.....</i>	<i>24</i>
<i>Tabla 9 Ubicación banco de medida</i>	<i>30</i>
<i>Tabla 10 Área de los lotes.</i>	<i>30</i>
<i>Tabla 11 Ubicación puntos de muestreo</i>	<i>31</i>
<i>Tabla 12. Densidad de los suelos-Macaraquilla</i>	<i>33</i>
<i>Tabla 13 prueba de infiltración suelo arenoso.....</i>	<i>34</i>
<i>Tabla 14 prueba de infiltración suelo franco arcilloso.....</i>	<i>35</i>
<i>Tabla 15 prueba de infiltración suelo arcilloso.....</i>	<i>36</i>
<i>Tabla 16 conductividad hidráulica del suelo</i>	<i>37</i>
<i>Tabla 17 lectura nivel freático para el día 15 de octubre</i>	<i>38</i>
<i>Tabla 18 profundidad y altura freática para criterio de lluvias.....</i>	<i>46</i>
<i>Tabla 19. Dimensionamiento de los canales primario y secundario.</i>	<i>51</i>
<i>Tabla 20 presupuesto</i>	<i>55</i>

LISTADO DE ILUSTRACIONES.

<i>Ilustración 1 anillos de infiltración.....</i>	<i>21</i>
<i>Ilustración 2. Municipio de Aracataca departamento del magdalena.....</i>	<i>25</i>
<i>Ilustración 3 . Zona de estudio imagen satelital.....</i>	<i>26</i>
<i>Ilustración 4. Determinacion de la textura del suelo “método del tacto”.....</i>	<i>29</i>
<i>Ilustración 5 Estratigrafía del suelo.</i>	<i>32</i>
<i>Ilustración 6 velocidad de infiltración textura arenosa</i>	<i>34</i>
<i>Ilustración 7 velocidad de infiltración textura franco arcilloso</i>	<i>35</i>
<i>Ilustración 8 velocidad de infiltración textura arcillosa</i>	<i>36</i>
<i>Ilustración 9 pozo de observación.....</i>	<i>37</i>
<i>Ilustración 10. Medidas nivel freático día 15 de octubre.</i>	<i>38</i>
<i>Ilustración 11 dimensionamiento canal principal.</i>	<i>42</i>
<i>Ilustración 12 diseño canal secundario.</i>	<i>43</i>
<i>Ilustración 13 diseño canal terciario</i>	<i>44</i>
<i>Ilustración 14 características drenaje los tendales</i>	<i>45</i>
<i>Ilustración 16 diagrama de recorrido para cosecha.....</i>	<i>50</i>

LISTADO DE ANEXOS

<i>Anexo 1. Cultivo de palma aceitera en textura arenosa</i>	<i>72</i>
<i>Anexo 2 suelo de textura arenosa.....</i>	<i>72</i>
<i>Anexo 3 suelo de textura arcillosa</i>	<i>73</i>
<i>Anexo 4 Determinación de la densidad del suelo.....</i>	<i>73</i>
<i>Anexo 5 Medición del nivel freático en campo</i>	<i>74</i>
<i>Anexo 6. Determinación de la infiltración por de los cilindros.....</i>	<i>74</i>
<i>Anexo 7 vista general lote 20 Macaraquilla.....</i>	<i>75</i>
<i>Anexo 8 Canal de drenaje terciario lote 15</i>	<i>75</i>
<i>Anexo 9 Recolección de fruta en la plantación.....</i>	<i>76</i>
<i>Anexo 10 .Drenaje los tendales</i>	<i>76</i>

RESUMEN

El cultivo de palma aceitera en el departamento del Magdalena constituye una de las actividades agrícolas más representativas de la zona. A pesar del déficit hídrico y el cambio climático, algunas fincas tienen problemas sanitarios y de producción de racimos de fruta fresca asociados a una falta de drenaje, por lo anterior se deben encaminar ideas para el mejoramiento de la productividad y buenas prácticas agrícolas haciendo uso eficiente del agua, mediante la transferencia de nuevas tecnologías para la adecuación de riego y drenaje

El proyecto "Diseño de una Red de Drenaje Superficial en Cultivo de Palma de Aceite *Elaeis Guineensis*, en la Plantación Macaraquilla, Municipio de Aracataca Magdalena"; Realizado bajo la modalidad de pasantía tiene como objetivo principal el diseño de la red de drenaje basado en parámetros de diseño, estudio de propiedades físicas del suelo, levantamiento altiplanimetrico, análisis de precipitación para el dimensionamiento de canales principales, secundarios y terciarios y es presentado como una alternativa para los productores de la zona dirigido a solucionar los problemas asociados a la falta de drenaje en el cultivo de palma aceitera.

Abstract

The oil palm in the Department of Magdalena is one of the most representative agricultural activities in the zone. Despite water shortages and climate change, some farms have health and production of fresh fruit bunches associated with a lack of drainage problems, the above are to be routed ideas for improving productivity and good agricultural practices making efficient use water, by transferring new technologies to adapt irrigation and drainage

The project "Design Surface Drainage Network in Oil Palm Cultivation *Elaeis guineensis* in Macaraquilla Plantation, Aracataca Magdalena"; was performed as an internship main objective is the design of drainage based on design parameters, study of soil physical properties, topographical uplifting, precipitation analysis for sizing main, secondary and tertiary canals and is presented as an

alternative for producers in the area aimed at solving the problems associated with the drainage in the cultivation of oil palm

1 INTRODUCCION

El drenaje constituye una práctica complementaria al riego, por lo tanto es necesario planificar y diseñar las estructuras, requeridas para eliminar los excesos de agua de los terrenos, con la rapidez necesaria para que no produzca problemas al cultivo y suelo.

El drenaje es uno de los factores que limita la producción de la palma de aceite. Algunos suelos drenan fácilmente, mientras que otros presentan diversos grados de dificultad. El exceso de agua en el suelo disminuye el intercambio de aire entre el suelo y la atmosfera, afecta la variabilidad del crecimiento vegetativo y clorosis en las palmas, establecimiento de coberturas benéficas. Por lo tanto un mal drenaje constituye una causa principal que afecta, tanto el crecimiento como la producción de la palma aceitera (Valverde, 1998).

Por lo general un adecuado diseño de drenaje superficial permite una mayor absorción de nutrientes, mejora la capacidad de soporte mecánico del suelo, facilita las prácticas culturales y disminuye las pérdidas de fertilizantes por escorrentía, además de mantener el nivel freático a una profundidad de 0.6-1.0 m del suelo, lo cual permite una mejor aireación, mayor distribución y crecimiento del sistema radicular (soto 1994).

El cultivo de palma aceitera en la zona norte de Colombia ha aumentado sustancialmente, debido a la demanda para uso doméstico y biocombustibles, sin embargo su siembra ha sido limitada por falta de área disponible y escasez de recursos hídrico, por ende se están diseñando estrategias encaminadas a el mejoramiento de productividad, mediante la implementación de nuevas tecnologías y buenas prácticas agrícolas, que permitan la ampliación de nuevas áreas cultivables, implementando adecuación de tierras y construcción de sistemas de canales de riego y drenaje, garantizando el aumento en la productividad de dicho cultivo.

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La plantación Macaraquilla se encuentra ubicada en la zona rural del municipio de Aracataca - Magdalena a 3 km del casco urbano. (10°34'15.85"N - 74°11'06.49"O), se hará un estudio preliminar y diseño de canales de drenaje, en los lotes 15, 20,22 y 23.

Dichos lotes son los que presentan menor producción, por esta razón, se encaminan esfuerzos en aumentar la productividad. Una de las variables que mayor impacto genera en dicho propósito, es la influencia del mal drenaje, edad de las palmas, y la fertilización.

El drenaje ha sido uno de los principales factores que ha limitado la producción de fruto en la plantación Macaraquilla, debido a las precipitaciones del segundo periodo del año, por lo tanto se hará un diseño de canales de drenaje para evacuar con rapidez los excesos de agua que se acumulan en la superficie e interior del suelo de manera natural en los cuatro lotes, que corresponden a un área de 54.60 has con el fin de solucionar dicho problema.

De esta manera el proyecto se convierte en una alternativa económicamente viable debido al incremento en la producción y mejoras en las condiciones del suelo y manejo agronómico del cultivo.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo General

- Realizar el diseño de una red de canales de drenaje superficial en palma aceitera, para la plantación Macaraquilla en el municipio de Aracataca magdalena.

1.2.2 Objetivo específicos

- Realizar levantamiento topográfico del área de estudio para el trazado de redes de drenaje.
- Establecer el distanciamiento y/o dimensionamientos adecuados para drenes abiertos en el cultivo de palma aceitera en la finca Macaraquilla.

2 MARCO CONCEPTUAL

2.1 EL SISTEMA SUELO.

Según Soto, M. (1994), el sistema suelo consiste de partículas sólidas de diferentes tamaños, las cuales se han clasificado de acuerdo a sus diámetros equivalentes en: arena, limo y arcilla. Estas fracciones tienen diámetros equivalentes en los rangos de 2.0 – 0.02, 0.02 – 0.002 y menores que 0.002 mm respectivamente. La proporción de estas tres fracciones, determinan la textura del suelo.

2.2 DRENAJE AGRÍCOLA.

Colina, S. De la. (1997) expresa que, el drenaje de tierras agrícolas tiene como objetivo eliminar los sobrantes de agua del suelo, con el fin de mantener las condiciones necesarias de aireación y actividad biológica del mismo, para que las plantas puedan desarrollar los procesos de crecimiento de su sistema radical y, por ende, de su parte aérea.

2.3 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].

2.4 CANALES DE DRENAJES.

Los drenajes primarios son zanjas o canales que evacuan en forma pronta las aguas sobrantes del sistema; éstos pueden ser naturales como ríos, quebradas, o depresiones; o artificiales, construidos de acuerdo a las necesidades. Debido a su tamaño es necesario el uso de maquinaria a fin de disminuir los costos durante su establecimiento. El cálculo está dado por el caudal de agua a evacuar y por lo general está incluido dentro de los siguientes ámbitos (Soto 2008).

2.4.1 Drenes primarios

Cuya función es la de recoger el agua de los drenes de parcela y transportarla al dren principal (colector).

2.4.2 Drenes secundarios o de parcela,

Son aquellos cuya misión es de controlar la profundidad del agua freática

2.5 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE DISEÑO DEL CANAL

Para el diseño de un canal sea de riego o drenaje se debe tener en cuenta el terreno en el cual se va a construir el canal, se debe conocer 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.

2.5.1 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	1.20-1.5
Conglomerado, cascajo cementado	1.80-2.40
Roca dura o mampostería	3.0-4.5
concreto	4.5- 6.0

Fuente: Jaramillo B. Javier. 2003 propiedades físicas de los suelos. Pág. 74

2.6 ESPACIAMIENTO DE LOS DRENES.

Belalcázar (1991) manifiesta: el distanciamiento está condicionado por los factores físicos, climáticos y de fluctuación del nivel freático y tienen como función bajar la tabla de agua a niveles óptimos. El sistema de drenaje que baja

la tabla de agua es el terciario y debe de construirse contra las líneas de flujo y vertical al sistema secundario, que sirve como “colector”

3 METODOLOGIA

3.1 DISEÑO HIDRÁULICO.

En el diseño de un sistema de drenaje deben considerarse factores edafológicos tales como: la topografía, textura y estructura de suelos, porosidad total, capacidad de retención de agua (microporosidad), y en especial la permeabilidad de los diferentes estratos que permitirá determinar la presencia de capas impermeables o poco permeables que influirán en forma decidida en la altura del nivel freático dentro del perfil. Para un diseño apropiado es necesario hacer una serie de estudios, que permitan tomar las decisiones adecuadas: (Soto, 2008)

Como información general, se requieren planos de la finca que aporten datos relacionados con el área ocupada, su parcelación, distribución de la red de drenajes existentes, topografía; estudios anteriores relacionados al suelo de la zona.

3.1.1 Estudio de campo

Los estudios de campo incluyen el estudio topográfico: plano con curvas de nivel y área de la finca; propiedades físicas del suelo, nivel freático, infiltración, conductividad hidráulica (Belalcázar, 1991).

3.1.2 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]

3.1.3 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 ecuación 1:

$$E = \frac{(P - 0.2 * S)^2}{(P + 0.8 * S)} \text{ (ecuacion 1)}$$

Dónde:

E = Escorrentía de diseño (cm)

P = Precipitación de diseño (cm)

S = Infiltración Potencial (cm)

La infiltración potencial se calcula mediante la ecuación 2:

$$S = \frac{2540}{CN} - 25.4 \text{ (ecuacion 2)}$$

Dónde: CN = Número de curva (adimensional)

El valor de CN se debe extraer de la Tabla 2 que contempla el tipo de uso y laboreo que va a tener el suelo, a su vez está ligada a la tabla 3 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.

Tabla 2. 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
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

Fuente: Razuri, Luis. 2004 Modulo de drenaje superficial. Pág 43

La curva número 88, hace relación a cultivos con buena cobertura superficial y la baja pendiente del terreno.

Tabla 3. Tabla para determinar el valor de CN para cálculo de escorrentía.

GRUPO	DESCRIPCIÓN
A	Bajo potencial de escorrentía. Suelos que tienen altas tasas de infiltración aun cuando están 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.
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.
D	Alto potencial de escorrentía. Suelos que tienen tasas de infiltraciones lentas principalmente suelos arcillosos con un alto potencial de expansión; suelos con nivel freático D alto; suelos con capa arcillosa en la superficie o cercana a ella; y suelos poco profundos sobre materiales casi impermeables.

Fuente: Razuri, Luis. 2004 Modulo de drenaje superficial. Pág 45

Con base en la descripción de la tabla 3, Se realizaron los cálculos de escorrentía asumiendo un grupo hidrológico D.

3.1.4 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 la ecuación 3:

$$Td = (Tt * Dp^{0.46}) - t10 \text{ (ecuacion 3)}$$

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 4 Tiempo de aireación para diferentes texturas

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
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

Fuente: Razuri, Luis. 2004 Modulo de drenaje superficial. Pág 46

El valor seleccionado corresponde a suelos de textura franca.

3.1.5 Estudio topográfico

Valverde (1998), menciona que es uno de los elementos fundamentales que se utilizan para diseñar la red de drenajes y obras complementarias; además permite conocer la zona para diseñar la red y ubicar sitios de importancia que faciliten el drenaje natural. Por medio de este estudio se deben fijar los cauces

existentes, alturas, depresiones, cambios de pendiente que influyen en el flujo y la velocidad del agua.

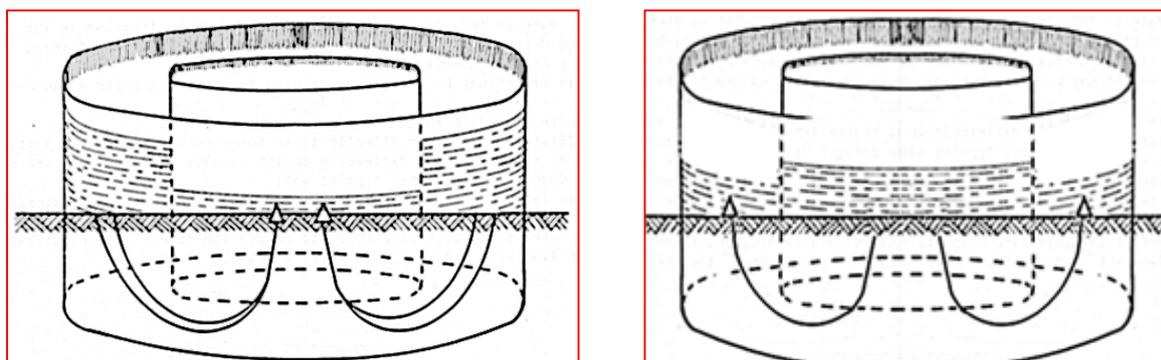
3.1.6 Estudio de las propiedades físicas del suelo

La textura, densidad aparente, porosidad son factores fundamentales en el suelo y diseño de los drenajes. Para el análisis del perfil del suelo: en los estudios de drenaje es básico construir calicatas que permitan analizar las variaciones de nivel freático y los cambios de textura en la profundidad del perfil, sobre todo localizar estratos arcillosos de baja permeabilidad y la profundidad de la barrera impermeable (Belalcázar, 1991).

3.1.7 Pruebas de infiltración, método de los cilindros

Este es un método de campo utilizado para determinar la velocidad básica de infiltración vertical del suelo. Para su determinación los dos anillos (exterior e interior) se introducen en el suelo a una profundidad de 10 a 15 cm, hasta lograr que estén perfectamente enterrados y nivelados, se procede a llenarlos con agua hasta el mismo nivel, el método consiste en tomar lecturas del descenso del nivel de agua en el anillo interior (ilustración 1).

Ilustración 1 anillos de infiltración



Fuente. Tomado de López. Drenaje agrícola, teoría y bases de cálculo

Las pruebas de infiltración varían en base a la textura de los suelos, la tabla 5 muestra la clasificación de la velocidad de infiltración, para diferentes clases texturales.

Tabla 5 Clasificación de la velocidad de infiltración

VELOCIDAD DE INFILTRACION	
Muy arenoso	20-25 mm/h
Arenoso	15-20 mm/h
Limo - arenoso	10-15 mm/h
Limo - arcilloso	8-10 mm/h
arcilloso	≤ 8 mm/h

Fuente. Tomado de López. Drenaje agrícola, teoría y bases de cálculo

3.1.8 Estudio de la conductividad hidráulica

Según Núñez (1992), citado por Soto (2008), la conductividad hidráulica es afectada por: la textura del suelo, tipos de poros; presencia de grietas; estructura del suelo; contenido de materia orgánica; presencia de capas de baja permeabilidad. La conductividad hidráulica puede determinarse en el campo mediante el método de agujero de barreno. Este método es utilizado en suelos saturados, especialmente aquellos donde el nivel freático se halla a poca profundidad.

Tabla 6 Convenciones conductividad hidráulica

No Orden	Color	K (m/día)	Calificación
1	Rojo	0.03 - 0.12	Lenta
2	Café	0.12 - 0.5	Mod. lenta
3	Ocre	0.5 - 1.5	Moderada
4	Amarillo	1.5 - 3.0	Mod. rápida
5	Verde claro	3.0 - 4.5	Rápida
6	Verde oscuro	> 4.5	Muy rápida

Fuente: Jaramillo B. Javier. 2003 propiedades físicas de los suelos. Pág. 41

3.1.9 Estudio del Nivel Freático

El estudio del nivel freático es de gran relevancia para conocer las causas y dimensiones de los problemas de drenaje, Se determina mediante la lectura de una serie de pozos de observación para conocer el movimiento del agua. Este estudio es uno de los que aporta más elementos de juicio a la solución de un problema específico de drenaje. La distribución de estos pozos debe ser de forma en que se pueda analizar el sentido del flujo del nivel freático (Belalcázar, 1991).

3.1.10 Plano de isobatas

Los mapas de isobatas o curvas de igual profundidad del nivel freático son de gran importancia porque muestran claramente las áreas que requiere de drenaje. Las líneas continuas corresponden a isobatas para diferentes lecturas. La tabla 7 muestra los rangos de profundidad del nivel freático que se separan convencionalmente por colores.

Tabla 7 convenciones mapa isobata

NO. ORDEN	COLOR	PROF. NF (M)
1	Rojo	0 - 0.5
2	Naranja	0.5 - 1.0
3	Amarillo	1.0 - 1.5
4	Verde claro	1.5 - 2.0
5	Verde oscuro	> 2.0

3.1.11 Plano de isohipsas

Se representan con líneas punteadas las curvas de isohipsas para las fechas de lectura.

Estas son las líneas de igual cota del nivel freático y su importancia radica en que permiten conocer la dirección del flujo, el gradiente hidráulico, así como la procedencia de la recarga.

- Rango: cada 0.5 m
- Convención: Línea punteada.
- Dirección de flujo subsuperficial: Flecha.

3.1.12 Pozos de observación

Los pozos de observación registran las fluctuaciones del nivel freático, la medición periódica sirve para definir la necesidad de drenaje y establecer un diseño adecuado según las características del suelo. La cantidad de pozos está en función del tipo de suelo, se recomienda un pozo cada 2 -5 hectáreas. Los pozos se ubican en el punto medio entre dos canales terciarios, así se registra la elevación crítica del nivel freático.

3.1.13 Trazado, dimensionamiento y diseño de los canales

Se decidió realizar un sistema de drenaje abierto. Esto ayuda a que el coste del proyecto sea significativamente menor. Este sistema es el más utilizado en el sector palmero, el cual consistente en drenajes colectores abiertos y drenes laterales abiertos.

Para realizar el dimensionamiento y diseño de los canales es necesario saber el caudal que se va a evacuar, para esto se toma como referencia la precipitación de diseño, utilizando la distribución de gumbel.

Con este dato y con los métodos del cálculo de caudal de descarga en zonas planas, se puede calcular el caudal a evacuar.

El modelo matemático que describe la capacidad del canal se describe en la ecuación 4:

$$Q = \frac{1}{n} * R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}} \text{ (ecuacion 4)}$$

Dónde:

n= Coeficiente de Manning

R= Radio hidráulico
S= Pendiente del Canal

A su vez el Radio hidráulico se determina la ecuación 5:

Dónde:

$$R = \frac{bh + zh^2}{b + 2h\sqrt{z^2 + 1}} \text{ (ecuacion 5)}$$

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

La tabla 8 presenta los diferentes coeficientes de rugosidad de la sección de los canales de drenajes.

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	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

Fuente: Razuri, Luis. 2004 Modulo de drenaje superficial. Pág 48

3.1.14 Localización

La realización del estudio se llevó a cabo en la finca MACARAQUILLA de propiedad del señor Álvaro Noguera ubicada en el municipio de Aracataca Magdalena. La finca cuenta con un área total de 352.2 hectáreas sembradas en palma, de la cual se tomaron cuatro lotes que suman 54.60 has

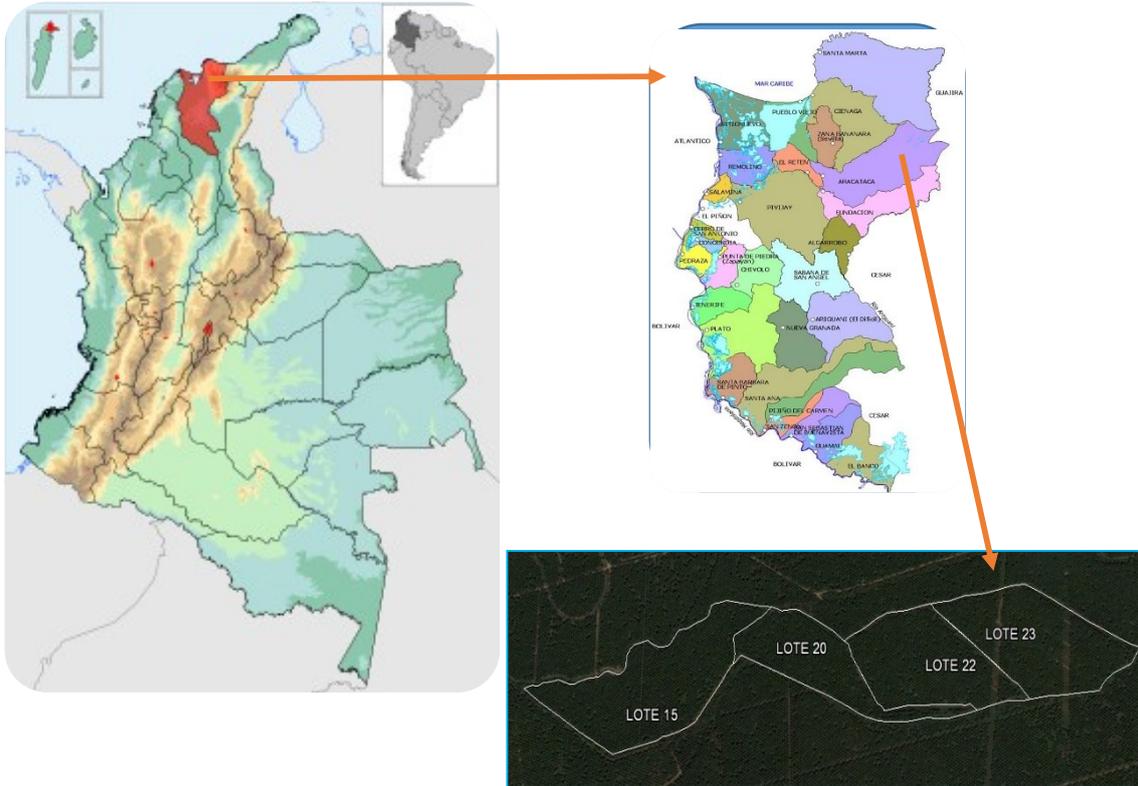
3.1.15 Ubicación geográfica

El presente proyecto de estudio estará ubicado entre las coordenadas 74°11'25.93"- 74°9'54.19" de longitud oeste y 10°33'51.91" – 10°34'0.35" de latitud norte, la ilustración 2 muestra la ubicación del municipio de Aracataca Magdalena.

Altitud = 40 m Datum WGS84

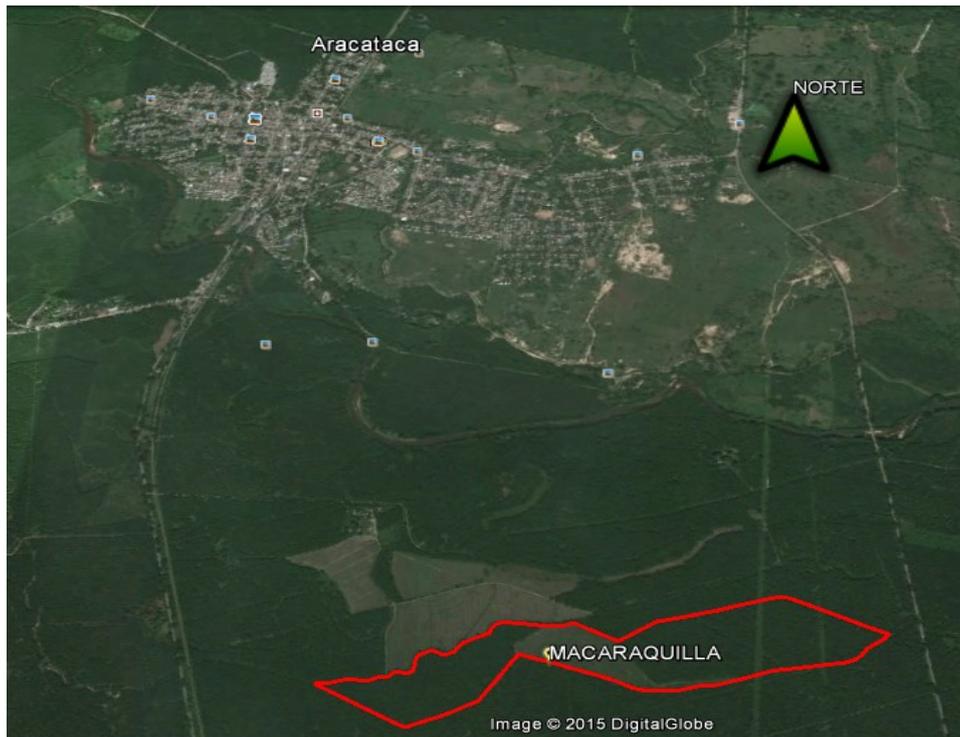
Ilustración 2. Municipio de Aracataca departamento del magdalena.





La ilustración 3 muestra la ubicación en imagen satelital de los cuatro lotes objeto de estudio

Ilustración 3 . Zona de estudio imagen satelital



Fuente: Autor

3.1.16 Información climatológica

De acuerdo al cronograma de diseño es necesario contar con datos climatológicos, que permiten establecer la frecuencia, duración y severidad de las precipitaciones y sus efectos que provocan en última instancia los problemas de drenaje.

Según la ubicación de la finca Macaraquilla, para obtener datos de precipitación por lo menos de 10 a 15 años hacia atrás, las estaciones climáticas existentes en la actualidad no superan más de los tres años, sin embargo la plantación cuenta con un registro de precipitaciones de 11 años, tomados del pluviómetro de la finca.

El área de estudio presenta una altura promedio de 40 msnm, precipitaciones entre 1100- 1500 mm al año, y temperatura promedio de 28°C.

3.1.17 Levantamiento Altiplanimetrico

El levantamiento altiplanimetrico se realizó con nivel marca Topcón X 24049 y GPS geodésico marca garmin 62 sc, realizando una malla cuadriculada de 27x27 m. es decir cada tres líneas por cada tres palmas, ya que la palma establecida presenta una alineación en tres bolillos de 9x9 metros Adicionalmente a esta malla, se tomó el perímetro, linderos, estructuras existentes como pontones, pases tubos, zona de redes electricas, canales de riego y drenaje existente, vías de acceso a lotes, referenciarían de pozos freaticos existentes.

Una vez obtenida la información en campo se realizó el plano detallado de la zona de estudio con ayuda del software (Auto CAD), generando las curvas de nivel cada 0.2 metros

3.1.18 Estudios edafológicos.

Para el conocimiento de las características físicas de los suelos del área de estudio, se efectuaron los análisis físicos de muestras simples de los distintos estratos o capas de suelo que se localizaron en cada una de las perforaciones hasta una profundidad de 120 cm, o hasta encontrar un estrato limitante de la infiltración

Finalmente se hará un mapa textural de los lotes objetivo de estudio, al igual que la descripción estratigráfica del suelo

Variables evaluadas.

Para la realización de la presente investigación se consideró como variables en estudio:

- ✓ Determinación de densidad y textura de suelo

Para la determinación de la textura en el campo se utiliza el método de textura a mano. La muestra se humedece y amasa entre los dedos hasta formar una pasta homogénea. Posteriormente se toma entre el dedo índice y pulgar, para dicho estudio se utilizó un esquema publicado por cenipalma, para la determinación de textura del suelo por medio del tacto.

La ilustración 4 muestra la metodología paso a paso, para determinar la textura de suelos en húmedo, por lo tanto a cada muestra de suelo extraída se le aplicó dicha metodología

4 RESULTADOS

4.1 LEVANTAMIENTO ALTIPLANIMÉTRICO

Con base a el levantamiento altiplanimetrico de los cuatro lotes, se tomaron 1553 puntos que corresponden a una malla cuadriculada de 27 x 27 metros, cada punto cuenta con una cota y coordenada.

Por otro lado, se dejan un banco de medida (mojón) en el lote 22, que servirán para futuros replanteos topográficos de la plantación, la tabla 9 muestra la ubicación de las coordenadas del banco de medida

Tabla 9 Ubicación banco de medida

MB	NORTE	ESTE	COTA
1	989739 m.N	1660011m.E	48.0 msnm.

Datum WGS84

Origen: Bogotá

Fuente: Autor

Con los resultados del levantamiento topográfico, se obtuvo un área total de 54.60 has, además de obtener el área correspondiente de cada lote, el cual está consignado en la tabla 10.

Tabla 10 Área de los lotes.

LOTE	AREA (HAS)
15	16.8
20	10
22	13.1
23	14.7

Fuente: Autor

En el comportamiento altimétrico del terreno, se observa la diferencia de alturas a lo largo y ancho del lote, el cual posee pendientes de 0.2 a 0.5 % (*ver plano N°1 anexos*), presentando una pendiente relativamente baja, El sentido de la pendiente va en la dirección este-oeste, iniciando en la cota 50.7 y llegando a la cota 43.

4.2 ESTUDIOS EDAFOLÓGICOS.

4.2.1 Puntos de muestreo para la caracterización física de suelos

Se llevó a cabo la identificación de puntos de muestreo para la caracterización de suelos.

Basado en la metodología propuesta por CENIPALMA, la identificación se realizó a partir del trazado de una grilla en el plano de área en AutoCAD, con una dimensión de 150 x 150 metros, posteriormente se determinaron las coordenadas de cada punto y con la utilización de un GPS, se ubicaron dichos puntos en campo.

4.2.2 Caracterización física de suelos

Se realizó un recorrido, basado en la malla georreferenciadas, donde se tomaron muestras de suelos, sin embargo en el recorrido se muestrearon zonas en las cuales se presentan condiciones de paisajes, pendiente, cambios de vegetación, que pueden definir áreas con características distintas, la tabla 11 muestra las coordenadas de cada muestreo de suelo.

Tabla 11 Ubicación puntos de muestreo

Lote	Punto	X	Y	Lote	Punto	X	Y
15	1	988482	1659818	22	14	989550	1659977
15	2	988364	1659923	22	15	989382	1660155
15	3	988507	1660000	22	16	989512	1660220
15	4	988620	1659877	22	17	989679	1660007
15	5	988714	1659948	22	18	989843	1660051
15	6	988646	1660051	22	19	989598	1660255
15	7	988751	1660130	23	20	989742	1660265
15	8	988812	1660017	23	21	990004	1660054
15	9	988852	1660167	23	22	990079	1660094
20	10	988966	1660083	23	23	989886	1660297
20	11	989039	1660190	23	24	990079	1660249
20	12	989247	1660123	23	25	990234	1660134
20	13	989228	1660010				

Fuente: Autor

4.2.3 Características del muestreo

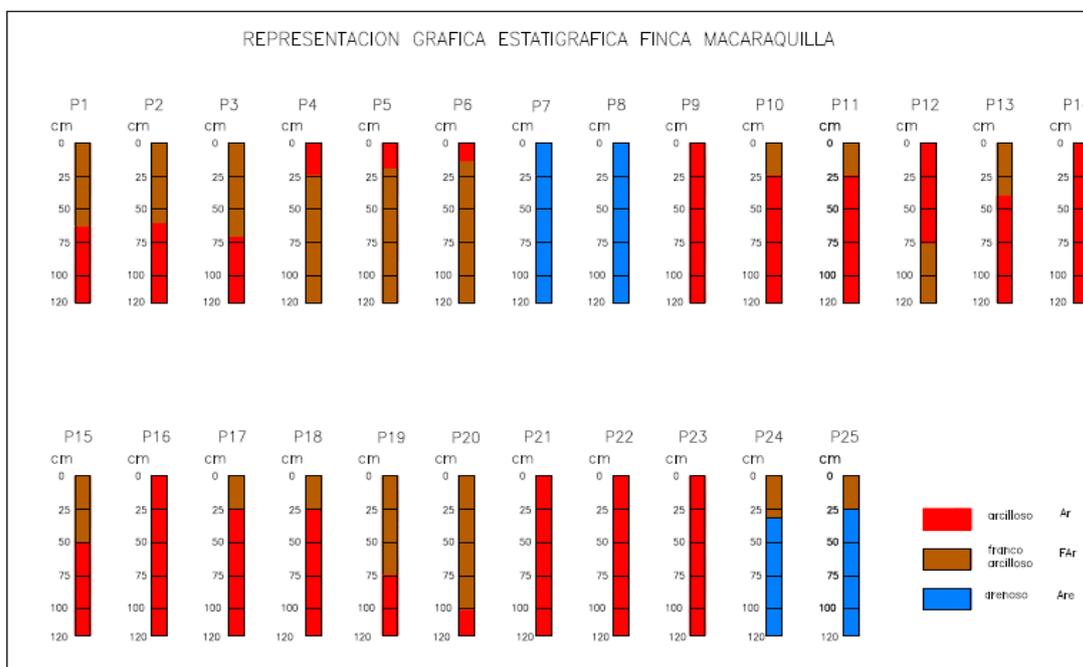
Se utilizó un barreno holandés para la extracción de las muestras de suelo a diversas profundidades. (Ver plano N°2 anexos) en que se muestran cada uno de los punto tomados en campo, determinadas mediante el tacto.

Cada muestra se extrae en una profundidad que depende del objetivo de estudio. Para el caso de la palma .generalmente se considera la profundidad en la que hay mayor desarrollo de las raíces, sin embargo, se profundizo hasta 120 cm.

4.2.4 Estratigrafía del suelo

A cada una de los puntos muestreados, se le realizó una caracterización estratigráfica para poder observar y reconocer los estratos o capas que se encuentran en el suelo, la ilustración 5 muestra la representación gráfica del suelo, donde se puede observar un suelo con predominancia de textura arcillosa, y unos puntos muy marcados, con textura arenosa

Ilustración 5 Estratigrafía del suelo.



Fuente: Autor

Se realizó la descripción de cada uno de los puntos muestreados en los cuatro lotes, con la profundidad de cada horizonte, y la textura del mismo.

De igual forma se realizó tres calicatas, para describir los perfiles y caracterizar cada uno de los horizontes (ver anexo 5. descripción de perfiles y horizontes del suelo).

4.2.5 Mapa de textura del suelo.

Una vez finalizada y referenciada cada una de las muestras, se realizó un mapa de texturas de suelos a una profundidad de 60 cm, que es el perfil donde hay mayor desarrollo del sistema radicular de la palma, y por lo tanto, el límite del nivel freático que se quiere abatir (ver Plano N°3 anexos), donde se puede ver un suelo que predominan el material arcilloso.

4.3 DETERMINACION DE LA DENSIDAD DE LOS SUELOS.

La densidad es la relación entre la masa y el volumen del suelo, y puede referirse a la densidad de partículas, para este caso se evalúa la densidad total del suelo (densidad aparente). La densidad aparente del suelo se puede determinar por el método del cilindro de volumen constante.

4.3.1 Método de los cilindros:

La utilización de cilindros de acero permite extraer muestras de suelo sin disturbar y de volumen conocido, por lo que la densidad aparente puede ser calculada en base a la relación peso seco de la muestra sobre volumen del cilindro, la tabla 12 muestra la densidad para las diversas texturas de suelo.

Se tomó la muestra de suelo con los cilindros extractores, se colocó en estufa a 105-110 °C hasta peso constante (aproximadamente 24 hs). Luego se registran el peso del suelo + cilindro (valor A) y la tara del cilindro (valor B). El volumen del cilindro (V), se calcula en base al radio (r) y la altura (h), como se muestra en la ecuación 5:

Volumen del cilindro.

$$V (cm^3) = \pi . r^2 . h \text{ (ecuacion 6)}$$

$$V (cm^3) = \pi . 2.75^2 . 5 = 118.8 \text{ cm}^3.$$

Tabla 12. Densidad de los suelos-Macaraquilla

Peso suelo (gr)	Volumen cilindro	Densidad aparente (gr/cm ³)	textura
162.75	118.8	1.37	Arcillosa
177.72	118.8	1.49	Franco arcillosa
184.14	118.8	1.55	Arenosa

Fuente: Autor

4.4 INFILTRACIONES CON DOBLE ANILLO:

Este es un método de campo utilizado para determinar la velocidad básica de infiltración vertical del suelo. Para su determinación los dos anillos (exterior e interior) se introducen en el suelo a una profundidad de 10 a 15 cm, hasta lograr que estén perfectamente enterrados y nivelados, se procede a llenarlos con agua hasta el mismo nivel, el método consiste en tomar lecturas del descenso del nivel de agua en el anillo interior.

Se hizo el estudio de infiltraciones básicas para las diversas texturas de los cuatro lotes con el fin de observar el estado actual del suelo y determinar un parámetro para el cálculo del espaciamiento máximo permisible entre drenajes. Las tablas 13,14 y 15 tienen consignado el tiempo y la altura de la lamina de agua, para cada una de las pruebas realizadas en campo.

Prueba N 1.

Finca: Macaraquilla.

Textura: arenoso.

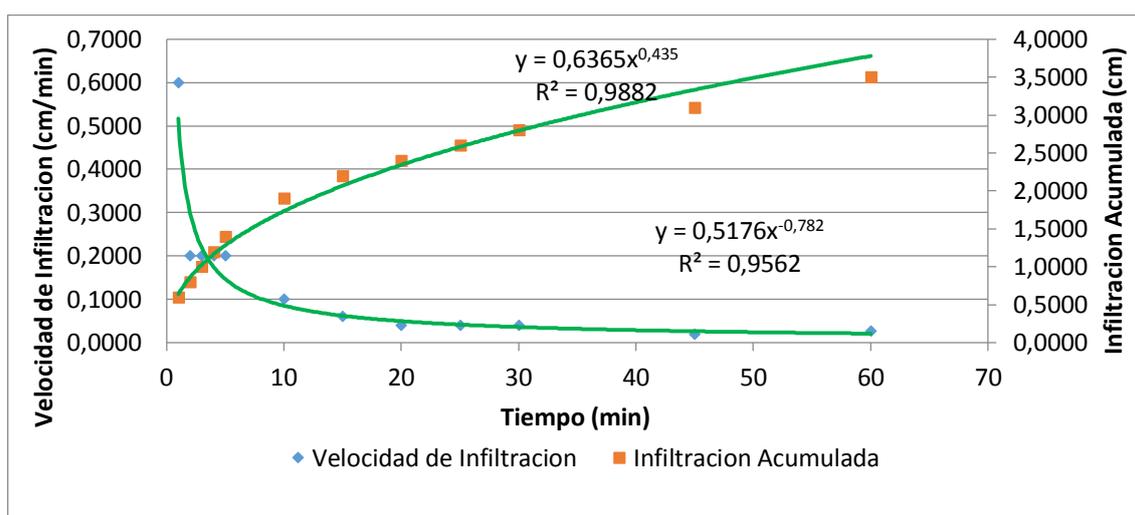
Fecha: 12-08-2014.

Tabla 13 prueba de infiltración suelo arenoso

Lectura No.	Tiempo (min)	Lectura (cm)	Llenado	Incremento del Tiempo (min)	Agua Infiltrada (cm)	Infiltracion Acumulada (cm)	Velocidad de Infiltracion (cm/min)
1	0	10,6000		0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
2	1	10,0000		1,0000	0,6000	0,6000	0,6000
3	2	9,8000		1,0000	0,2000	0,8000	0,2000
4	3	9,6000		1,0000	0,2000	1,0000	0,2000
5	4	9,4000		1,0000	0,2000	1,2000	0,2000
6	5	9,2000		1,0000	0,2000	1,4000	0,2000
7	10	8,7000		5,0000	0,5000	1,9000	0,1000
8	15	8,4000		5,0000	0,3000	2,2000	0,0600
9	20	8,2000		5,0000	0,2000	2,4000	0,0400
10	25	8,0000		5,0000	0,2000	2,6000	0,0400
11	30	7,8000		5,0000	0,2000	2,8000	0,0400
12	45	7,5000		15,0000	0,3000	3,1000	0,0200
13	60	7,1000		15,0000	0,4000	3,5000	0,0267

Fuente: Autor

Ilustración 6 velocidad de infiltración textura arenosa



Fuente: Autor

$I_b = 6.17 \text{ mm/h}$

La ilustración 6 muestra la velocidad con la que desciende el agua a través del suelo, donde se aprecia una baja infiltración, para un suelo de textura arenosa.

Prueba N 2.

Finca: macaraquilla.

Textura: franco arcilloso.

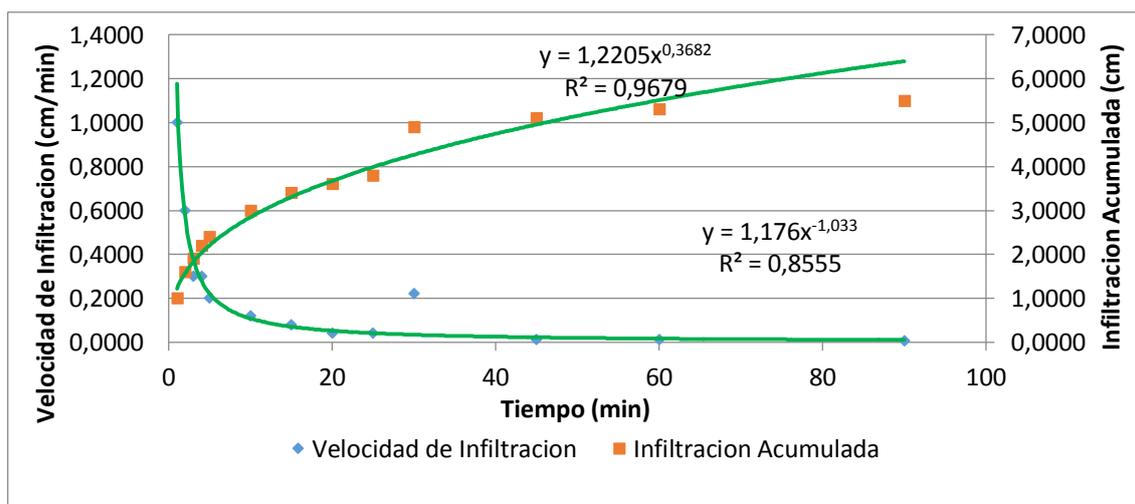
Fecha: 12-08-2014.

Tabla 14 prueba de infiltración suelo franco arcilloso

Lectura No.	Tiempo (min)	Lectura (cm)	Llenado	Incremento del Tiempo (min)	Agua Infiltrada (cm)	Infiltración Acumulada (cm)	Velocidad de Infiltración (cm/min)
1	0	12		0	0	0	0
2	1	11		1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
3	2	10,4		1,0000	0,6000	1,6000	0,6000
4	3	10,1		1,0000	0,3000	1,9000	0,3000
5	4	9,8		1,0000	0,3000	2,2000	0,3000
6	5	9,6		1,0000	0,2000	2,4000	0,2000
7	10	9		5,0000	0,6000	3,0000	0,1200
8	15	8,6		5,0000	0,4000	3,4000	0,0800
9	20	8,4		5,0000	0,2000	3,6000	0,0400
10	25	8,2		5,0000	0,2000	3,8000	0,0400
11	30	7,1		5,0000	1,1000	4,9000	0,2200
12	45	6,9		15,0000	0,2000	5,1000	0,0133
13	60	6,7		15,0000	0,2000	5,3000	0,0133
14	90	6,5		30,0000	0,2000	5,5000	0,0067

Fuente: Autor

Ilustración 7 velocidad de infiltración textura franco arcilloso



Fuente: Autor

lb= 6.32 mm/h

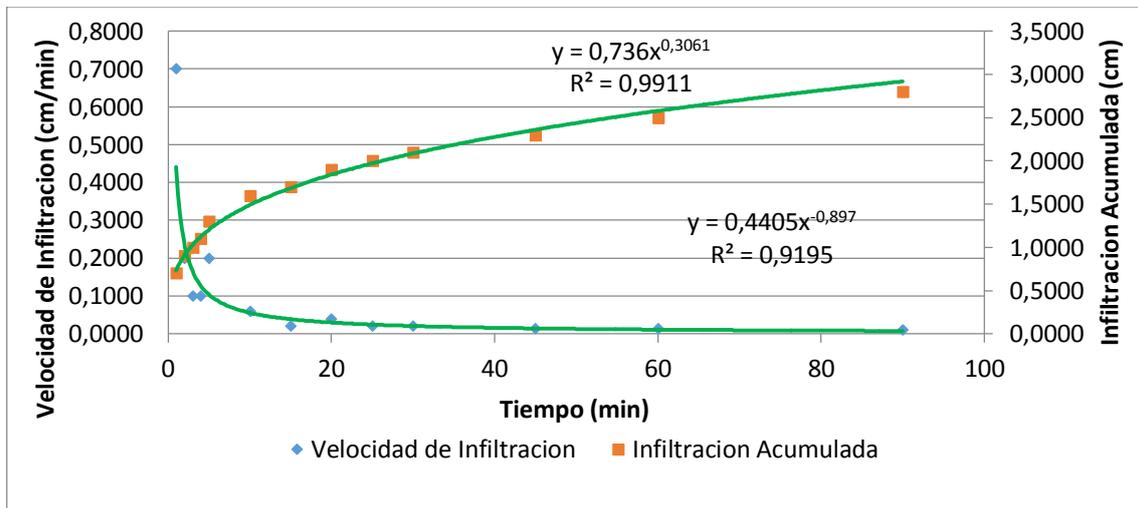
La grafica de la velocidad de infiltración, correspondiente a la ilustración 7, para textura franco arcillosa, muestra un comportamiento similar al de textura arcillosa, pues la infiltración no varía mucho.

Tabla 15 prueba de infiltración suelo arcilloso

Lectura No.	Tiempo (min)	Lectura (cm)	Llenado	Incremento del Tiempo (min)	Agua Infiltrada (cm)	Infiltración Acumulada (cm)	Velocidad de Infiltración (cm/min)
1	0	13		0	0	0	0
2	1	12,3		1,0000	0,7000	0,7000	0,7000
3	2	12,1		1,0000	0,2000	0,9000	0,2000
4	3	12		1,0000	0,1000	1,0000	0,1000
5	4	11,9		1,0000	0,1000	1,1000	0,1000
6	5	11,7		1,0000	0,2000	1,3000	0,2000
7	10	11,4		5,0000	0,3000	1,6000	0,0600
8	15	11,3		5,0000	0,1000	1,7000	0,0200
9	20	11,1		5,0000	0,2000	1,9000	0,0400
10	25	11		5,0000	0,1000	2,0000	0,0200
11	30	10,9		5,0000	0,1000	2,1000	0,0200
12	45	10,7		15,0000	0,2000	2,3000	0,0133
13	60	10,5		15,0000	0,2000	2,5000	0,0133
14	90	10,2		30,0000	0,3000	2,8000	0,0100

Fuente: Autor

Ilustración 8 velocidad de infiltración textura arcillosa



Fuente: Autor

$I_b = 2.05 \text{ mm/h}$

La ilustración 8 muestra una diferencia muy marcada de infiltración, pues el movimiento del agua es muy lento para este tipo de textura pues solo se infiltra

una lámina de 2.05 mm por hora, por otro lado es una muestra ser un suelo compactado

4.5 CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA:

Cada pozo de observación se utilizó para hacer una medida de la conductividad hidráulica empleando el método del barreno (Auger Hole).

Tabla 16 conductividad hidráulica del suelo

Lote	pozo	X	Y	COTA (msnm)	K (m/día)	Interpretación
15	21	988352.7	1659888.9	43,8	0,028	Muy lenta
15	22	988661.0	1660054.2	44,2	0,017	Muy lenta
15	23	988888.7	1660180.4	45,2	0,054	lenta
20	24	989108.0	1660113.6	46,4	0,136	Moderada lenta
20	25	989367.4	1659970.5	46,2	0,182	Moderada lenta
22	26	989421.4	1660088.6	46,4	0,063	lenta
22	27	989690.9	1660056.7	47,6	0,055	lenta
22	28	989884.2	1660035.1	48,6	0,023	Muy lenta
23	34	989718.0	1660253.6	47,2	0,047	lenta
23	35	989913.1	1660251.3	48,2	0,057	lenta

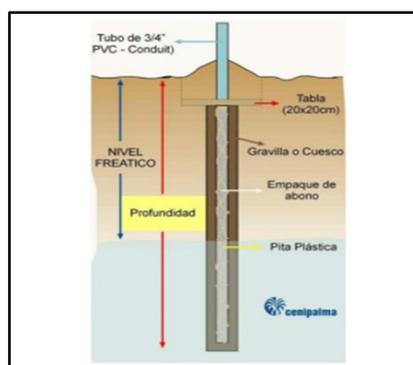
Fuente: Autor

La tabla 16 presenta los valores obtenidos en las pruebas de conductividad hidráulica, presentando las variaciones por zonas de acuerdo a los rangos, es decir, cuando la conductividad hidráulica es lenta, moderada y rápida.

4.6 RED FREATIMÉTRICA

Los cuatro lotes tienen instalados una red freatimétrica, similar a la ilustración 9 por lo tanto se georreferencio cada punto, se recopiló la información en cada uno de los pozos del lote (*ver anexos 4 tabla lectura de freatímetros*), con dicha medición se analizó la fluctuación del nivel freático, para identificar zonas críticas por falta de drenaje.

Ilustración 9 pozo de observación



Fuente: Cenipalma, Guía ambiental de la agroindustria de la palma. Pág. 30

4.6.1 Pozos de observación:

Se tomaron datos históricos de la medición de los pozos de observación # 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 34 y 35, localizados en los lotes 15, 20, 22 y 23, lo que permitió identificar la zona crítica de drenaje.

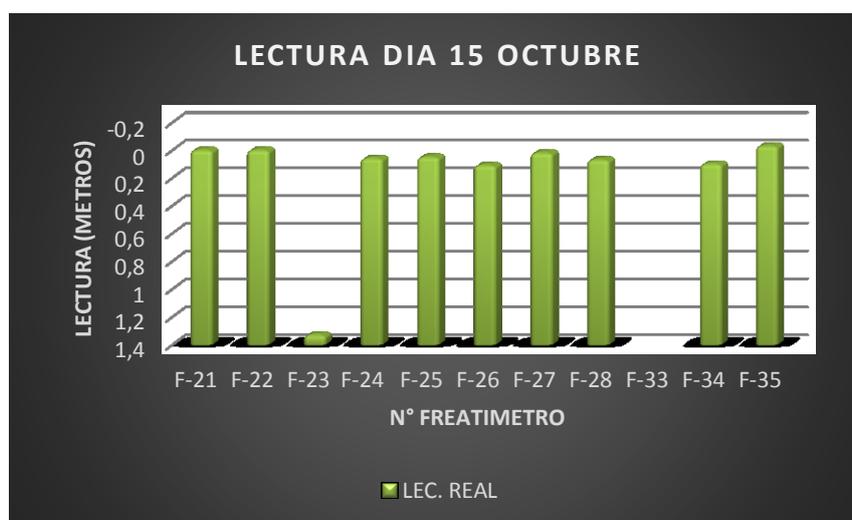
Las lecturas del nivel freático se midieron con sonda eléctrica durante el periodo comprendido entre enero 2014 y octubre 2014, abarcaron meses de invierno y verano. Ver Anexo en Tabla 1, donde aparecen las lecturas de los pozos de observación. Una vez analizados los datos, se concluye que las medidas del nivel freático crítico se presentaron el día 15 de octubre, dichas lecturas se muestran en la tabla 17, y el comportamiento se muestra en la ilustración 10, donde se observa nivel freático crítico para el caso de la palma aceitera, el caso del freatimetro 23, no se registraron lecturas confiables debido a el daño ocasionado por los caballos y carro búfalos en el lote.

Tabla 17 lectura nivel freático para el día 15 de octubre

LOTE	LINEA	PALMA	No. FREA.	ESPIGO	LECTURA	LEC. REAL
15	30	7-8.	F-21	0,22		0
15	70	7-8.	F-22	0,23		0
15	100	4-5.	F-23	0,22	1,55	1,33
20	30	11-12.	F-24	0,19	0,25	0,06
20	62	4-5.	F-25	0,22	0,27	0,05
22	50	12-13.	F-26	0,22	0,33	0,11
22	15	14-15.	F-27	0,22	0,24	0,02
22	72	3-4.	F-28	0,2	0,27	0,07
23	70	14-15.	F-33			
23	15	8-9.	F-34	0,22	0,32	0,1
23	40	21-22.	F-35	0,22	0,19	-0,03

Fuente: Base de datos Inversiones Noguera & Manrique S.A.S. Registro piezometrico.

Ilustración 10. Medidas nivel freático día 15 de octubre.



Fuente: Autor

4.6.2 Estudio de isobatas.

El plano de isobatas (*ver Plano N°4 anexos*), corresponde al mes de octubre, pues es donde se registra la mayor precipitación, considerándose ésta como la crítica, a partir del análisis de este mapa, y del mapa de estratigrafía de los perfiles de suelo se concluye cuáles son los sitios que necesitan drenaje.

La gran mayoría de los lotes en estudio se encuentran en un nivel crítico, entre 0 y 50 cm (orden 1) y en un área limitada entre el lote 15 y 20, se encuentran en condiciones medias o rango medio de severidad (rango 2 y 3). Con esto se identifican las zonas puntuales a las que se debe trabajar con los drenajes.

4.6.3 Estudio isohipsas

El plano 4 de isohipsas (*ver Plano N°5 anexos*), corresponde al mes de octubre, pues es donde se registra la mayor precipitación, considerándose ésta como la crítica, a partir del análisis de este mapa, del mapa de isobatas y del análisis de la estratigrafía de perfiles de suelo de los puntos estudiados, se concluye cuáles son los sitios que necesitan drenaje con base a el movimiento de las líneas de flujo del agua subterránea se orienta el sentido de los drenes interceptores

Las flechas muestran la dirección de movimiento y dirección de flujo, por lo tanto el agua de la finca Macaraquilla drenan buscando el lote 15, que es uno de los lotes que tiene una cota inferior respecto a los demás lotes de la plantación.

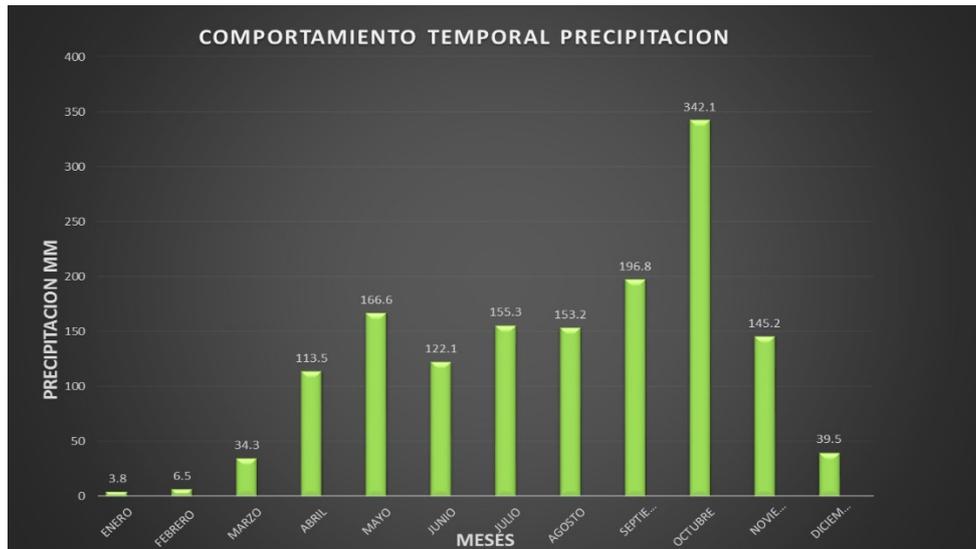
4.7 PARÁMETROS DE DISEÑO DE LA RED DE DRENAJE

4.7.1 Análisis temporal de la precipitación

Para el diseño del sistema de drenaje, es de suma importancia conocer el patrón de distribución de lluvia que predomina en la zona de interés, para el dimensionamiento de los canales de drenaje.

La ilustración 11 muestra una distribución promedio de la lluvia con el tiempo, en el segundo semestre del año las lluvias aumentan considerablemente, siendo el mes de octubre el más lluvioso, con un promedio mensual de 342.1 mm, seguidamente el mes de septiembre con 196.8 mm mensuales, en cuanto a los demás meses del año, la precipitación no afecta el cultivo de palma de aceite, ya que para un desarrollo óptimo de la misma se debe contar como mínimo 150 milímetros mensuales.

Ilustración 11 comportamiento temporal de la precipitación



4.8 PARÁMETROS DE DISEÑO DE LA RED DE DRENAJE

4.8.1 Precipitación De Diseño

Con base a los registros de precipitación de la finca Macaraquilla, se calculó una precipitación de diseño de 191,82 mm, con un periodo de retorno de 10 años. (ver tabla de historial de precipitación anexos N°1.)

Infiltración Potencial: utilizando la ecuacion 2

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

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

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

Nota: se toma como parámetro la curva número 88, el cual hace referencia a el cultivo alineado de palma aceitera con buena cobertura superficial y la baja pendiente del terreno.

Escorrentía: reemplazando la ecuación 1 en la ecuación 2 se tiene.

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

$$E = \frac{(19,18 - 0,2 * 3,46)^2}{(19,18 + 0,8 * 3,46)}$$

$$E = 15,57 \text{ cm}$$

Tiempo de drenaje: utilizando la ecuación 3

$$Td = (Tt * Dp^{0,46}) - t10$$

$$Td = (24 * 10^{0,46}) - 16,9$$

$$Td = 52,31 \text{ hr}$$

Dp= Daño Permissible (%), generalmente 10%

t10= Tiempo requerido para que el suelo alcance aireación del 10% (hr), con base a la tabla 6 un suelo de textura franco arcillosa su valor de t10 es de 16,9.

Escorrentía de diseño para 24 hr; sustituyendo la ecuación 3 en la ecuación 7

$$E24 = \frac{E * 24hr}{Td} \text{ (ecuacion 7)}$$

$$E24 = \frac{(15,57 \text{ cm} * 24 \text{ hr})}{52,31}$$

$$E24 = 7,14 \text{ Cm}$$

Calculo de coeficiente de diseño: remplazando la ecuación 7 en la ecuación 8, se tiene

$$Cd = 4,573 + 1,62 * E24 \text{ (ecuacion 8)}$$

$$Cd = 4,573 + 1,62 * 7,14$$

$$Cd = 16,13 \text{ LPS/ha}$$

Por consiguiente el caudal de diseño será para 54,60 ha

$$Q = Cd * A^{5/6} \text{ (ecuacion 9)}$$

$$Q = 16,13 \frac{lt}{ha} * 54,60ha^{5/6} = 452,2 \text{ lt/sg} \approx 0,452 \text{ m}^3/\text{sg}$$

4.8.2 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.

Dimensionamiento del canal principal

Para el cálculo de las dimensiones del canal principal se tuvieron las siguientes consideraciones:

Caudal a conducir: **0.452 m³/seg.**

Material Excavado: canales y canaletas realizadas con taludes y fondos en tierras sin piedra, para un $n=0.025$

Talud (z)= con tipo de suelo, franco arcillosos y arcilloso cohesivo, manejar pendientes de talud de 1/1.

Pendiente: 0.003 m/m.

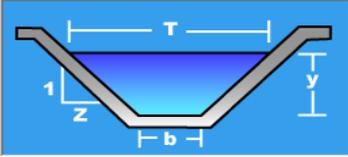
Ancho de la solera : 2 m

Con estos datos vamos al software gratuito HCanales y diseñamos el canal de evacuación.

Ilustración 12 dimensionamiento canal principal.

Lugar:	MACARAQUILLA	Proyecto:	DRENAJE
Tramo:	CANAL PRINCIPAL	Revestimiento:	TIERRA

Datos:	
Caudal (Q):	0.452 m ³ /s
Ancho de solera (b):	2 m
Talud (Z):	1
Rugosidad (n):	0.025
Pendiente (S):	0.003 m/m



Resultados:			
Tirante normal (y):	0.2567 m	Perímetro (p):	2.7261 m
Área hidráulica (A):	0.5793 m ²	Radio hidráulico (R):	0.2125 m
Espejo de agua (T):	2.5134 m	Velocidad (v):	0.7802 m/s
Número de Froude (F):	0.5189	Energía específica (E):	0.2877 m-Kg/Kg
Tipo de flujo:	Subcrítico		

Calcular	Limpiar Pantalla	Imprimir	Menú Principal	Calculadora
----------	------------------	----------	----------------	-------------

Fuente: Autor

Dimensionamiento del canal secundario

Para el cálculo de las dimensiones del canal principal se tuvieron las siguientes consideraciones:

Caudal a conducir: **0.060 m³/seg.**

Área de influencia. 3.73 has

Material Excavado: canales y canaletas realizadas con taludes y fondos en tierras sin piedra, para un $n=0.025$

Talud (z)= con tipo de suelo, franco arcillosos y arcilloso cohesivo, manejar pendientes de talud de 1/1.

Pendiente: 0.003 m/m.

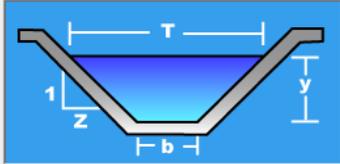
Ancho de la solera de 0.35 m

Con estos datos vamos al software gratuito HCanales y diseñamos el canal de evacuación.

Ilustración 13 diseño canal secundario.

Lugar:	MACARAQUILLA	Proyecto:	DRENAJE
Tramo:	CANAL SECUNDARIO	Revestimiento:	TIERRA

Datos:	
Caudal (Q):	0.060 m ³ /s
Ancho de solera (b):	0.35 m
Talud (Z):	1
Rugosidad (n):	0.025
Pendiente (S):	0.003 m/m



Resultados:			
Tirante normal (y):	0.2024 m	Perímetro (p):	0.9225 m
Área hidráulica (A):	0.1118 m ²	Radio hidráulico (R):	0.1212 m
Espejo de agua (T):	0.7548 m	Velocidad (v):	0.5366 m/s
Número de Froude (F):	0.4451	Energía específica (E):	0.2171 m-Kg/Kg
Tipo de flujo:	Subcrítico		

Calcular	Limpiar Pantalla	Imprimir	Menú Principal	Calculadora
----------	------------------	----------	----------------	-------------

Ingresar el nombre del tramo del canal 8:38 p. m. 09/02/2015

Fuente: Autor

Dimensionamiento de los canales terciarios

Para el cálculo de las dimensiones del canal principal se tuvieron las siguientes consideraciones:

Caudal a conducir: **0.00553 m³/seg.**

Área de influencia 0.35 has

Material Excavado: canales y canaletas realizadas con taludes y fondos en tierras sin piedra, para un n=0.025

Talud (z)= con tipo de suelo, franco arcillosos y arcilloso cohesivo, manejar pendientes de talud de 1/1.

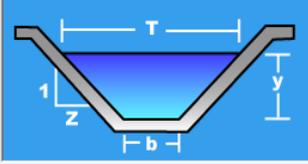
Ancho de la solera de 0.25 m

Pendiente: 0.003 m/m.

Con estos datos vamos al software gratuito HCanales y diseñamos el canal de evacuación.

Ilustración 14 diseño canal terciario

Lugar:	MACARAQUILLA	Proyecto:	DRENAJE
Tramo:	CANAL TERCIARIO	Revestimiento:	TIERRA

Datos:		
Caudal (Q):	0.00553 m ³ /s	
Ancho de solera (b):	0.25 m	
Talud (Z):	1	
Rugosidad (n):	0.025	
Pendiente (S):	0.003 m/m	

Resultados:		
Tirante normal (y):	0.0629 m	Perímetro (p): 0.4278 m
Área hidráulica (A):	0.0197 m ²	Radio hidráulico (R): 0.0460 m
Espejo de agua (T):	0.3757 m	Velocidad (v): 0.2812 m/s
Número de Froude (F):	0.3924	Energía específica (E): 0.0669 m-Kg/Kg
Tipo de flujo:	Subcrítico	

 Calcular	 Limpiar Pantalla	 Imprimir	 Menú Principal	 Calculadora
--	--	--	--	---

Retorna al Menú principal 8:28 p. m. 09/02/2015

Fuente: Autor

4.8.3 Canales de drenaje existentes

Mediante un reconocimiento en campo, se realizó un inventario de los canales de riego y drenaje, sin embargo se hizo énfasis en los canales de drenaje existentes.

Teniendo en cuenta el diseño de la red de drenaje, se optó por dejar los cuatro canales de drenajes, heredados de la anterior vocación agrícola de banano, realizado por la empresa extranjera fruit Company, por lo tanto son necesarios dejarlos, ya que conectan y drenan otros lotes, además de implicar un costo elevado en taparlos, por la cantidad de material necesario.

Canal de drenaje los tendales.

Este canal bordea la parte superior del lote, es de gran capacidad, en campo se realizaron las tomas de medidas, para verificar su capacidad de funcionamiento actual, donde se encontró que dicho canal tiene una capacidad alrededor de 800 l/s, suficiente de evacuar el agua de exceso de los cuatro lotes, puesto que unos de los problemas de drenaje en la finca, radica en la falta de canales de drenaje terciarios en el lote, pues el agua de lluvia o riego, queda almacenada en el lote durante días permitiendo la clorosis en las hojas y la proliferación de microorganismos como la *phytophthora palmivora*, una de las supuestas culpables de la pudrición de cogollo en la palma aceitera, con el diseño de la red de drenaje, se asegura la evacuación de agua a través de los canales terciarios

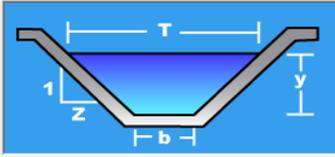
que a su vez se conectan con los secundarios, y desembocan en el drenaje principal los tendales.

Ilustración 15 características drenaje los tendales

Lugar:	MACARAQUILLA	Proyecto:	DRENAJE
Tramo:	CANAL NATURAL	Revestimiento:	TIERRA

Datos:

Tirante (y):	0.5	m
Ancho de solera (b):	2	m
Talud (Z):	1	
Coefficiente de rugosidad (n):	0.025	
Pendiente (S):	0.001	m/m



Resultados:

Caudal (Q):	0.8092	m ³ /s	Velocidad (v):	0.6474	m/s
Area hidráulica (A):	1.2500	m ²	Perímetro (p):	3.4142	m
Radio hidráulico (R):	0.3661	m	Espejo de agua (T):	3.0000	m
Número de Froude (F):	0.3202		Energía específica (E):	0.5214	m-Kg/Kg
Tipo de flujo:	Subcrítico				

Botones de interfaz: Calcular, Limpiar Pantalla, Imprimir, Menú Principal, Calculadora

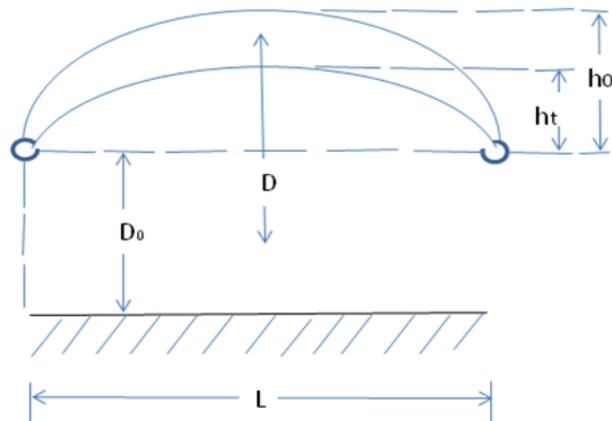
Estado: Ingresar el tipo de material del canal | 12:10 p. m. | 08/03/2015

Fuente: Autor

4.9 DISEÑO DEL SISTEMA DE DRENAJE

4.9.1 Calculo del espaciamento drenes.

Para el cálculo de espaciamento entre drenes se tomaron 3 valores de conductividad eléctrica, ya que se pudo observar una marcada variabilidad en los valores de la misma a lo largo de los lotes estudiados, por tal motivo se pretende con esta medida ser lo más específico posible a la hora de sugerir un sistema de drenajes en estos suelos.



Fuente. Tomada de: EL Drenaje Agrícola, Goicochea 1998

El cálculo del espaciamiento entre drenes se realiza considerando que el régimen de la zona es variable con criterio de época de lluvias, considerando que las recargas por lluvias y nivel freático en zona no son constantes. Además al considerar un régimen variable los costos de instalación disminuyen, puesto que el espaciamiento entre drenes es mayor.

La ecuación utilizada para calcular el espaciamiento entre drenes es la ecuación de GLOVER – DUMM:

$$L^2 = \frac{\pi^2 KD' t}{\mu \ln\left(1,16 \frac{h_0}{h_1}\right)} \quad (\text{ecuacion 10})$$

$$D' = d + D_i \quad (\text{ecuacion 11})$$

$$D_i = \frac{(h_0 + h_t)}{2} \quad (\text{ecuacion 12})$$

$$h_0 = \frac{R}{\mu} \quad (\text{ecuacion 13})$$

Las variables de la ecuación deGlover-Dumm son:

- L: Espaciamiento entre drenes (m)
- h₀: Altura inicial del nivel freático medida desde los drenes (m)
- R: Precipitación o recarga por lluvia (m)
- μ Porosidad Drenable (%)
- h_t: Altura sobre nivel de los drenes, al cabo de un tiempo de cesada la recarga
- t: Tiempo transcurrido desde el comienzo del descenso del nivel freático (días)
- KD: Transmisividad (m²/día)
- D': Profundidad equivalente de Hooghoudt

Criterio de época de lluvias: el criterio de época de lluvias permite que como consecuencia de las precipitaciones, la capa freática suba hasta una profundidad “p” medida desde la superficie del terreno, con una frecuencia de “N” veces por año. (Agrícola y Recuperación de Suelos Salinos, Fernando Pizarro, Madrid 1978.)

Puesto que el cultivo es palma aceitera, según la tabla 2 del capítulo 8 del libro Drenaje Agrícola y Recuperación de Suelos Salinos de Fernando Pizarro, correspondiente a la clase B, los drenes se ubicaran a una profundidad de 1,5m y por lo tanto los valores de P y h son los que se muestran en la tabla siguiente . Estas consideraciones se hacen para garantizar que en 3 días el nivel freático este a 1.1 m de la superficie y la planta tenga las condiciones adecuadas para un buen desarrollo.

Tabla 18 profundidad y altura freática para criterio de lluvias.

Días después de la lluvia (t)	Profundidad freática (p) (m)	Altura freática (h ₂) (m)
0	0,5	1
1	0,8	0,7
2	1	0,5
3	1,1	0,4

Fuente: Razuri. 2004 Modulo de drenaje subsuperficial. Pág 41

La recarga para nuestro sistema de drenaje será de 0.1m/día. Coeficiente de almacenamiento o porosidad Drenable será igual a 0,075 para suelos Arcillosos, a Franco Arcillosos, remplazando dicho valor en la ecuación 13

$$h_0 = \frac{R}{\mu} = \frac{0,1m}{0,075} = 1,3m$$

4.9.2 Separación entre drenes (l)

$$h_t = 1,50 - 1,30 = 0,20m$$

Por medio de tanteo se busca que el siguiente criterio se cumpla para h₃ que sería h_t

$$ht = 1,16 * h_0 * e^{-\alpha * t} \text{ (ecuacion 14)}$$

Despejando α de la ecuación 10 se tiene:

$$\alpha = \frac{\pi^2 * K * D}{\mu L^2}$$

DETERMINACIÓN DEL ESPACIAMIENTO CON UN K=0.182 m/día

$$D = D_1 + D_2$$

D₁ es la altura media sobre los drenes de la capa freática en su movimiento de h₀ a h_t. Este se calcula con la ecuación 12:

$$D_1 = \frac{h_0 + h_t}{2}$$

D₂ es el equivalente de Hooghoudt. Se calcula con la siguiente ecuación:

$$D_2 = \frac{L}{8(Rh + Rr)} \text{ (ecuacion 14)}$$

$$Rh = \frac{(L - 1,4 * D_0)^2}{8 * D_0 * L} ; \text{ (ecuacion 15)}$$

$$Rr = \frac{1}{\pi} \text{Ln} \frac{0.70 * D_o}{r} \text{ (ecuacion 16)}$$

TANTEOS

1^{er} Tanteo:

L = 15 m
 r = 0,05 m
 t = 3 días después de la lluvia
 h₀ = 1,3 m

Utilizando la ecuación 12

$$D_1 = \frac{h_0 + h_t}{2} = \frac{1,3 + 0,20}{2} = 0,75m$$

Utilizando la ecuación 14 y reemplazando en la ecuación 15 y 16.

$$D_2 = \frac{L}{8(Rh + Rr)} = \frac{15 \text{ m}}{8(0,92 \text{ m} + 0,96 \text{ m})} = 0,99m$$

$$Rh = \frac{(15 - 1,4 * 1,5m)^2}{8 * 1,5m * 15} = 0,92m$$

$$Rr = \frac{1}{\pi} \text{Ln} \frac{0,70 * 1,5m}{0,05} = 0,96m$$

$$D = D_1 + D_2 = 0,75m + 0,96m = 1,71m$$

Sustituyendo en la ecuacion 10

$$\alpha = \frac{\pi^2 * \frac{0,182m}{\text{dia}} * 1,71 \text{ m}}{0,075 * (15m)^2} = 0,182 \quad \rightarrow \quad \alpha t = 0,182 * 3 = \mathbf{0,546}$$

Utilizando la ecuación 14

$$ht = 1,16 * h_0 * e^{-\alpha * t} = 1,16 * 1,3 * e^{-0,546} = \mathbf{0,87m}$$

Como **ht = 0,87m < h₃ = 1,0m** (no admisible), por lo tanto se debe realizar otro tanteo para establecer la distancia ideal.

2^{do} Tanteo:

L = 10 m
 r = 0,05 m
 t = 3 días después de la lluvia
 h₀ = 1,3 m

Utilizando la ecuación 12

$$D_1 = \frac{h_0 + h_t}{2} = \frac{1,3 + 0,20}{2} = 0,75m$$

Utilizando la ecuación 14 y reemplazando en la ecuación 15 y 16.

$$D_2 = \frac{L}{8(Rh + Rr)} = \frac{10 \text{ m}}{8(0,52 \text{ m} + 0,96 \text{ m})} = 0,84m$$

$$Rh = \frac{(10 - 1,4 * 1,5m)^2}{8 * 1,5m * 10} = 0,52m$$

$$Rr = \frac{1}{\pi} Ln \frac{0,70 * 1,5m}{0,05} = 0,96m$$

Sustituyendo en la ecuación 10

$$D = D_1 + D_2 = 0,75m + 0,84m = 1,60m$$

$$\alpha = \frac{\pi^2 * \frac{0,182m}{\text{día}} * 1,6 \text{ m}}{0,075 * (10m)^2} = 0,383 \quad \rightarrow \quad \alpha t = 0,383 * 3 = 1,15$$

Utilizando la ecuación 14

$$ht = 1,16 * h_0 * e^{-\alpha t} = 1,16 * 1,3 * e^{-0,383} = 1,02m$$

Como $ht = 1,02m < h_3 = 1,0m$ (admisibles), se concluye: Al tercer día la capa freática se mantiene en 1,0m (admisibles), por tanto el espaciamiento $L=10 \text{ m}$ es correcto, longitud suficiente para la evacuación del agua de exceso. Sin embargo agrónomicamente no es conveniente dicho espaciamiento por lo tanto se propone realizar cada 4 líneas de palma es decir 36 metros.

4.9.3 Criterios de diseño para el establecimiento de los canales de drenajes en cultivo de palma aceitera.

En el cultivo de palma aceitera los drenajes son abiertos, el criterio de diseño se establece en base a las actividades o labores que se realizan, por lo tanto el trazado de canales se hace teniendo en cuenta en primer lugar, la logística de la cosecha, para luego complementarlo con las consideraciones de topografía del cultivo, y la distribución de canales de drenaje existente.

La palma de aceite es un cultivo que se cosecha cada diez a doce días, en forma continua durante aproximadamente 25 años o más. por tal razón, el diseño del cultivo, con sus vías y canales de riego o drenaje, deben guardar armonía con las actividades de cosecha, ya que cada diez días se entra a un mismo lote para cortar fruto maduro, recolectarlo, transportarlo hasta el borde de la vía, y luego, a la planta de beneficio. El recorrido dentro de cada lote sigue un patrón como

Tabla 19. Dimensionamiento de los canales primario y secundario.

LOTE	Nombre del Canal	Longitud metros	Cota inicio m	Cota final m	Pendiente (m/m)	Caudal (LPS)	Lámina de agua (m)	Altura (m)	Base (m)	Talud	Espejo del canal (m)
15	DT-1	262,7	44,4	44,2	0,00076132	5,53	0,06	1	0,25	1	0,375
	DT-2	262,7	44,4	43,8	0,00228397	5,53	0,06	1	0,25	1	0,375
	DT-3	262,7	44,4	44	0,00152265	5,53	0,06	1	0,25	1	0,375
	DT-4	262,7	44,4	44,2	0,00076132	5,53	0,06	1	0,25	1	0,375
	DT-5	262,7	44,4	43,8	0,00228397	5,53	0,06	1	0,25	1	0,375
	DT-6	262,7	44,4	43,8	0,00228397	5,53	0,06	1	0,25	1	0,375
	DT-7	213	44,4	44	0,00187793	5,53	0,06	1	0,25	1	0,375
	DT-8	165	44,4	44	0,00242424	5,53	0,06	1	0,25	1	0,375
	DT-9	84	44,4	43,8	0,00714286	5,53	0,06	1	0,25	1	0,375
	DT-10	108	44,6	44,4	0,00185185	5,53	0,06	1	0,25	1	0,375
	DT-11	219	44,6	44,2	0,00182648	5,53	0,06	1	0,25	1	0,375
	DT-12	218	44,8	44,2	0,00275229	5,53	0,06	1	0,25	1	0,375
	DT-13	218	44,8	44,4	0,00183486	5,53	0,06	1	0,25	1	0,375
	DT-14	218	45,4	44,4	0,00458716	5,53	0,06	1	0,25	1	0,375
	DT-15	218	45,4	44,6	0,00366972	5,53	0,06	1	0,25	1	0,375
	DT-16	182	45,4	44,2	0,00659341	5,53	0,06	1	0,25	1	0,375
	DS-1	371	44,2	43,8	0,00107817	60	0,21	1,5	0,35	1	0,75
	DS-2	298	44,8	44,2	0,00201342	60	0,21	1,5	0,35	1	0,75
	DS-3	298	44,8	44,2	0,00201342	60	0,21	1,5	0,35	1	0,75
	DS-4	183	45,2	44,8	0,00218579	60	0,21	1,5	0,35	1	0,75
DS-5	867	45	44,4	0,00069204	60	0,21	1,5	0,35	1	0,75	

LOTE	Nombre del Canal	Longitud metros	Cota inicio m	Cota final m	Pendiente (m/m)	Caudal (LPS)	Lámina de agua (m)	Altura (m)	Base (m)	Talud	Espejo del canal (m)
20	DT-1	109	46	45,6	0,00366972	5,53	0,06	1	0,25	1	0,375
	DT-2	105	46,4	46,4	0	5,53	0,06	1	0,25	1	0,375
	DT-3	93	46,6	46,4	0,00215054	5,53	0,06	1	0,25	1	0,375
	DT-4	83	46,8	46,8	0	5,53	0,06	1	0,25	1	0,375
	DT-5	72	47	46,6	0,00555556	5,53	0,06	1	0,25	1	0,375
	DT-6	37	46,8	46,2	0,01621622	5,53	0,06	1	0,25	1	0,375
	DT-7	37	46,4	46	0,01081081	5,53	0,06	1	0,25	1	0,375
	DT-8	66	46	45,8	0,0030303	5,53	0,06	1	0,25	1	0,375
	DT-9	58	46	45,6	0,00689655	5,53	0,06	1	0,25	1	0,375
	DT-10	109	46,8	45	0,01651376	5,53	0,06	1	0,25	1	0,375
	DT-11	97	46,4	45,8	0,00618557	5,53	0,06	1	0,25	1	0,375
	DT-12	66,5	46,8	45,8	0,01503759	5,53	0,06	1	0,25	1	0,375
	DS-1	119	46	45	0,00840336	60	0,21	15	0,35	1	0,75
	DS-2	134	46,4	45	0,01044776	60	0,21	1,5	0,35	1	0,75
DS-3	391	45,8	45	0,00204604	60	0,21	1,5	0,35	1	0,75	

LOTE	Nombre del Canal	Longitud metros	Cota inicio m	Cota final m	Pendiente (m/m)	Caudal (LPS)	Lámina de agua (m)	Altura (m)	Base (m)	Talud	Espejo del canal (m)
22	DT-1	58	47	46,8	0,00344828	5,53	0,06	1	0,25	1	0,375
	DT-2	96	46,6	46,4	0,00208333	5,53	0,06	1	0,25	1	0,375
	DT-3	101	46,8	46,4	0,0039604	5,53	0,06	1	0,25	1	0,375
	DT-4	86	46,8	46,4	0,00465116	5,53	0,06	1	0,25	1	0,375
	DT-5	58	46,6	46,4	0,00344828	5,53	0,06	1	0,25	1	0,375

Nombre del Canal	Longitud metros	Cota inicio m	Cota final m	Pendiente (m/m)	Caudal (LPS)	Lámina de agua (m)	Altura (m)	Base (m)	Talud	Espejo del canal (m)
DT-6	59	46,6	46,4	0,00338983	5,53	0,06	1	0,25	1	0,375
DT-7	171	46,6	46,4	0,00116959	5,53	0,06	1	0,25	1	0,375
DT-8	171	46,6	46,2	0,00233918	5,53	0,06	1	0,25	1	0,375
DT-9	171	46,8	46,2	0,00350877	5,53	0,06	1	0,25	1	0,375
DT-10	171	47	46,6	0,00233918	5,53	0,06	1	0,25	1	0,375
DT-11	171	47	46,6	0,00233918	5,53	0,06	1	0,25	1	0,375
DT-12	171	47,2	46,8	0,00233918	5,53	0,06	1	0,25	1	0,375
DT-13	171	47,2	46,8	0,00233918	5,53	0,06	1	0,25	1	0,375
DT-14	171	47,6	47	0,00350877	5,53	0,06	1	0,25	1	0,375
DT-15	171	47,8	47,2	0,00350877	5,53	0,06	1	0,25	1	0,375
DT-16	153	48,2	48	0,00130719	5,53	0,06	1	0,25	1	0,375
DT-17	106	48,4	48,2	0,00188679	5,53	0,06	1	0,25	1	0,375
DT-18	153	48,4	48,2	0,00130719	5,53	0,06	1	0,25	1	0,375
DT-19	106	48	47,8	0,00188679	5,53	0,06	1	0,25	1	0,375
DT-20	66	47,6	47,4	0,0030303	5,53	0,06	1	0,25	1	0,375
DT-21	79	47,6	47,4	0,00253165	5,53	0,06	1	0,25	1	0,375
DT-22	93	48,2	46,8	0,01505376	5,53	0,06	1	0,25	1	0,375
DT-23	107	47,2	46,6	0,00560748	5,53	0,06	1	0,25	1	0,375
DS-1	376	47,6	47,2	0,00106383	60	0,21	15	0,35	1	0,75
DS-2	383	47,6	47,2	0,00104439	60	0,21	15	0,35	1	0,75
DS-3	500	48,8	46,6	0,0044	60	0,21	15	0,35	1	0,75
DS-4	495	48,8	46,6	0,00444444	60	0,21	15	0,35	1	0,75
DS-5	179	46,6	46,4	0,00111732	60	0,21	15	0,35	1	0,75

LOTE	Nombre del Canal	Longitud metros	Cota inicio m	Cota final m	Pendiente (m/m)	Caudal (LPS)	Lámina de agua (m)	Altura (m)	Base (m)	Talud	Espejo del canal (m)
23	DT-1	156	49,8	48,6	0,00769231	5,53	0,06	1	0,25	1	0,375
	DT-2	143	49	48,6	0,0027972	5,53	0,06	1	0,25	1	0,375
	DT-3	123	48,6	48,4	0,00162602	5,53	0,06	1	0,25	1	0,375
	DT-4	108	48,6	47,8	0,00740741	5,53	0,06	1	0,25	1	0,375
	DT-5	101	48,6	47,6	0,00990099	5,53	0,06	1	0,25	1	0,375
	DT-6	91	47,6	47,2	0,0043956	5,53	0,06	1	0,25	1	0,375
	DT-7	81	47,2	47,2	0	5,53	0,06	1	0,25	1	0,375
	DT-8	92	47,8	47,4	0,00434783	5,53	0,06	1	0,25	1	0,375
	DT-9	161	48,2	47,8	0,00248447	5,53	0,06	1	0,25	1	0,375
	DT-10	165	48,4	48	0,00242424	5,53	0,06	1	0,25	1	0,375
	DT-11	165	48,4	48,2	0,00121212	5,53	0,06	1	0,25	1	0,375
	DT-12	165	48,6	48,4	0,00121212	5,53	0,06	1	0,25	1	0,375
	DT-13	165	48,8	48,8	0	5,53	0,06	1	0,25	1	0,375
	DT-14	165	49	48,8	0,00121212	5,53	0,06	1	0,25	1	0,375
	DT-15	165	49,4	49	0,00242424	5,53	0,06	1	0,25	1	0,375
	DT-16	165	49,6	49,6	0	5,53	0,06	1	0,25	1	0,375
	DT-17	165	49,6	49,4	0,00121212	5,53	0,06	1	0,25	1	0,375
	DT-18	165	49,8	49,6	0,00121212	5,53	0,06	1	0,25	1	0,375
	DT-19	165	50	49,8	0,00121212	5,53	0,06	1	0,25	1	0,375
	DT-20	165	50,2	50,2	0	5,53	0,06	1	0,25	1	0,375
DS-1	376	47,6	47,2	0,00106383	60	0,21	15	0,35	1	0,75	
DS-2	376	47,6	47,2	0,00106383	60	0,21	15	0,35	1	0,75	
DS-3	376	47,6	47,2	0,00106383	60	0,21	15	0,35	1	0,75	

5 PRESUPUESTO DEL PROYECTO

Se realizó el presupuesto de la obra por principales componentes, indicando cantidades de obra estimadas. Utilidad, gastos de administración e impuestos

Tabla 20 presupuesto

PRESUPUESTO DEL PROYECTO				
PROYECTO:			DISEÑO DE CANAL DE DRENAJE	
ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANT	VALOR TOTAL
1.0 RACAVA DRENAJE LOS TENDALES				
1,1	Recava drenaje principal los tendales. Con Caterpillar 320, rendimiento 30 metros lineales hora.	ml	2580	\$ 10,320,000
1,2	Fumigación con herbicida ROUND para malezas en el canal de drenaje	Lt	7	\$ 245,000
1,3	Operario para aplicación de herbicida	JOR	2	\$ 42,500
1,4	Construcción de pontones de 3 x 4 (m) en concreto	UND	3	\$ 4,000 000
			TOTAL	\$ 14,607,500
2.0 CONSTRUCCION DE CANALES TIERRA LOTE 15				
2,1	Excavación canal terciario de drenaje (DT) con retro excavadora Caterpillar 304, rendimiento 40m3/h sección trapezoidal de dimensiones, base de 0,25 m, altura de 0.7 m, longitud de 3237 m.	m3	1133	\$ 2,832,500
2,2	Excavación canal secundario de drenaje (DS) con retro excavadora Caterpillar 320, rendimiento 80m3/h sección trapezoidal de dimensiones, base de 0,35 m, altura de 0.7 m, longitud de 2199 m.	m3	1500	\$ 2,250,000
2,3	Adecuación de pase tubo, para vías internas del lote de 24" en concreto, x 0,80 m de longitud	Tubo	15	\$ 1,200,000
2,4	Adecuación pase tubo, para vías internas del lote de 48" en concreto, x 0,80 m de longitud.	Tubo	15	\$ 2,400,000
2,5	construcción cabeceras en concreto para adecuación de pase tubos de 48"	UND	4	\$ 1,600,000
			TOTAL	\$ 10,282,500
3.0 CONSTRUCCION DE CANALES TIERRA LOTE 20				
3,1	Excavación canal terciario de drenaje (DT) con retro excavadora Caterpillar 304, rendimiento 40m3/h sección trapezoidal de dimensiones, base de 0,25 m, altura de 0.7 m, longitud de 932,5 m.	m3	326,3	\$ 815,937
3,2	Excavación canal secundario de drenaje (DS) con retro excavadora Caterpillar 320, rendimiento 80m3/h sección trapezoidal de dimensiones, base de 0,35 m, altura de 0.7 m, longitud de 644 m.	m3	434,7	\$ 658,812
3,3	Adecuación de pase tubo, para vías internas del lote de 24" en concreto, x 0,80 m de longitud	Tubo	15	\$ 1,200,000

PRESUPUESTO DEL PROYECTO				
3,4	Adecuación pase tubo, para vías internas del lote de 48" en concreto, x 0,80 m de longitud.	Tubo	15	\$ 2,400,000
3,5	construcción cabeceras en concreto para adecuación de pase tubos de 48"	UND	4	\$ 1,600,000
		TOTAL		\$ 6,674,749
4,0	CONSTRUCCION DE CANALES TIERRA LOTE 22			
4,1	Excavación canal terciario de drenaje (DT) con retro excavadora Caterpillar 304, rendimiento 40m3/h sección trapezoidal de dimensiones, base de 0,25 m, altura de 0.7 m, longitud de 2860 m.	m3	1001	\$ 2,502,500
4,2	Excavación canal secundario de drenaje (DS) con retro excavadora Caterpillar 320, rendimiento 80m3/h sección trapezoidal de dimensiones, base de 0,35 m, altura de 0.7 m, longitud de 1933 m.	m3	1318	\$ 1,977,459
4,4	Adecuación pase tubo, para vías internas del lote de 48" en concreto, x 0,80 m de longitud.	Tubo	12	\$ 2,000,000
4,5	construcción cabeceras en concreto para adecuación de pase tubos de 48"	UND	2	\$ 800,000
		TOTAL		\$ 7,279,959
5,0	CONSTRUCCION DE CANALES TIERRA LOTE 23			
5,1	Excavación canal terciario de drenaje (DT) con retro excavadora Caterpillar 304, rendimiento 40m3/h sección trapezoidal de dimensiones, base de 0,25 m, altura de 0.7 m, longitud de 2871 m.	m3	1004	\$ 2,510,000
5,2	Excavación canal secundario de drenaje (DS) con retro excavadora Caterpillar 320, rendimiento 80m3/h sección trapezoidal de dimensiones, base de 0,35 m, altura de 0.7 m, longitud de 1128 m.	m3	770	\$ 1,153,944
5,3	Adecuación pase tubo, para vías internas del lote de 48" en concreto, x 0,80 m de longitud.	Tubo	15	\$ 2,400,000
5,4	construcción cabeceras en concreto para adecuación de pase tubos de 48"	UND	2	\$ 800,000
		TOTAL		\$ 6,863,944
6,0	TRABAJOS DE CAMPO CON NIVEL DE PRECISION			
6,1	Trazado y nivelación en campo de canales de drenaje secundarios y terciarios	MI	15084,7	\$ 4,525,410
6,2	Rectificación de nivelación en campo de canales de drenaje secundarios y terciarios	MI	15084,7	\$ 9,050,820
		TOTAL		\$ 13,576,230
		TOTAL		\$ 59,284,882
		IMPREVISTOS		\$ 1,778,546 3%
		TOTAL		\$ 61,063,428

Según el presupuesto, el valor promedio del proyecto por hectárea corresponde a (\$'118.377,8).

Muestra de cálculo

Calculo del volumen de los canales de drenaje para el lote 15



Calculo de la excavación de sección trapezoidal para canal terciario

Ancho de la excavación= 0.75 m
Base de la excavación= 0.25 m
Altura=0.7 m
Longitud de la excavación= 3237 m

Volúmenes calculados

Volumen de la cavidad excavada: 1133 m³
Volumen de la excavación por metro = 0.35 m³

Calculo de la excavación de sección trapezoidal para canal secundario

Ancho de la excavación= 1.60 m
Base de la excavación= 0.35 m
Altura=0.7 m
Longitud de la excavación= 2199 m

Volúmenes calculados

Volumen de la cavidad excavada: 1500 m³
Volumen de la excavación por metro = 0.68 m³

CONCLUSIONES

Se realizó un levantamiento altiplanimetrico del lote 15, 20, 22 y 23, el cual fue esencial para analizar, determinar el comportamiento del terreno, y diseñar la red de drenaje

Se diseñó una red de canales de drenaje superficial en palma aceitera, estableciendo el dimensionamiento adecuado, teniendo en cuenta los estudios previos, labores culturales y agronómicas del cultivo

Se comparó las dimensiones actuales del canal de drenaje los tendales de la plantación Macaraquilla con las obtenidas para el canal principal, donde la capacidad hidráulica es adecuada, se aprecia una falta de mantenimiento de los taludes del canal y un mejoramiento de la rasante del mismo.

Una de las causas del problema de drenaje está condicionado a la falta de canales secundarios y terciarios sobre la plantación, puesto que el agua se queda almacenada en el interior del lote.

El mes de mayor incidencia de lluvia es de octubre con un promedio de 342.1 milímetros mensuales, donde pasa el requerimiento hídrico mensual de la palma de aceite, por lo tanto es indispensable la construcción de la red de canales de drenaje para la evacuación de estas aguas.

Los suelos de la zona en estudio presentan un perfil poco estratificado, con capas de suelos arcillosos de baja conductividad hidráulica (0,017 m/d), actúan como capa impermeable que limita el drenaje interno y la profundidad de los drenes. Lo cual provoca una baja permeabilidad de los mismos.

Debido a la presencia de estratos arcillosos y franco arcillosos que poseen baja permeabilidad, el cálculo del espaciamiento de drenaje, no son adecuados para este tipo de cultivo, pues se deben tener en cuenta el manejo agronómico sobre este.

Las dimensiones de los canales de drenaje, obedecen a la necesidad y cálculo de evacuación de las aguas internas, con la suficiente capacidad de evacuar el caudal correspondiente a su área de influencia, el diseño está acorde a la infraestructura actual y labores agronómicas del cultivo.

Para realizar el proyecto de drenaje en los cuatro lote de la plantación Macaraquilla, se debe realizar ciertas obras de drenaje que además de evacuar los excesos de agua, sirven como infraestructura para realizar las labores culturales, por lo tanto se deben conservar las vías de acceso para la cosecha, pontones y pase tubos para la circulación de vehículos y maquinaria agrícola en el cultivo

El costo total del proyecto de drenaje es de \$ 61, 063,428, para un área de 54.60 hectáreas, por lo tanto el costo por hectárea es de \$1'118.377,8. Siendo

relativamente económico, para un cultivo con un periodo de producción de 25 a 30 años, además de mejorar las condiciones físicas del suelo, mejora a nivel fitosanitario del cultivo como toxicidad, amarillamiento de hojas y pudrición de racimos

6 RECOMENDACIONES

Se deben realizar los canales secundarios y terciarios en la plantación, de esta manera se lograría evacuar el agua de exceso.

La compactación del suelo a menudo reduce las dimensiones de los poros lo suficiente para afectar el drenaje del agua a través del suelo. Por lo tanto se recomienda realizar un subsolado con el objetivo de romper capas de suelos compactadas.

Se debe realizar un levantamiento altimétrico de los canales de drenaje por lo menos cada 20 metros, con el fin de diseñar los rasantes de cada uno, y asegurar una pendiente mínima para la remoción de agua sobre el predio objetivo de estudio.

Se debe realizar mantenimiento de la red de canales de drenaje, como el control de malezas, retiro de sedimentos, la siembra de coberturas para proteger los taludes del canal que garantizan condiciones óptimas de operación y eficiencia.

Se recomienda realizar un estudio químico del suelo para analizar si el suelo presenta problemas de salinidad o sodicidad y así aplicar enmiendas para la corrección de estos problemas.

7 BIBLIOGRAFIA

Soto, M. 1994. El cultivo del Banano, Producción y Comercialización: Planteamiento de una empresa bananera, San José - CR. pp 165 - 172

Colina, s de la. 1997. "Diseño y manejo de sistemas de drenaje", In memoria del Simposio Internacional sobre Riego y Drenaje en Banano. Las Mercedes de Guácimo. Limón - CR. pp. 19-22.

Jaramillo b, javier. 2003. Curso ciencia del suelo. Universidad del valle. Facultad de ingeniería. Escuela de recursos naturales. Publicado como notas de clase.200- Ve. pp 186 -246

Jaramillo b, javier. 2003. Determinación en campo de propiedades físicas de los suelos con fines de riego y drenaje. Universidad del valle. Facultad de ingeniería.2003 publicado como guías de practica.- Ve. pp 150 -160

Belalcázar, s 1991. El cultivo del plátano en el trópico. Editorial FERIVA. Colombia. p 75

Vélez. y Araujo, R. 1984. Determinación del espaciamiento y profundidad de drenes en el suelo de la serie marengo (MO), en el Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias.

Razuri, I. 2004. Módulo de Drenaje superficial. Maestría de Riego y Drenaje. Guayaquil - Ec. pp 36 - 43

Valverde, e. 1998. Riego y drenaje. Mimeografiado. EUNED. C Rica.

López, p. de. 1973. Drenaje agrícola, teoría y bases de cálculo. Madrid- Es pp 84 – 85.

Fedepalma. Guía ambiental de la agroindustria de la palma de aceite en Colombia. Versión para consulta Bogotá D.C., febrero de 2011

Goicochea, j. 1998. El Drenaje Agrícola Lima - Pe pp 14-20

Villón, m. 2003 espadren, Manual de Usuario. Instituto Tecnológico de C. Rica. Cartago – CR. pp 12 – 20.

Grassi, c. 1991. Drenaje de tierras agrícolas. Centro Interamericano de Desarrollo Integral de Aguas y Tierras. Mérida - Ve. pp 121 -196 y 299 - 300

Pizarro, f. 1978. Drenaje Agrícola y Recuperación de Suelos Salinos. Ed. Editorial Agrícola Española, S.A. Madrid 1978. Página 367.

Gómez z. Jairo. 1984. Apuntes de drenaje agrícola. Universidad Nacional de Colombia. Palmira.

Capítulo 2. Riego y drenaje en cultivos de palma de aceite. Consultado 10-03-2015 disponible en la web

http://datateca.unad.edu.co/contenidos/356010/MODULO%20REGULACION%20BALANCE%20HIDRICO/capitulo_2_riego_y_drenaje_en_cultivos_de_palma_de_aceite.html

8 ANEXOS

Anexo N°1 historial de precipitación finca Macaraquilla

PRECIPITACION														
TABLA DE PRECIPITACION ANUAL Y MENSUAL EN EL PERIODO 2004-2014														
AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICEMBRE	P.ANUAL	P.PRO.ANUAL
2004	0	0	43	135	214	73	221	93	299	311	82	81	1552	129,3
2005	0	0	0	105	150	79	57	123	116	315	41	0	986	82,2
2006	0	0	0	102	173	158	107	136	137	375	96	0	1284	107,0
2007	0	0	81	248	264	76	130	196	270	350	153	70	1838	153,2
2008	0	0	50	130	211	85	134	196	92	246	39	31	1214	101,2
2009	0	5	15	29	138	159	127	367	213	203	151	0	1407	117,3
2010	0	43	40	64	180	109	148	80	70	238	188	6	1166	97,2
2011	0	0	50	119	120	114	346	155	633	387	417	195	2536	211,3
2012	42	23	60	75	194	208	248	109	121	516	317	51	1964	163,7
2013	0	0	0	186	125	144	94	137	104	342	77	0	1209	100,8
2014	0	0	38	56	64	138	96	93	110	480	36	0	1111	92,6
PROMEDIO	3,8	6,5	34,3	113,5	166,6	122,1	155,3	153,2	196,8	342,1	145,2	39,5	1478,8	123,2

Fuente: Base de datos Inversiones Noguera & Manrique S.A.S. Registro de pluviómetro.

Anexo N°2 Cálculo de la precipitación de diseño, utilizando la distribución de gumbel.

Xi= precipitación promedio anual, los valores corresponde a precipitaciones máxima para 24 horas de duración

AÑOS	XI
2004	129.3
2005	82.2
2006	107
2007	153.2
2008	101.2
2009	117.3
2010	97.2
2011	211.3
2012	163.7
2013	100.8
2014	92.6

PERIODO DE RETORNO		$X = \bar{x} - \frac{\sigma_x}{\sigma_n} (\bar{Y} - \ln T)$
AÑOS		PRECIPITACION
2		130,56
3		146
5		165,4
10		191,82
25		226,7
50		253
100		279,45
500		340,71

Nº AÑOS = 11

x	123,2
σ_x	36,82
σ_n	0,9676
y	0,4996

Nota. Los datos analizados estan en mm/dia.

Anexo N°3. Valores de "Yn" y "Sn" según número de observaciones,
Distribución de Gumbel.

N	Y _N	σ _N		N	Y _N	σ _N
8	0.4843	0.9043		32	0.5380	1.1193
9	0.4902	0.9288		33	0.5388	1.1226
10	0.4952	0.9497		34	0.5396	1.1255
11	0.4996	0.9676		35	0.54034	1.12847
12	0.5053	0.9833		36	0.5410	1.1313
13	0.5070	0.9972		37	0.5418	1.1339
14	0.5100	1.0095		38	0.5424	1.1363
15	0.5128	1.02057		39	0.5430	1.1388
16	0.5157	1.0316		40	0.54362	1.14132
17	0.5181	1.0411		41	0.5442	1.1436
18	0.5202	1.0493		42	0.5448	1.1458
19	0.5220	1.0566		43	0.5453	1.1480
20	0.52355	1.06283		44	0.5458	1.1499
21	0.5252	1.0696		45	0.5463	1.15185
22	0.5268	1.0754		46	0.5468	1.1538
23	0.5283	1.0811		47	0.5473	1.1557
24	0.5296	1.0864		48	0.5477	1.1574
25	0.53086	1.09145		49	0.5481	1.1590
26	0.5320	1.0961		50	0.54854	1.16066
27	0.5332	1.1004		55	0.5504	1.1681
28	0.5343	1.1047		60	0.55208	1.17467
29	0.5353	1.1086		65	0.5535	1.1803
30	0.53622	1.11238		70	0.55477	1.18536
31	0.5371	1.1159		80	0.55688	1.19382

Fuente: Villon, M. Ayuda de programa HidroEsta.

Anexo N°4 lecturas de freatímetros finca Macaraquilla año 2014

FINCA MACARAQUILLA																																															
LECTURA DE FREATIMETROS AÑO 2014																																															
Lluvia día anterior (mm)->				16				12				21		44		8		0		5		5		18		22		12		98		20		0		100		0		0		3		21		0	
LOTE	LINEA	PALMA	No. FREA.	ene-30	feb-25	mar-26	abr-30	may-14	may-29	jun-11	jul-25	ago-08	sep-07	sep-11	sep-12	sep-13	sep-14	sep-19	sep-30	oct-02	oct-08	oct-15	oct-17	oct-19	oct-22	oct-23	oct-24	oct-25	oct-28	oct-29																	
15	30	7-8.	F-21	26	121	120	133	133	113	71	133	R 124	133	77	89	124	133	133	126		108	92	0	10	53	-18	10	21	34	10	23																
15	70	7-8.	F-22	89	132	132	132	132	132	109	125	R 132	132	132	132	132	132	132	132		132	132	0	35	132	11	46	98	122	42	93																
15	100	4-5.	F-23	78	125	118	133	133	107	122	73	R 125	133	133	132	133	133	133	133		133	133	133	133	133	127	118	124	124	110	124																
20	30	11-12.	F-24	75	2	R 70	76	95	42	21	R 3	R 46	84	48	37	47	73	73	93		99	103	6	10	32	6	13	25	29	13	25																
20	62	4-5.	F-25	1	R 123	111	122	122	112	52	R 133	133	133	133	133	133	123	123	124		123	124	5	39	82	11	29	45	58	29	45																
22	50	12-13.	F-26	95	89	97	112	133	18	33	R 37	R 100	133	76	26	42	87	87	126		129	130	11	20	48	12	18	32	37	19	34																
22	15	14-15.	F-27	64	-2	R 111	131	131	10	R 97	11	R 102	125	97	91	113	133	133	103		110	112	2	35	101	1	4	51	79	6	48																
22	72	3-4.	F-28	4	R 11	1	R 70	103	5	R 12	R 4	R 37	113	14	12	14	74	74	116		118	80	7	9	17	5	7	10	12	8	12																
23	70	14-15.	F-33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0																
23	15	8-9.	F-34	39	18	99	70	111	61	38	R 74	76	114	19	19	28	85	85	101		18	16	10	13	14	7	12	21	48	15	15																
23	40	21-22.	F-35	19	32	30	90	68	16	14	R 20	18	49	18	7	13	41	41	69		16	30	-3	16	16	6	11	18	22	11	11																

Fuente: Base de datos Inversiones Noguera & Manrique S.A.S. Registro de pluviómetro

Anexo N°5. Descripción de perfiles y horizontes del suelo

Anexo 5.1. Descripción estratigráfica de suelos

Perfil suelo	Horizonte (m)	Textura	
P ₁	A	0 - 0.60	FAr
	B	0.60- 1.20	Ar
P ₂	A	0 – 0.60	FAr
	B	0.60– 1.20	Ar
P ₃	A	0 – 0.70	FAr
	B	0.70– 1.20	Ar
P ₄	B	0 – 0.25	Ar
	A	0.25 – 1.50	FAr
P ₅	B	0 – 0.20	Ar
	A	0.20 – 1.20	FAr
P ₆	B	0 – 0.15	Ar
	A	0.15 – 1.20	FAr
P ₇	C	0 – 1.20	Are
P ₈	C	0 – 0.20	Are
P ₉	B	0 – 1.20	Ar
P ₁₀	A	0 – 0.25	FAr
	B	0.25– 1.20	Ar
P ₁₁	A	0 – 0.25	FAr
	B	0.25 – 1.20	Ar
P ₁₂	B	0 – 0.75	Ar
	A	0.75 – 1.20	FAr

Perfil suelo	Horizonte (m)		Textura
P13	A	0 – 0.40	FAr
	B	0.40 – 1.20	Ar
P14	B	0 – 1.20	Ar
P15	A	0 – 0.50	FAr
	B	0.50 – 1.20	Ar
P16	B	0 – 1.20	Ar
P17	B	0 – 0.25	Ar
	A	0.25 – 1.20	FAr
P18	A	0 – 0.25	FAr
	B	0.25 – 1.20	Ar
P19	A	0 - 0.75	FAr
	B	0.75- 1.20	Ar
P20	A	0 – 1.0	FAr
	B	1.0 – 1.20	Ar
P21	B	0 – 1.20	Ar
P22	B	0 – 1.20	Ar
P23	B	0 – 1.20	Ar
P24	A	0 – 0.30	FAr
	C	0.30 – 1.20	Are
P25	A	0 – 0.25	FAr
	C	0.25 – 1.20	Are

Fuente: Autor

Anexo 5.2 Descripción de perfiles calicata N°1

<i>GENERALIDADES</i>	<i>CARACTERÍSTICAS</i>
<i>TIPO DE PERFIL</i>	Modal
<i>TAXONOMÍA DEL SUELO</i>	Typic Ustipsamments.
<i>LOCALIZACIÓN</i>	Departamento Magdalena. Municipio de Aracataca
<i>SITIO</i>	Finca Macaraquilla.
<i>COORDENADAS GEOGRÁFICAS</i>	10°33'49.65"N - 74°10'50.54"O
<i>GEOMORFOLOGÍA</i>	Paisaje Planice
<i>RELIEVE</i>	Plano
<i>GRADO DE PENDIENTE</i>	0–1%.
<i>CLIMA AMBIENTAL</i>	Cálido seco.
<i>FORMACIÓN ECOLÓGICA</i>	Bosque seco Tropical (bs – T).
<i>TEMPERATURA PROMEDIO ANUAL</i>	28°C.
<i>PRECIPITACIÓN PROM. ANUAL</i>	1100 a 1500 mm
<i>DISTRIBUCIÓN DE LLUVIAS</i>	Bimodal.
<i>RÉGIMEN DE HUMEDAD</i>	Ústico.
<i>EROSIÓN</i>	No hay.
<i>PEDREGOSIDAD SUPERFICIAL</i>	No hay
<i>DRENAJE NATURAL</i>	Moderadamente drenado.
<i>PROFUNDIDAD EFECTIVA</i>	10 cm.
<i>CARACTERÍSTICAS</i>	Régimen de humedad del suelo y ausencia de endopedón.
<i>USO ACTUAL</i>	Cultivo de palma aceitera.
<i>LIMITANTES DEL USO</i>	Clima ambiental y texturas arenosas
<i>FECHA DE DESCRIPCIÓN</i>	19 de Agosto de 2014.
<i>OBSERVACIONES</i>	Ninguna.

Fuente: Autor

Anexo 5.3 Descripción de los horizontes calicata N°1

PERFIL SUELO	CARACTERISTICAS
0 – 10 cm	Textura arenosa, sin estructura (suelta); consistencia en húmedo suelta, en mojado no pegajosa ni plástica, con poros intersticiales, hay raíces en los primeros 10 centímetros y también hay actividad de macroorganismos.
10 – 120 cm	Color ocre claro, textura arenosa, sin estructura (suelta); consistencia en húmedo suelta, en mojado no pegajosa y no plástica, con poros intersticiales, no hay presencia de raíces.
Observaciones	Arena de tamaño de 0.2 a 0.5 mm, Son suelos moderadamente drenados, tienen contenido de humedad muy bajo, hay una fuerte compactación después de los 10 centímetros.

Fuente: Autor

Anexo 5.4 Descripción de perfiles calicata N°2

<i>GENERALIDADES</i>	<i>CARACTERÍSTICAS</i>
<i>TIPO DE PERFIL</i>	Modal
<i>TAXONOMÍA DEL SUELO</i>	Typic Ustipsamments.
<i>LOCALIZACIÓN</i>	Departamento Magdalena. Municipio de Aracataca
<i>SITIO</i>	Finca Macaraquilla.
<i>COORDENADAS GEOGRÁFICAS</i>	10°33'56.09"N- 74°10'41.68"O
<i>GEOMORFOLOGÍA</i>	Paisaje Planice
<i>RELIEVE</i>	Plano
<i>GRADO DE PENDIENTE</i>	0–1%.
<i>CLIMA AMBIENTAL</i>	Cálido seco.
<i>FORMACIÓN ECOLÓGICA</i>	Bosque seco Tropical (bs – T).
<i>TEMPERATURA PROMEDIO ANUAL</i>	28°C.
<i>PRECIPITACIÓN PROM. ANUAL</i>	1100 a 1500 mm
<i>DISTRIBUCIÓN DE LLUVIAS</i>	Bimodal.
<i>RÉGIMEN DE HUMEDAD</i>	Ústico.
<i>EROSIÓN</i>	No hay.
<i>PEDREGOSIDAD SUPERFICIAL</i>	No hay
<i>DRENAJE NATURAL</i>	Presencia de humedad
<i>PROFUNDIDAD EFECTIVA</i>	20 cm.
<i>CARACTERÍSTICAS</i>	Régimen de humedad del suelo ⁻
<i>USO ACTUAL</i>	Cultivo de palma aceitera.
<i>LIMITANTES DEL USO</i>	No presenta limitantes de uso
<i>FECHA DE DESCRIPCIÓN</i>	19 de Agosto de 2014.
<i>OBSERVACIONES</i>	Ninguna.

Fuente: Autor

Anexo 5.5 Descripción de los horizontes calicata N°2

PERFIL DEL SUELO	CARACTERISTICAS
0 – 20 cm	Color pardo medio claro, textura franco arcillosa, presenta una estructura en forma de bloques débiles consistencia en húmedo firme, en mojado pegajosa y plástica, con porosidad media, presenta desarrollo de raíces en los primeros 20 centímetros
20 – 40 cm	Color en húmedo pardo oscuro, textura arcillosa; estructura en bloques subangulares, gruesos, consistencia en húmedo firme, en mojado pegajosa y plástica, no hay raíces, no hay actividad de macroorganismos.
40-70 cm	Color pardo medio claro, textura arcillosa, con moteos de color rojo, presenta una estructura en forma de bloques subangulares gruesos fuertes, con consistencia en húmedo firme, en mojado pegajosa y plástica, no presenta desarrollo de raíces
70-120 cm	Color en húmedo gris oscuro, con moteos de color rojo, textura arcillosa; estructura en bloques subangulares, gruesos, consistencia en húmedo firme, en mojado pegajosa y plástica, no hay raíces; no hay actividad de macroorganismos.
Observaciones	Se observa algo de estructura, sin embargo hay una compactación moderada entre 20 y 40 cm que impide un adecuado desarrollo de las raíces. El color rojizo se puede asociar a contenidos de hierro.

Fuente: Autor

ANEXO FOTOGRAFICO

Anexo N°1. Cultivo de palma aceitera en textura arenosa



Fuente: autor del proyecto

Ubicación: finca Macaraquilla municipio de Aracataca

Anexo N°2 calicata N°1.



Fuente: autor del proyecto

Ubicación: finca Macaraquilla municipio de Aracataca.

Anexo N°3. Calicata N°2



Fuente: autor del proyecto

Ubicación: finca Macaraquilla municipio de Aracataca.

Anexo N°4 Determinación de la densidad del suelo



Fuente: autor del proyecto

Ubicación: finca Macaraquilla municipio de Aracataca.

Anexo N°5 Medición del nivel freático en campo



Fuente: autor del proyecto

Ubicación: finca Macaraquilla municipio de Aracataca.

Anexo N°6. Determinación de la infiltración por de los cilindros



Fuente: autor del proyecto

Ubicación: finca Macaraquilla municipio de Aracataca.

Anexo N°7 vista general lote 20 Macaraquilla



Fuente: autor del proyecto

Ubicación: finca Macaraquilla municipio de Aracataca.

Anexo N°8 Canal de drenaje terciario lote 15



Fuente: autor del proyecto

Ubicación: finca Macaraquilla municipio de Aracataca.

Anexo N°9 Recolección de fruta en la plantación.



Fuente: autor del proyecto

Ubicación: finca Macaraquilla municipio de Aracataca.

Anexo N°

10 .Drenaje los tendales

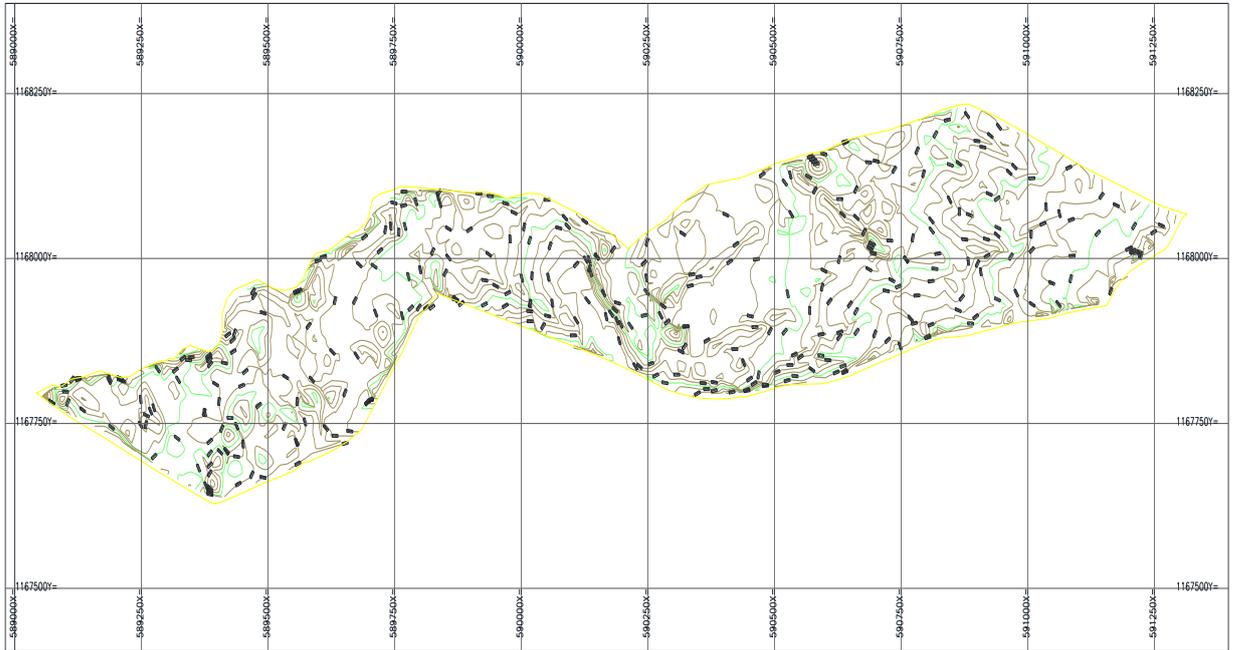


Fuente: autor del proyecto

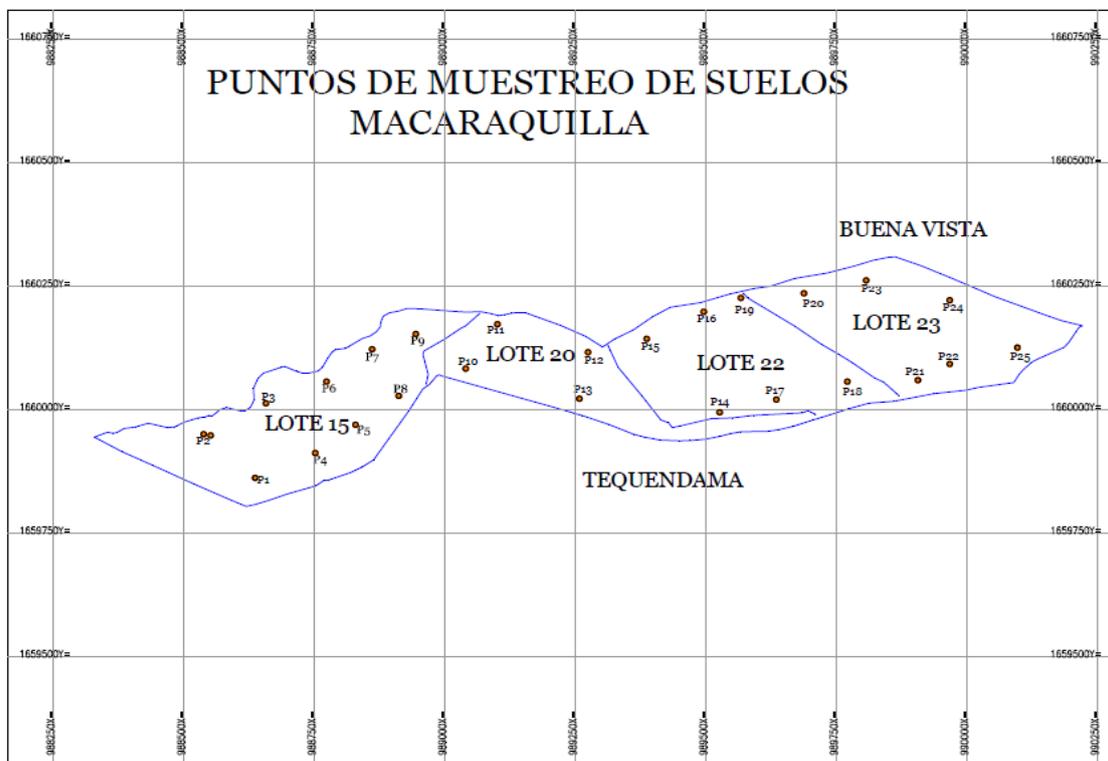
Ubicación: finca Macaraquilla municipio de Aracataca

9 PLANOS.

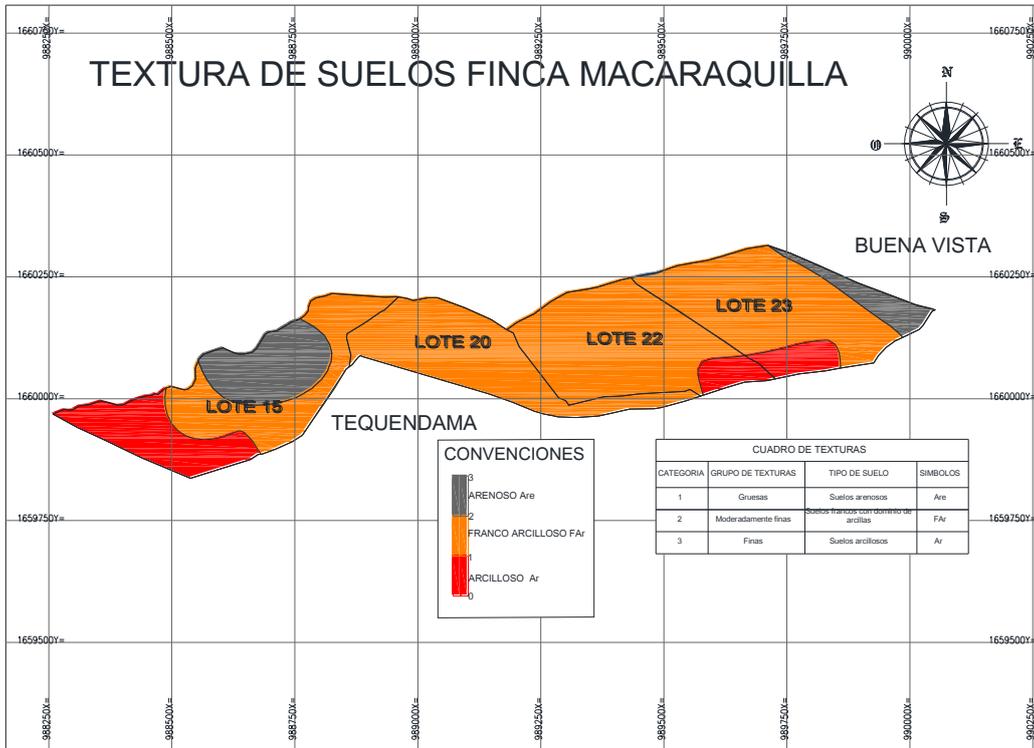
PLANO 1. CURVAS DE NIVEL



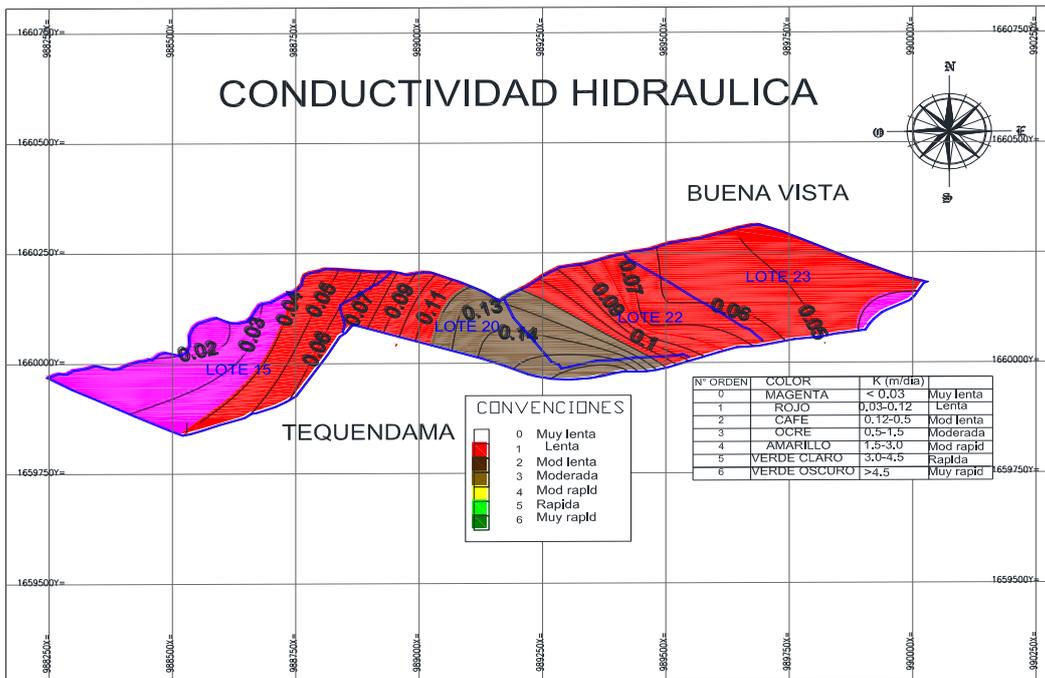
PLANO 2. PUNTOS DE MUESTREO DE SUELOS



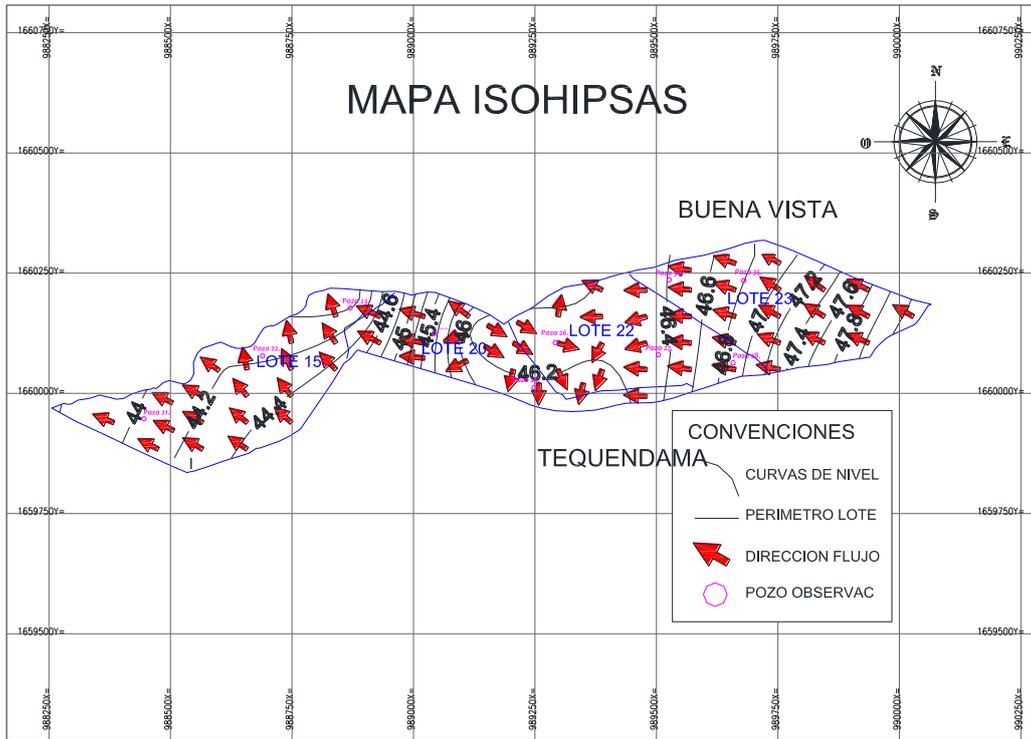
PLANO 3.TEXTURA DE SUELOS



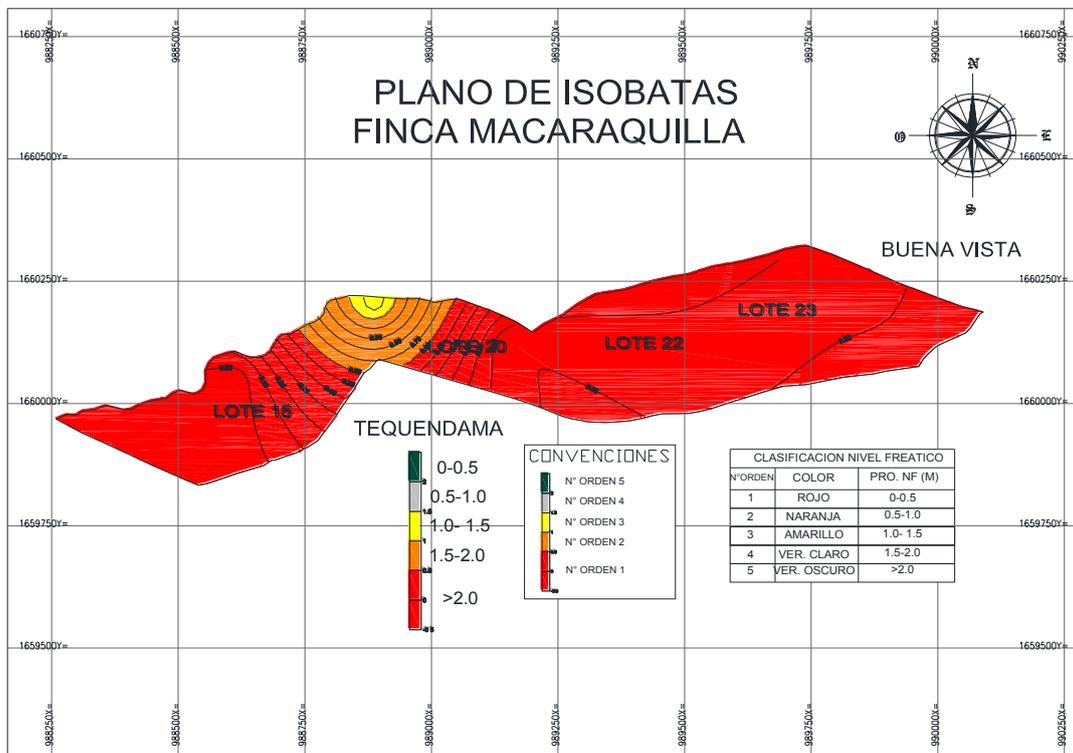
PLANO 4. CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA



PLANO 5.MAPA ISOHIPSAS



PLANO 6.MAPA ISOBATAS



PLANO 7.DISEÑO DE CANALES DE DRENAJE

