



CARTA DE AUTORIZACIÓN

CÓDIGO

AP-BIB-FO-06

VERSIÓN

1

VIGENCIA

2014

PÁGINA

1 de 2

Neiva, 9 de abril del 2018

Señores

CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Ciudad


El (Los) suscrito(s):

Estefanía Chica Roa, con C.C. No. 1075226539 de la ciudad de Neiva, Autor (es) de la tesis y/o trabajo de grado titulado “Adecuación de 239 hectáreas en renovación para siembra de palma de aceite africana (*elaeis guineensis* jacq.) Híbrido interespecífico cuari x lame, finca Siberia”. Presentado y aprobado en el año 2018 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.
- 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.

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma   
1075226530 Neiva

Vigilada Mineducación



**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA  
GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS**



**CARTA DE AUTORIZACIÓN**

**CÓDIGO**

**AP-BIB-FO-06**

**VERSIÓN**

**1**

**VIGENCIA**

**2014**

**PÁGINA**

**2 de 2**

Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional [www.usco.edu.co](http://www.usco.edu.co), link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.



**TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO:**

“Adecuación de 239 hectáreas en renovación para siembra de palma de aceite africana (*elaeis guineensis* jacq.) Híbrido interespecífico cuari x lame, finca Siberia”.

**AUTOR O AUTORES:**

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Chica Roa	Estefanía

**DIRECTOR Y CODIRECTOR TESIS:**

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Arévalo Hernández	John Jairo

**ASESOR (ES):**

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Rodríguez Moreno	German Ernesto

**PARA OPTAR AL TÍTULO DE:** Ingeniero Agrícola

**FACULTAD:** Ingeniería

**PROGRAMA O POSGRADO:** Ingeniería Agrícola

**CIUDAD:** NEIVA      **AÑO DE PRESENTACIÓN:** 2018      **NÚMERO DE PÁGINAS:** 81

**TIPO DE ILUSTRACIONES** (Marcar con una X):

Diagramas  Fotografías  Grabaciones en discos  Ilustraciones en general  Grabados   
Láminas  Litografías  Mapas  Música impresa  Planos  Retratos  Sin ilustraciones   
Tablas o Cuadros

**SOFTWARE** requerido y/o especializado para la lectura del documento: AutoCAD



**MATERIAL ANEXO: PLANO, INFORME DE CONSULTORÍA DE MANEJO DE AGUA**

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

**PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS:**

**Español**

**Inglés**

- |                         |                     |
|-------------------------|---------------------|
| 1. Renovación           | 1. Renovation       |
| 2. Palma de aceite      | 2. oil palm         |
| 3. Diseño de cultivo    | 3. crop design      |
| 8. Adecuación del suelo | 4. soil adaptation. |

**RESUMEN DEL CONTENIDO:** (Máximo 250 palabras)

El presente documento muestra el proceso de adecuación de 239 hectáreas en renovación para la siembra de Palma de aceite africana (*elaeis guineensis* jacq.), los terrenos escogidos para la intervención corresponden a los bloques 242 al 250 de la finca Siberia, propiedad del grupo empresarial Manuelita Aceites y Energía S.A. localizada en el Km 12 vía Dinamarca – Surimena, municipio de San Carlos de Guaroa, Meta, Colombia.

La renovación será aprovechada para corregir errores de diseño de la plantación actual, el nuevo diseño de cultivo busca mejorar el crecimiento, desarrollo y productividad de la palma de aceite al igual que la logística del lote ya que también está pensado para facilitar las labores de campo.

Entre las actividades más importantes del proyecto está la erradicación del cultivo anterior y arvense, diseño del sistema de riego por melgas rectangulares y drenaje superficial, preparación del



terreno para la siembra y aplicación de correctivos según sugerencias agronómicas.

El tiempo total de establecimiento del cultivo de palma es de seis meses de los cuales dos (2) son empleados para recolección de información y planificación, dos (2) para construcción del diseño de cultivo y dos para la ejecución de la primera fase del diseño que corresponde a erradicación y preparación del suelo.

**ABSTRACT:** (Máximo 250 palabras)

This document shows the process of adaptation of 239 hectares in renovation for the planting of African oil palm (*elaeis guineensis jacq.*), The land chosen for the intervention correspond to blocks 242 to 250 of the Siberia farm, owned by the business group Manuelita Aceites y Energía SA located at Km 12 via Dinamarca - Surimena, municipality of San Carlos de Guaroa, Meta, Colombia.

The renovation will be used to correct design errors of the current plantation, the new cultivation design seeks to improve the growth, development and productivity of the oil palm as well as the logistics of the lot as it is also designed to facilitate field work.

Among the most important activities of the project is the eradication of the previous crop and arvense, design of the irrigation system by rectangular melgas and superficial drainage, preparation of the land for the sowing and application of corrective according to agronomic suggestions.

The total time of establishment of the palm crop is six months of the two (2) are used for information collection and planning, two (2) for the construction of the cultivation design and two for the



execution of the first phase of the design which corresponds to eradication of the previous crop and preparation of the soil.

**APROBACION DE LA TESIS**

Nombre Presidente Jurado:

John Jairo Arcévalo Hernández

Firma:

Nombre Jurado: Nadia Bagette Janorbia Jendek

Firma:

Nombre Jurado: Mario Bedoya Cardoso

Firma:



**INFORME DE CONSULTORÍA DE MANEJO DE AGUA  
ACEITES MANUELITA  
(SAN CARLOS DE GUAROA-META)**

**Elaborado por:  
AGRODINCO LTDA.**

**VILLAVICENCIO, META  
JULIO DE 2014**

## TABLA DE CONTENIDO

<b>1. ANTECEDENTES .....</b>	<b>2</b>
<b>2. METODOLOGÍA .....</b>	<b>2</b>
2.1. OFERTA Y DEMANDA CLIMÁTICA .....	3
2.1.1. <i>Oferta de Precipitación</i> .....	3
2.1.2. <i>Demanda Ambiental</i> .....	5
2.1.3. <i>Oferta Vs Demanda</i> .....	6
2.1.4. <i>Balance Hídrico Diario</i> .....	7
2.1.5. <i>Necesidades netas</i> .....	0
2.1.6. <i>Disponibilidad del recurso hídrico</i> .....	1
2.1.6.1. <i>Ríos Acacias y Guayuriba</i> .....	2
2.1.6.2. <i>Caño Piedras</i> .....	5
2.1.6.3. <i>Caño Chipa</i> .....	5
2.1.6.4. <i>Caño Chichimene</i> .....	5
2.1.6.5. <i>Otras fuentes</i> .....	¡Error! Marcador no definido.
2.2. EVALUACIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA DE CAPTACIÓN. ....	6
2.2.1 <i>Bocatoma Potosí</i> .....	6
2.2.2 <i>Bocatoma Manuriba</i> .....	7
2.3 EVALUACIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA DE DISTRIBUCIÓN Y REPARTO.....	8
2.4. EVALUACIÓN DE EFICIENCIA EN LA CONDUCCIÓN. ....	17
2.4.1 <i>Determinación Eficiencia Bocatoma Potosí</i> .....	19
2.4.2 <i>Determinación Eficiencia Bocatoma Potosí-Yaguarito (Brazo Chichimene)</i> .....	13
2.4.3 <i>Determinación Eficiencia Bocatoma Potosí (Brazo Acacias)</i> .....	14
2.4.4 <i>Determinación Eficiencia Bocatoma San Isidro (Caño Chipa)</i> .....	13
2.4.5 <i>Determinación Eficiencia Bocatoma Bonanza (Caño Chipa)</i> .....	14
2.4.6 <i>Determinación Eficiencia Bocatoma Bolivia-Ponderosa (Caño Piedras)</i> .....	14
2.4.7 <i>Determinación Eficiencia Bocatoma Siberia</i> .....	13
2.4.8 <i>Determinación Eficiencia Bocatoma San Miguel-Manacacias</i> .....	14
2.4.9 <i>Determinación de Aforo Captación Bocatoma Manuriba</i> .....	30
2.5. EVALUACIÓN DE OBRAS DE CONDUCCIÓN Y DISTRIBUCIÓN.....	21
2.6. INFRAESTRUCTURA DE APLICACIÓN DEL AGUA- RIEGO PREDIAL.....	33
2.6.1. <i>Evaluación de la eficiencia de aplicación</i> .....	33
2.6.2. <i>Estimación de las Necesidades de Riego en el bloque 235</i> .....	34
2.6.3. <i>Evaluación del Bloque 235 Lote 1</i> .....	35
2.7. EFICIENCIA TOTAL DEL SISTEMA.....	40
2.8. EFICIENCIA CON DATOS DE RIEGO HISTÓRICOS DE LA PLANTACIÓN.....	41
2.9. REQUERIMIENTOS HÍDRICOS BRUTOS DE LA PLANTACIÓN (NT).....	43
2.10. EFICIENCIAS PERMISIBLES PARA CONDICIONES DE OFERTA Y DEMANDA DE AGUA.....	35
2.11. RELACIÓN RIEGO Y PRODUCCIÓN .....	36
2.12. CRITERIO Y PROGRAMACIÓN DEL RIEGO.....	39
2.13 EVALUACIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA DE DRENAJE .....	39
<b>3. ANÁLISIS DE PERSPECTIVAS EN EL MANEJO DEL AGUA DE LA PLANTACIÓN .....</b>	<b>43</b>
3.1. CONCLUSIONES.....	44
3.2 MATRIZ RESUMEN.....	48

## 1. Antecedentes

Es bien conocida la relación directa del agua con la productividad en el cultivo de palma de aceite. Se sabe que un déficit acumulado de hasta **700 mm/año** pueden disminuir la producción potencial hasta en un **50%** (Corley, 1996). Así mismo existen reportes de zonas con mal drenaje que pueden verse afectadas de manera directa en más de **5 Ton/Ha/año**. El mal drenaje presenta un efecto negativo en la eficiencia de la fertilización, ya que bajo condiciones de anegamiento, las raíces no asimilan los nutrientes. Igualmente se ha demostrado una alta predisposición a la PC cuando hay condiciones de mal drenaje.

De lo anterior, y sabiendo que las actuales perspectivas económicas del negocio de la palma de aceite exigen plantaciones eficientes, sostenibles y de alta productividad, es claro que uno de los principales factores productivos que se debe intervenir, por su altísima relación con la productividad, es el agua.

En síntesis, las condiciones actuales, exigen que las plantaciones implementen programas de optimización de la infraestructura de manejo del agua y tengan claros unos lineamientos para su operación y conservación.

## 2. Metodología

La metodología utilizada para desarrollar la presente consultoría se basó en la revisión detallada de toda la información técnica disponible relacionada con el manejo del agua de la plantación. Después de analizar y revisar la información se procedió a verificar e inspeccionar dicha información con visitas de campo de acuerdo a un orden racional previamente definido: 1) Infraestructura de captación y distribución; 2) Ubicación, identificación e inspección geográfica de los puntos donde se encuentran los recursos hídricos al igual que su disponibilidad; 3) Infraestructura de aplicación; 4) Infraestructura de drenaje. Para el normal desarrollo de cada uno de estos puntos, se identificó y se verificó en la plantación, los bloques involucrados así como sus lotes. Además de tomar y

evaluar datos en campo para conocer las condiciones generales de eficiencia del uso del agua, con ayuda del personal técnico y operativo de la plantación se definieron otros sitios de interés como captaciones en algunos caños internos de donde se toma agua, los cuales fueron aforados y se obtuvieron resultados representativos. Se estableció una comunicación continua con el personal técnico de la plantación, quien aportó la información requerida en su momento.

Posteriormente, se desarrolló una fase de trabajo de oficina, que contempló el procesamiento y análisis de la información obtenida.

## 2.1. Oferta y Demanda Climática

Para efectos del estudio se adquirió información climatológica de la estación Barbascal, propiedad del Ideam ubicada en San Martín (Meta). Se adquirieron los registros diarios para el periodo de 2000 a 2013. Igual, se suministró por parte de la plantación Aceites Manuelita la serie de datos de precipitación de los años 2007-2013.

### 2.1.1. Oferta de Precipitación

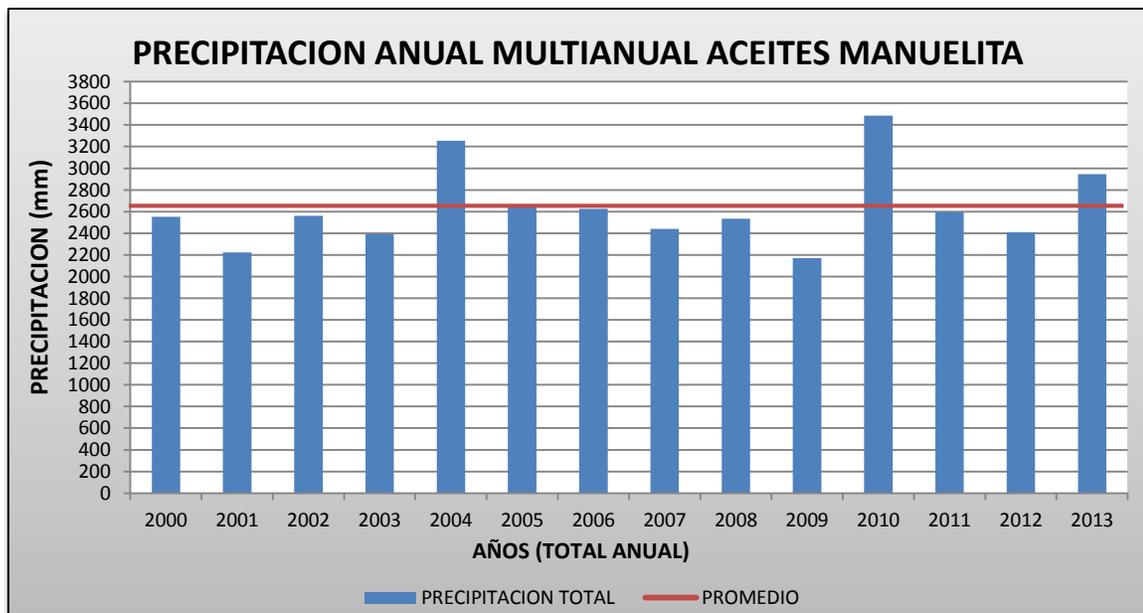


Figura 1. Precipitación Anual Multianual Plantación Aceites Manuelita.

De la figura 1 se observa **valores promedios de 2631 mm/año**, con años como el 2004 y 2010 en donde el valor anual superó los 3000 mm y años como el 2001 y 2009 donde el valor fue cercano a los 2200 mm.

Sin embargo con fines agrícolas, un valor promedio anual de precipitación, aunque se cuenta con datos históricos considerables, no es una buena herramienta para cuantificar las verdaderas necesidades hídricas que se puedan llegar a tener. Esto, teniendo en cuenta que no toda esta lluvia va a ser efectivamente utilizada por la planta y que además al trabajar con promedios en la mitad de los casos se subvalorarán y en la otra mitad se sobrevalorarán las verdaderas necesidades. Para ello, se realizó un análisis con los datos históricos multianuales mensuales en donde se determinaron las precipitaciones esperadas con una probabilidad del 75% y además se estimaron los valores efectivos de precipitación para cada mes (grafica 2). La metodología utilizada es la desarrollada por Fuentes Yague, 1996.

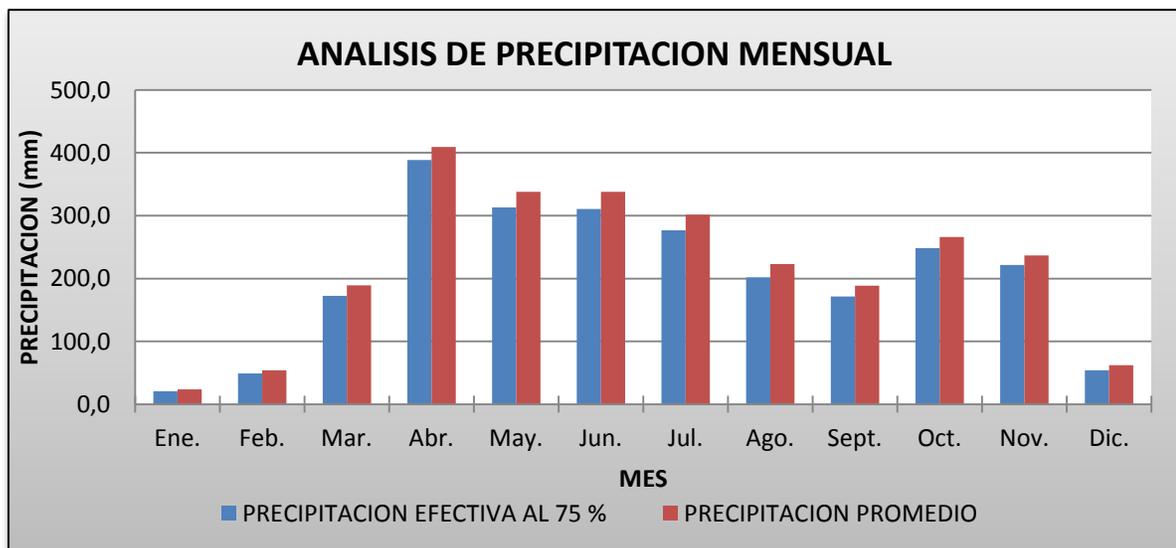


Figura 2. Comparación de la Precipitación mensual y la efectiva con probabilidad del 75% en la plantación Aceites Manuelita.

De la gráfica se observa un comportamiento unimodal de la precipitación, con un periodo seco marcado entre los meses de diciembre a febrero y con valores también bajos en los meses de marzo y septiembre.

### **2.1.2. Demanda Ambiental**

El análisis de demanda ambiental analiza los valores de evapotranspiración (ET) que se presentan bajo condiciones normales en la plantación. La evapotranspiración se define como la cantidad de agua usada por cada cultivo o vegetación natural, en la formación de tejidos, en la transpiración a través de las hojas y en la evaporación directa desde la superficie del suelo (Gurovich, 1999). La magnitud de la evapotranspiración depende principalmente del cultivo, del contenido de humedad en el suelo así como de su estructura y del clima, debido a que es un sistema suelo-planta-atmósfera.

Para el caso de la palma de aceite se sabe que el coeficiente  $K_c$  oscila entre 0.8 y 1.0, esto es según el estado de desarrollo fenológico de la planta y la ubicación geográfica del país. Para el caso del análisis de la presente consultoría se definió trabajar con el valor  $K_c$  de 1.0. Es decir, que se trabajará la demanda ambiental del cultivo ETR como un 100% de la EV ( $ETR = 1.0 \cdot EV$ ).

Para el estudio se trabajó con datos diarios del periodo de 2000 a 2013 de la estación CO Barbascal propiedad del Ideam, ubicada en San Martín Meta.

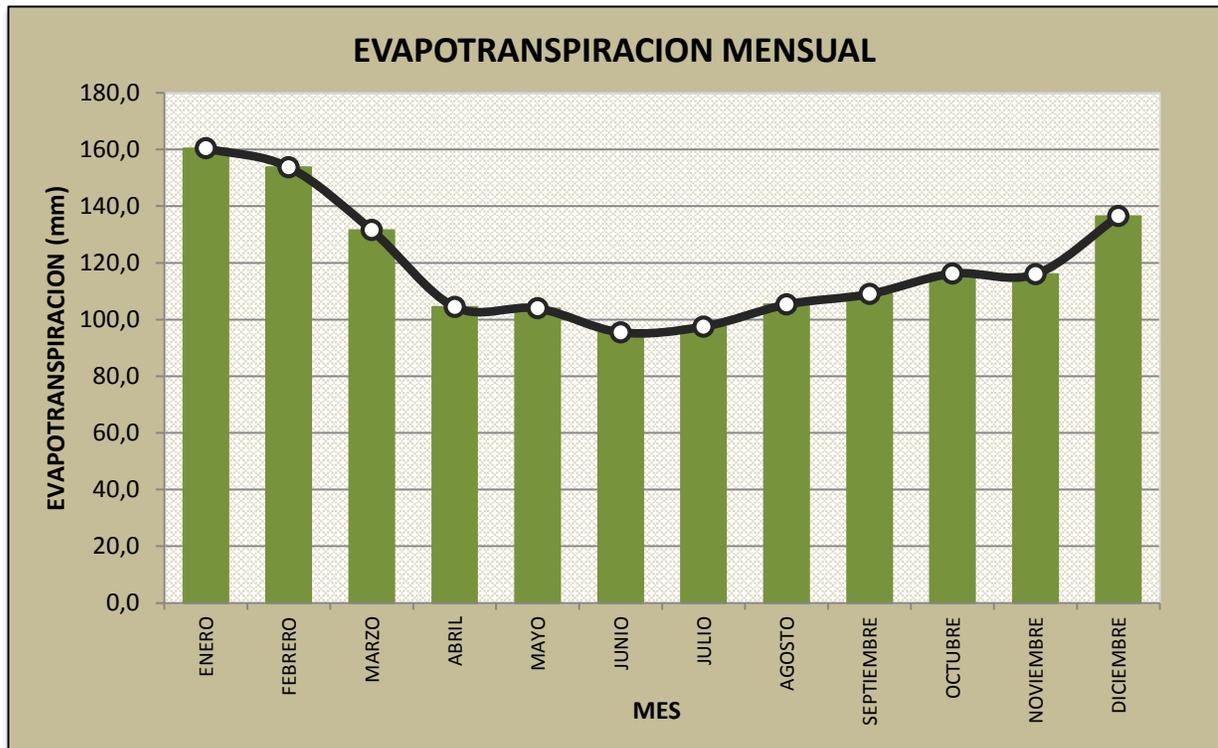


Figura 3. Valores promedio Mensual de Evapotranspiración según datos diarios para el periodo de 2000 a 2013.

La gráfica muestra un comportamiento opuesto a la precipitación. Presentándose valores medios mensuales de 119,2 mm y **anuales de 1430 mm**. El mes de mayor demanda de evapotranspiración es enero con un promedio de 160,4 mm; el de menor demanda es Junio con un promedio de 95,5 mm.

### 2.1.3. Oferta Vs Demanda

Este análisis contempla realizar un balance entre la oferta y la demanda ambiental para las condiciones de la plantación Aceites Manuelita. (Grafica 4).

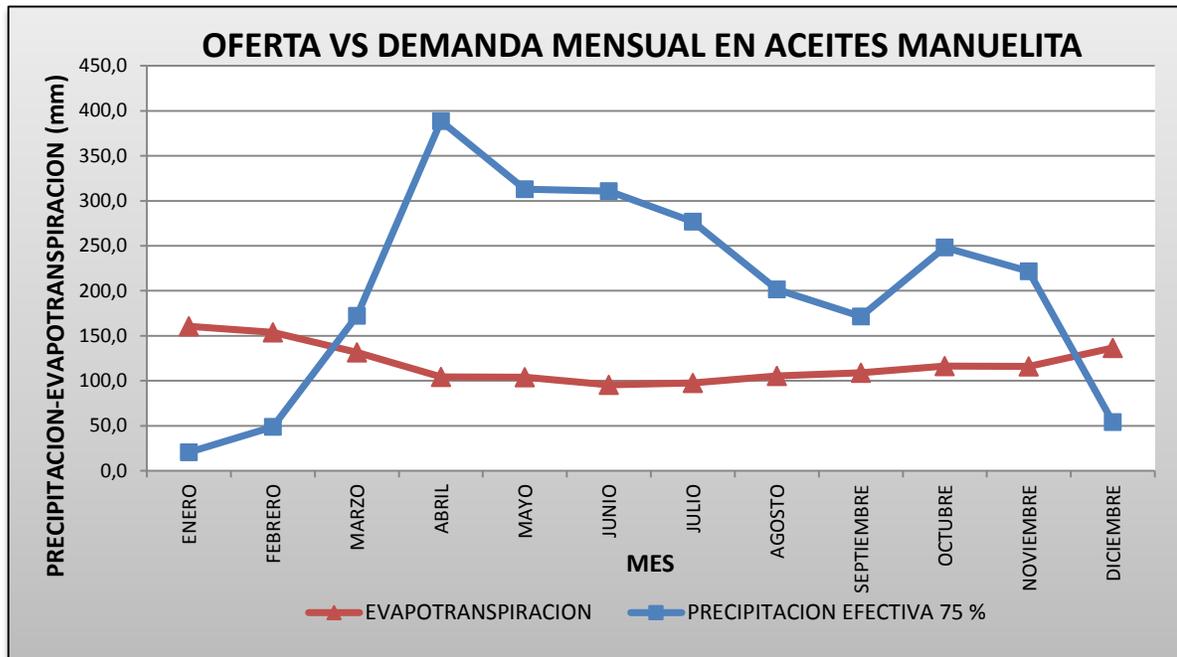


Figura 4. Balance hídrico en Aceites Manuelita. Según balance hídrico con datos de ET y una precipitación con probabilidad del 75%.

Como se observa, con una probabilidad del 75%, en los meses de diciembre a marzo se hace necesaria la aplicación de riego para complementar la precipitación. Para los efectos del estudio, se consideró necesario realizar un balance hídrico agrícola con datos diarios para el periodo de 2000 a 2013.

#### 2.1.4. Balance Hídrico Diario

Es una excelente herramienta para programar de manera eficiente y oportuna la aplicación de riego. Además, sirve para programar la aplicación de fertilizantes y otras labores del cultivo que requieran la utilización de maquinaria. También permite identificar claramente diferencias en regímenes de humedad del suelo entre zonas, elemento importante para generar explicaciones de comportamientos diferenciales de producción.

Para su realización se requiere conocer la capacidad de almacenamiento del suelo; la cual está en función de su capacidad de retención de humedad, punto crítico de tensión, la

densidad aparente y la profundidad radicular. Igualmente es importante disponer de la precipitación y la evapotranspiración a nivel diario.

Para el caso de la presente consultoría, se realizó el balance hídrico con datos diarios del periodo comprendido entre 2000 y 2013. Para el caso de la precipitación se determinó la precipitación efectiva de acuerdo a fórmulas desarrolladas para tal fin. **La capacidad de almacenamiento de agua en el suelo rápidamente aprovechable (LARA), fue tomada de estudios realizados anteriormente con un valor de 55 mm.**

Los resultados del balance hídrico diario (acumulado) para periodos mensuales de la última década se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 1. Balance hídrico promedio diario acumulado en meses para el periodo comprendido entre 2000 y 2013.

Mes	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	Total General	Promedio
Enero	-150,83	-180,32	-111,35	-200,80	-167,88	-151,70	-143,80	-189,43	-191,35	-81,75	-173,40	-138,50	-177,30	-149,70	-2208,09	-157,72
Febrero	-137,55	-181,65	-159,04	-159,17	-139,50	-127,57	-103,60	-188,02	-153,03	-135,55	-126,45	-92,60	-142,01	-119,10	-1964,85	-140,35
Marzo	-110,23	-79,50	-86,35	-63,15	-27,08	-105,20	-18,95	-81,33	-168,83	-86,50	-3,90	0,00	-5,05	-49,75	-885,80	-63,27
Abril	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-6,20	0,00	0,00	-43,83	0,00	0,00	0,00	0,00	-3,57	-53,59	-3,83
Mayo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-9,95	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-9,95	-0,71
Junio	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Julio	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Agosto	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Septiembre	0,00	0,00	0,00	0,00	-13,30	-17,88	0,00	0,00	-26,70	-12,65	0,00	0,00	0,00	0,00	-70,53	-5,04
Octubre	0,00	0,00	-14,10	0,00	-5,45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-19,55	-1,40
Noviembre	0,00	0,00	-19,43	0,00	0,00	0,00	0,00	-9,40	0,00	-86,43	0,00	0,00	-15,50	0,00	-130,75	-9,34
Diciembre	-55,60	-7,20	-137,63	-45,98	-11,60	-153,58	-115,30	-118,80	-69,19	-178,85	-98,05	-47,70	-124,06	-74,70	-1238,23	-88,45
<b>Total general</b>	<b>-454,20</b>	<b>-448,67</b>	<b>-527,90</b>	<b>-469,10</b>	<b>-364,80</b>	<b>-562,12</b>	<b>-391,60</b>	<b>-586,97</b>	<b>-652,92</b>	<b>-581,73</b>	<b>-401,80</b>	<b>-278,80</b>	<b>-463,92</b>	<b>-396,82</b>	<b>-6581,35</b>	<b>-470,10</b>
<b>Total déficit Época crítica (Diciembre a Marzo)</b>	<b>-454,20</b>	<b>-448,67</b>	<b>-494,37</b>	<b>-469,10</b>	<b>-346,05</b>	<b>-538,05</b>	<b>-381,65</b>	<b>-577,57</b>	<b>-582,39</b>	<b>-482,65</b>	<b>-401,80</b>	<b>-278,80</b>	<b>-448,42</b>	<b>-393,25</b>	<b>-6296,98</b>	<b>-449,78</b>

De la tabla anterior se puede observar que el déficit hídrico promedio anual es de **470,1 mm**. Sin embargo se puede destacar que existen años como el 2008 en donde el déficit alcanzó a ser de **582,4 mm** para el periodo seco y **653 mm** para todo el año. Igualmente se observa que el mes de enero es el que históricamente tiene los mayores requerimientos con un valor promedio de **157,7 mm**.

### 2.1.5. Necesidades netas

El valor de **157,7 mm/mes**, es el valor que determina el caudal máximo requerido por el cultivo. Su forma de cálculo es como sigue:

$$Nn = \frac{157,7mm}{mes} * \frac{10m^3 / ha}{1mm} * \frac{1mes}{30dias} * \frac{1dia}{24h} * \frac{1h}{3600s} * \frac{1000l}{1m^3}$$

$$\Rightarrow Nn = 0.6084l / s / ha$$

Es decir que para satisfacer los requerimientos hídricos de las aproximadas **6385 Ha** en el mes más crítico, se debe contar con suministro neto permanente de **3884,7 l/s**. Este valor al ser neto, no contempla la eficiencia del sistema e indica un suministro las 24 horas del día.

La siguiente tabla muestra los requerimientos medios mensuales de agua en términos de volumen y caudal para un área total irrigable de 6385 Ha.

Tabla 2. Requerimientos netos de agua para Aceites Manuelita en los diferentes meses del periodo seco. Datos para un flujo constante de 24 horas al día, todos los días del mes.

Mes	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Total
Déficit (mm)	88,45	157,72	140,35	63,27	449,79
Área de Riego (Ha)	6385	6385	6385	6385	6385
Volumen requerido (m3/mes)	5.647.532,5	10.070.422,0	8.961.347,5	4.039.789,5	28.719.091,5
Caudal requerido (m3/S)	2,2	3,9	3,5	1,6	N.A

De la tabla se observa que para el mes más crítico (enero), los requerimientos de agua netos son de **10,07** millones de metros cúbicos, volumen que equivale a un caudal constante de **3900 l/s**. Para calcular los requerimientos brutos, es necesario conocer la eficiencia del sistema de riego como se presentará más adelante.

#### **2.1.6. Disponibilidad del recurso hídrico**

Una vez conocidos los requerimientos máximos de caudal para la plantación Aceites Manuelita, es necesario cuantificar el recurso disponible para satisfacer tales requerimientos.

Las fuentes de agua de la plantación, los constituyen los Ríos Acacias y Guayuriba; caños de gran importancia como lo son: caño Piedras, Chichimene, Chipa, además de otros caños menores que se encuentran en la plantación. Todos estos caños desembocan en los Ríos Acacias y Guayuriba aguas abajo.

### 2.1.6.1. Ríos Acacias y Guayuriba

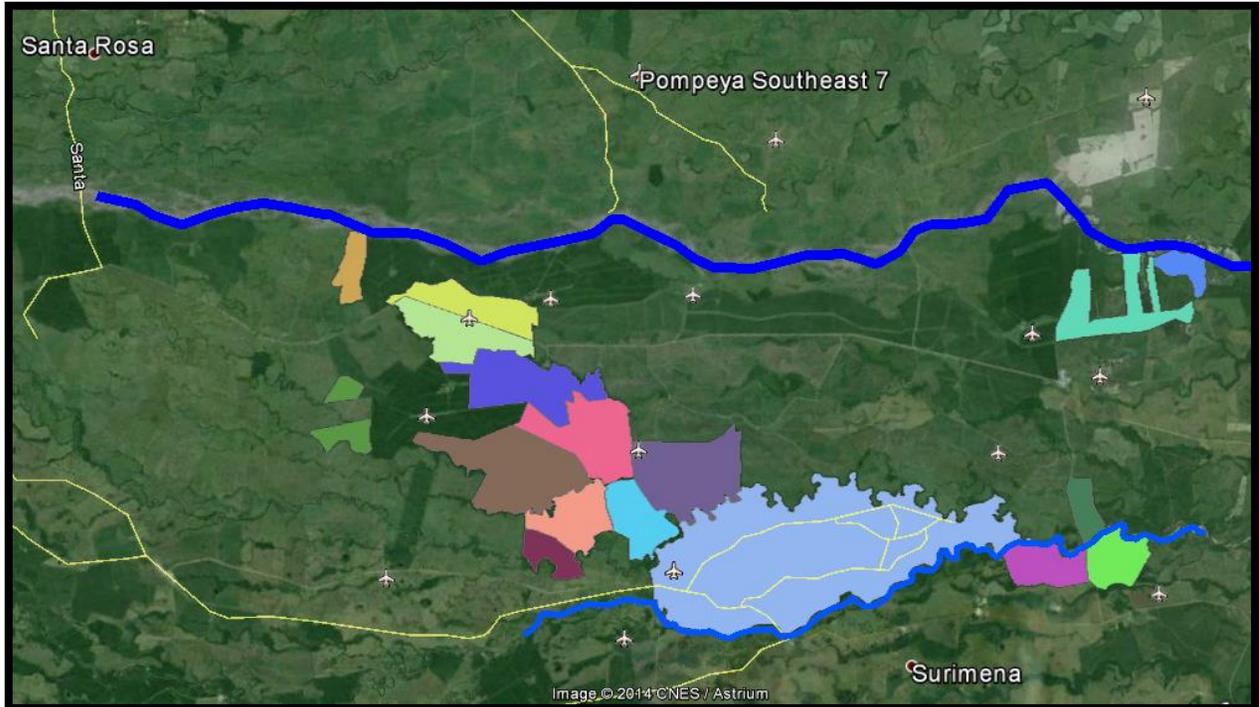


Figura 5. Planimetría general del predio y de los ríos Acacias y Guayuriba.



Figura 6: Rio Guayuriba

Los Ríos Acacias y Guayuriba son la principal fuente de agua de la plantación. El Río Guayuriba nace en la Cordillera Oriental, cuyo material geológico está conformado por

lutitas, pizarras y esquistos cloríticos, características unidas a los procesos actuales de escurrimiento difuso, movimientos en masa y desprendimiento de rocas provocan una mayor degradación, que la convierte en una cuenca erosionada. Las características hidrométricas observadas durante un año dan los siguientes resultados: caudal máximo aproximado **731 m<sup>3</sup>/s**, mínimo **30 m<sup>3</sup>/s** y medio **150 m<sup>3</sup>/s**. Este Río sirve de límite con Villavicencio pasando por Loma de San Juan, Loma del Pañuelo, El Rosario, Las Margaritas, San Cayetano, y San José de las Palomas principalmente. Es el río más importante del sector y se forma de dos afluentes principales, el Río Blanco que nace en el cerro de Paila y el Río Negro que nace en el páramo Chamizal. El río confluye a 6 Km. Aguas abajo de la población Rincón de Pajure. El suelo que acompaña estas zonas es altamente permeable y con poca retención de humedad. El cual se ubica en la figura 5 al costado norte de la plantación.



Figura 7. Fuente de Abastecimiento Rio Acacias

Los suelos poseen moderadamente bajo potencial de escurrimiento. La condición hidrológica de la cuenca es regular, el porcentaje de cubrimiento de bosques es menor del 50% del área. La distribución por áreas del uso la cuenca contaba con: 30% de bosques,

55% de Pasto, 10% de matorrales y 5% de cultivos, El flujo base, es decir el caudal que permanece en la corriente durante la época de estiaje es 0.3 m<sup>3</sup>/s. ubicado en la figura 5 sobre el costado sur de la plantación.

### Concesión de Aguas

Durante el mes de abril del 2000 y el mes marzo de 2007, mediante resolución, Cormacarena asignó a la plantación un caudal determinado en función de su área y sus captaciones. Los valores son presentados en la siguiente tabla:

Tabla 3. Especificaciones técnicas y legales de las concesiones con que cuenta la plantación Aceites Manuelita.

Concesión	Caudal (l/s)	Resolución	Fecha Expedición
MANURIBA	1645	2.607.0135	07/03/2007
POTOSI	3931	259	14/04/2000
<b>Total</b>	<b>5576</b>		

De lo observado en campo, y como se verá mas adelante, **los caudales que ingresan por las captaciones, son inferiores a los concesionados.**

Igualmente, durante el periodo del 12 al 20 de marzo, fueron determinados los caudales en algunos caños que atraviesan la plantación y que no hacen parte de las concesiones de agua del predio. Estos pueden ser una alternativa adicional para suministro de agua para el predio. A continuación se hace una descripción de los mismos y se resumen los caudales determinados

### 2.1.6.2 Caño Piedras

El caño piedras, ubicado sobre la margen oeste de la plantación, se convierte en una importante fuente de suministro de agua para los predios de Bolivia y Ponderosa. Este caño posee una ubicación topográfica que permite su captación directa mediante estructuras hidráulicas. Por su naturaleza no posee un caudal concesionado pero si fue aforado para el estudio.

### 2.1.6.3. Caño Chipa

El caño chipa es un caño de buen caudal durante gran parte de la época seca y está utilizado para regar parte de la zona Este de la plantación. Utilizan su agua con estructuras retenedoras de flujo como los trinchos para su desvío y almacenamiento.

### 2.1.6.4. Caño Chichimene

El caño Chichimene es de gran caudal ya que el brazo de la bocatoma en el predio Potosí es descargado a éste y de nuevo captado en el bloque 30 a la altura del lote 1, permitiendo así que riegue toda la zona sur de la plantación.

Tabla 4. Resumen de caudales disponibles en los caños que atraviesan la plantación.

<b>FUENTES DE AGUA INTERNAS EN LA PLANTACION</b>	
<b>BOCATOMA</b>	<b>CAUDAL (l/s)</b>
San Isidro	222,80
Bonanza	321,00
Ponderosa (Caño Piedras)	407,53
Samaria	162,87
Siberia	508,34

San Miguel-Manacacias	404,16
<b>Total</b>	<b>2026,7</b>

Lo anterior muestra que de cumplirse la asignación de caudal concesionada y se logre mantener la captación de los caudales determinados sobre los caños, se contaría con un caudal total de **7602,7 L/s**. Este valor sería suficiente para satisfacer los requerimientos netos de **3885 l/s** de las **6385 Ha** de la plantación. Sin embargo, se sabe que este requerimiento debe afectarse por la eficiencia del uso del agua para determinar el requerimiento bruto. Esto se verá más adelante.

## **2.2. Evaluación de la infraestructura de captación.**

En el mes de marzo se realizaron aforos en las dos bocatomas de la plantación. El caudal total encontrado fue de **2.2 m<sup>3</sup>/s, 3,37 m<sup>3</sup>/s** inferior a lo concesionado. Igualmente se analizó la información suministrada por la plantación en cuanto a sus registros de caudales en las bocatomas concesionadas, contando con registros desde el 2009.

### **2.2.1. Bocatoma Potosí**

Esta Bocatoma, con un caudal adjudicado de **3931 l/s**, se encuentra ubicada en las coordenadas N 4°00'09.00" y W 73°33'04.20".

Cuenta con una captación de tipo lateral y debido a que no posee tanque desarenador, posee una permanente sedimentación a causa de las arenas que son transportadas por el Río. Esto hace que de igual manera, se requiera un permanente proceso de limpieza tanto en la bocatoma como en algunos tramos de la conducción (Figura. 8).



Figura 8. Izquierda: entrada lateral del canal hacia la bocatoma. Derecha: Bocatoma predio Potosí

Se destaca que esta posee un sistema de operación manual, y aunque no es fácil el aforo del caudal de ingreso, las obras actuales para la regulación de la captación funcionan adecuadamente y tienen la capacidad suficiente para captar un caudal mayor al concesionado siempre y cuando los niveles del río lo permitan.

### **2.2.2. Bocatoma Manuriba**

Bocatoma de derivación lateral con caudal concesionado de **1645 l/s**, ubicada en las coordenadas N 03°58'34.16", W 73°34'36.31"



Figura 9. Entrada Lateral y Bocatoma Manuriba

Esta Bocatoma tiene varias bifurcación a la altura de las fincas Nusantara y Vega Rica con el propósito de regar toda la zona Noroeste de la plantación.

### **2.3 Evaluación de la infraestructura de distribución y reparto.**

La infraestructura general de conducción para el riego en la plantación Aceites Manuelita está compuesta por una red canales abiertos sin revestimiento, heredados de otras actividades como el arroz y acondicionados para palma a través de varios años. Estas instalaciones están conformadas por una red de canales primarios y secundarios, sobre las cuales existen obras de distribución tales como trinchos y compuertas que permiten la repartición en toda la plantación por medio de recorredoras de riego hacia los diferentes lotes.

### **2.4. Evaluación de eficiencia en la conducción.**

Debido a la extensión de la plantación, la naturaleza de la consultoría y a la complejidad de la red de riego, que está compuesta por diferentes captaciones y cada una de estas genera un sistema de distribución, se determinó evaluar la eficiencia en la conducción del

sistema más representativo de la plantación. Para ello se trabajó con los técnicos, sobre la identificación de las áreas de influencia de cada uno de los sistemas de distribución.

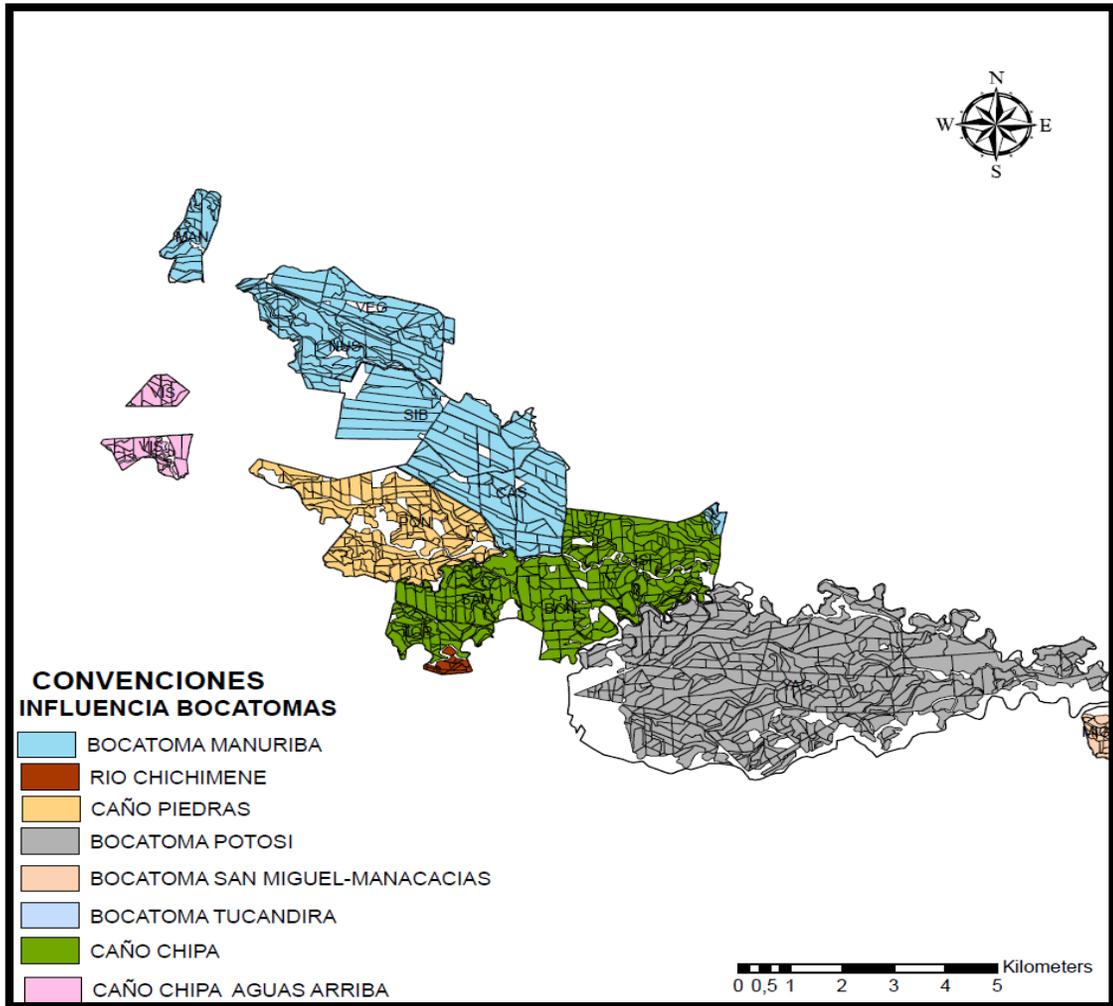


Figura 10: Áreas de influencia de los diferentes sistemas de distribución

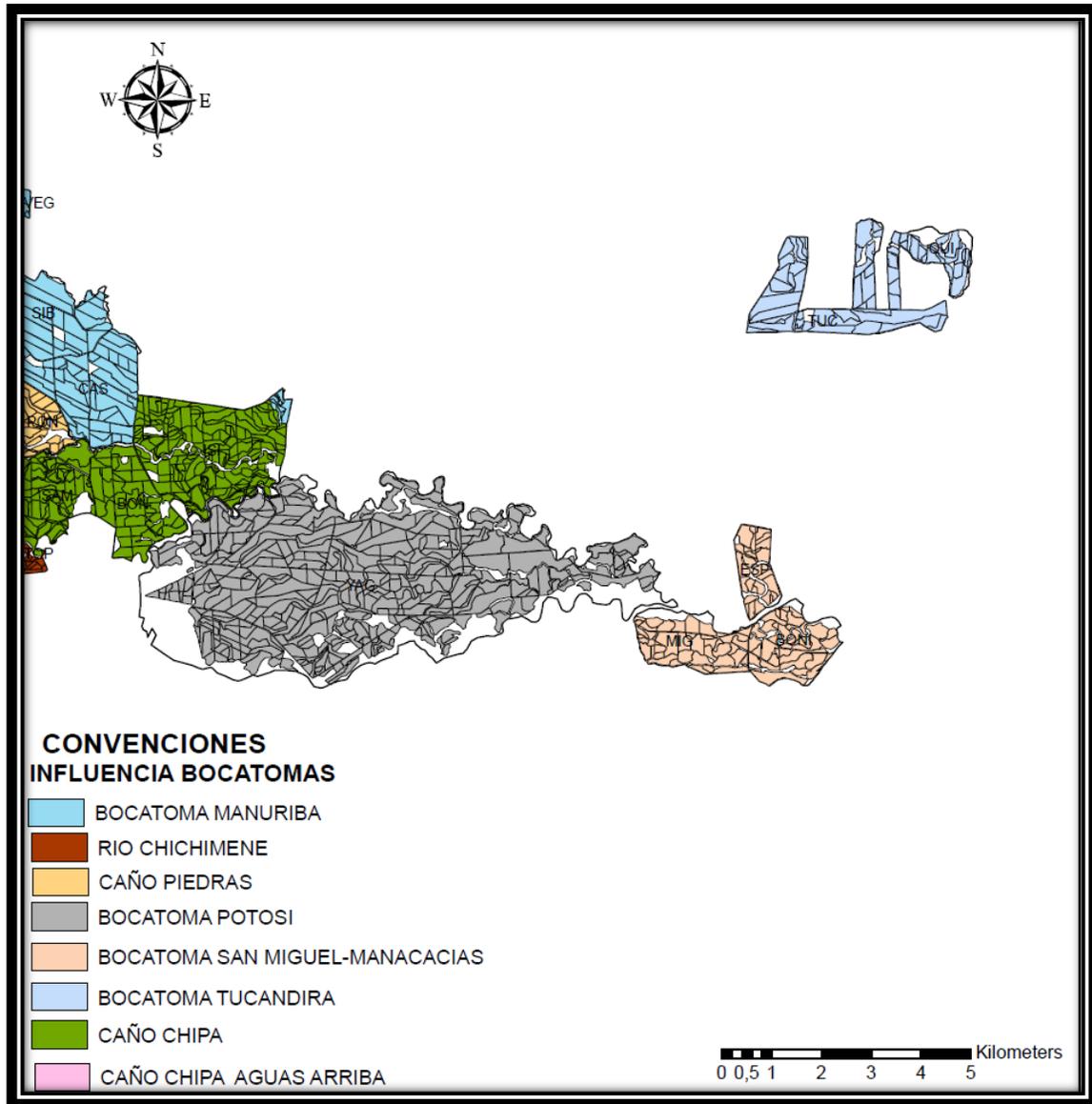


Figura 11: Áreas de influencia de los diferentes sistemas de distribución.

En las figuras 10 y 11 se observa que las bocatomas Potosí y Manuriba, que son las bocatomas reglamentadas por Cormacarena, benefician aproximadamente el 50% del área. Igualmente la bocatoma sobre el caño Chipa se puede considerar de gran importancia por el número de hectáreas que beneficia. De esta manera, se determinó evaluar la eficiencia de conducción de los canales con más trayectoria de cada una de las bocatomas.

La metodología para evaluar la eficiencia de la conducción consistió en realizar aforos con flotador al inicio y al final de cada tramo de canal y posteriormente mediante el cálculo de pérdida de caudal determinar la eficiencia. La longitud máxima de los tramos estuvo limitado por las bifurcaciones y entregas al mismo, es decir que se tuvo en cuenta que las pérdidas de caudal estuvieran asociadas únicamente a la conducción. En la siguiente figura se ilustran los tramos del canal primario de la bocatoma Potosí, así como de la bocatoma Manuriba y finalmente de las bocatomas de los caños de gran importancia pero que no son concesionadas.

#### 2.4.1 Determinación Eficiencia Bocatoma Potosí

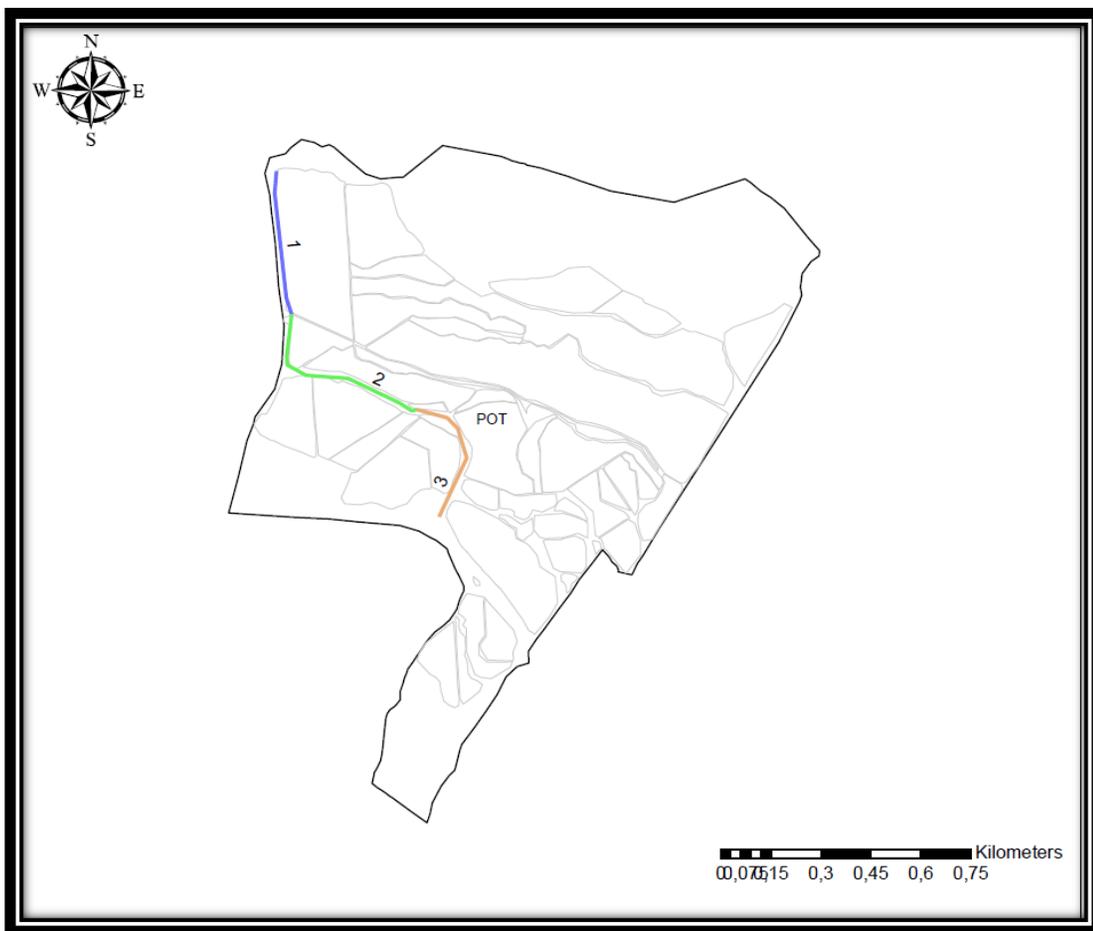


Figura 12: Tramos Evaluados Bocatoma Potosí.

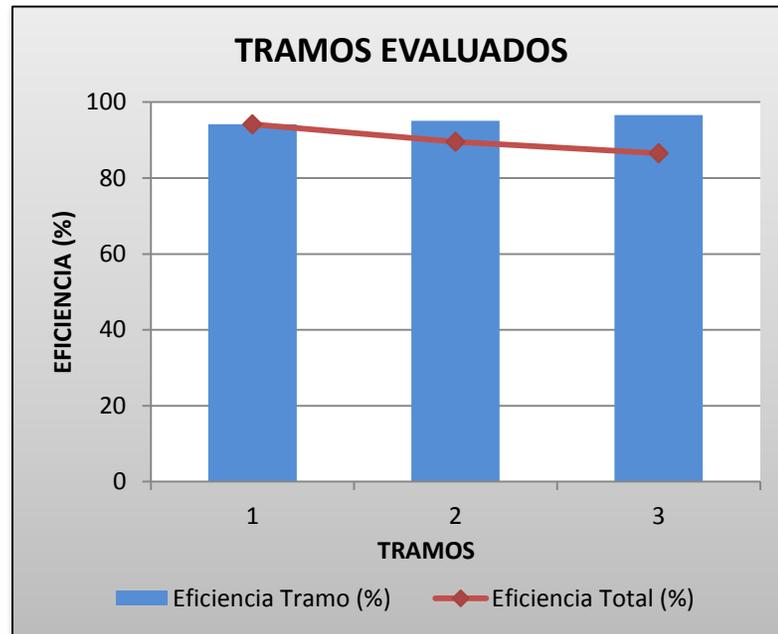


Figura13. Eficiencia de los Tramos Evaluados Bocatoma Potosí.

Tabla 5: Pérdidas totales en conducción de la Bocatoma Potosí.

Tipo de conducción	Longitud Total de Conducción (m)	Pérdidas Totales (%)	Pérdidas por km de canal (%)
Primaria	1459,12	13,489	9,24

De la figura 13 y la tabla 4 se determina que la eficiencia total de conducción es del **86.51%**, valor que puede dar un indicio de los principales problemas de la plantación, ya que es un tramo demasiado corto y una pérdida relativamente grande, pues indica que **13.5%** del agua captada se pierde antes de llegar a las parcelas. Igualmente, el ejercicio permite contar con información para analizar con mayor detalle e identificar los tramos en los cuales las pérdidas son más considerables. El indicador de pérdidas muestra que en promedio se pierde el **9.24%** del agua transportada por cada kilómetro de conducción.

### 2.4.2 Determinación Eficiencia Bocatoma Potosí - Yaguarito (Brazo Chichimene)

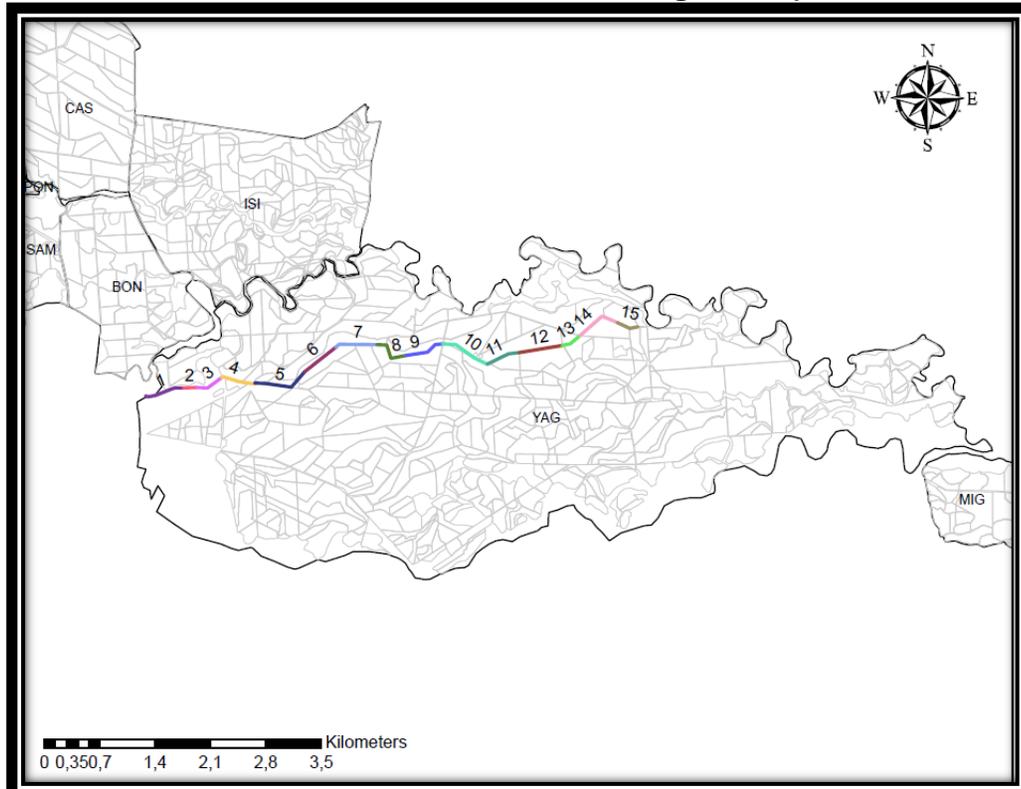


Figura 14. Tramos Evaluados Bocatoma Potosí - Yaguarito (Brazo Chichimene).

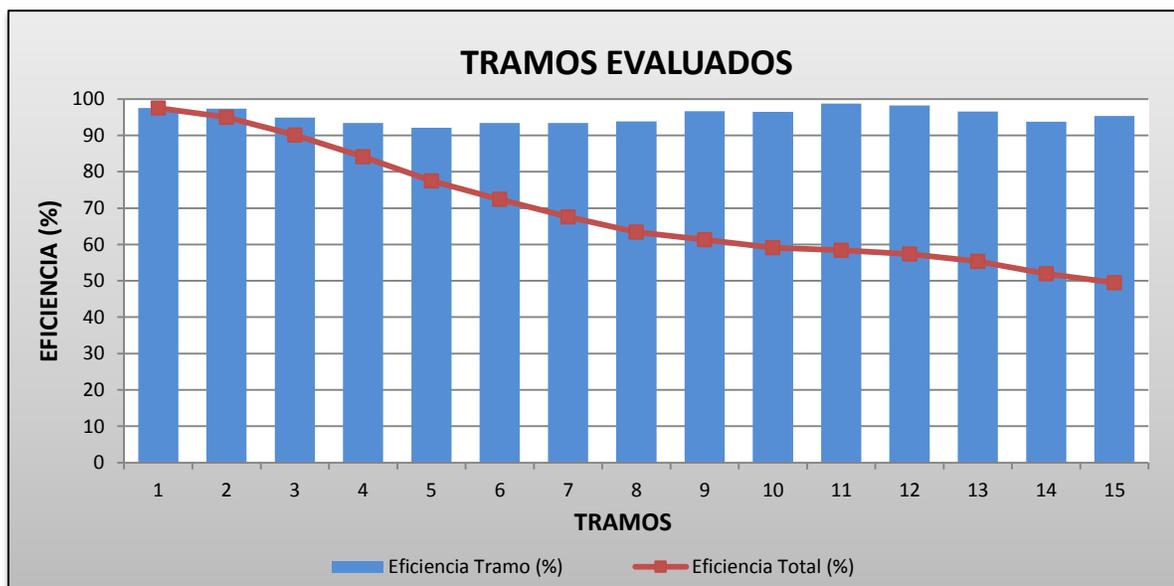


Figura 15. Eficiencia de los Tramos Evaluados Bocatoma Potosí - Yaguarito (Brazo Chichimene).

Tabla 6: Pérdidas totales en conducción de la Bocatoma Potosí - Yaguarito (Brazo Chichimene).

Tipo de conducción	Longitud Total de Conducción (m)	Pérdidas Totales (%)	Pérdidas km de canal (%)
Primaria	6966,45	50,497	7,25

De la figura y tabla anterior se determina una eficiencia total de conducción del **49,5 %**. Se destaca que esta conducción posee unas pérdidas unitarias de **7,25%** por cada kilómetro de conducción.

### 2.4.3 Determinación Eficiencia Bocatoma Potosí (brazo del Acacias)

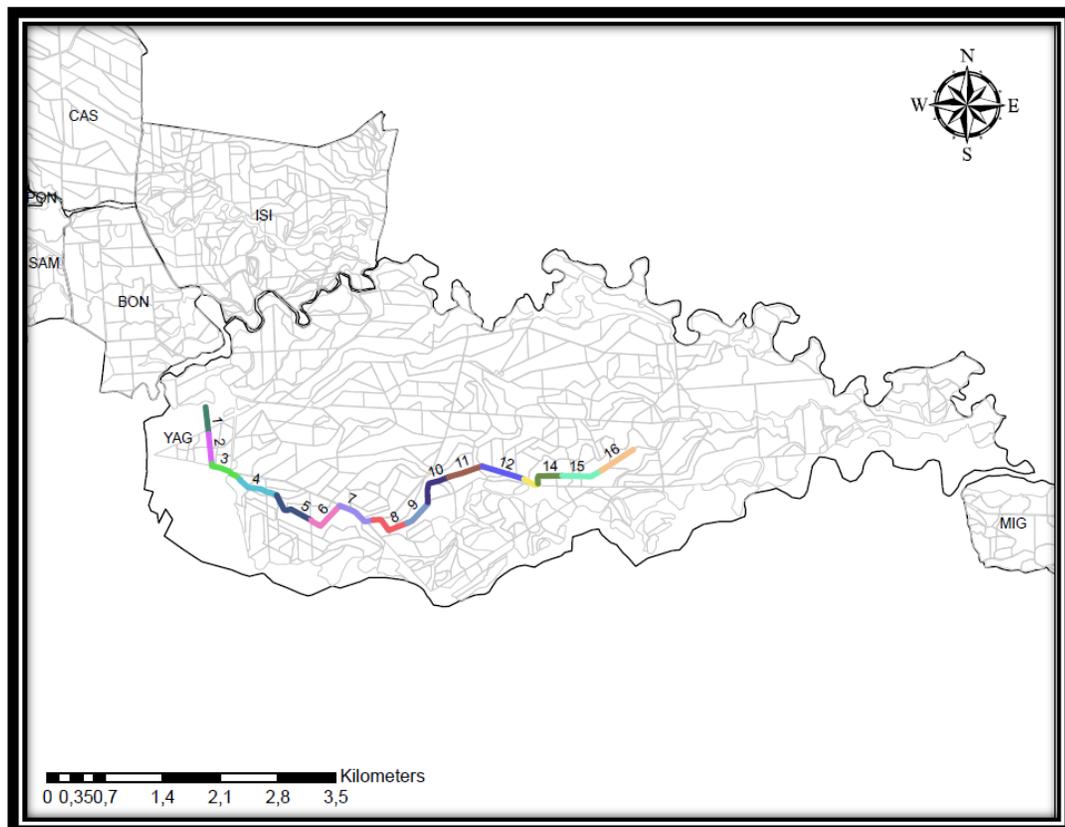


Figura 16: Tramos Evaluados Bocatoma Potosí (brazo del Acacias).

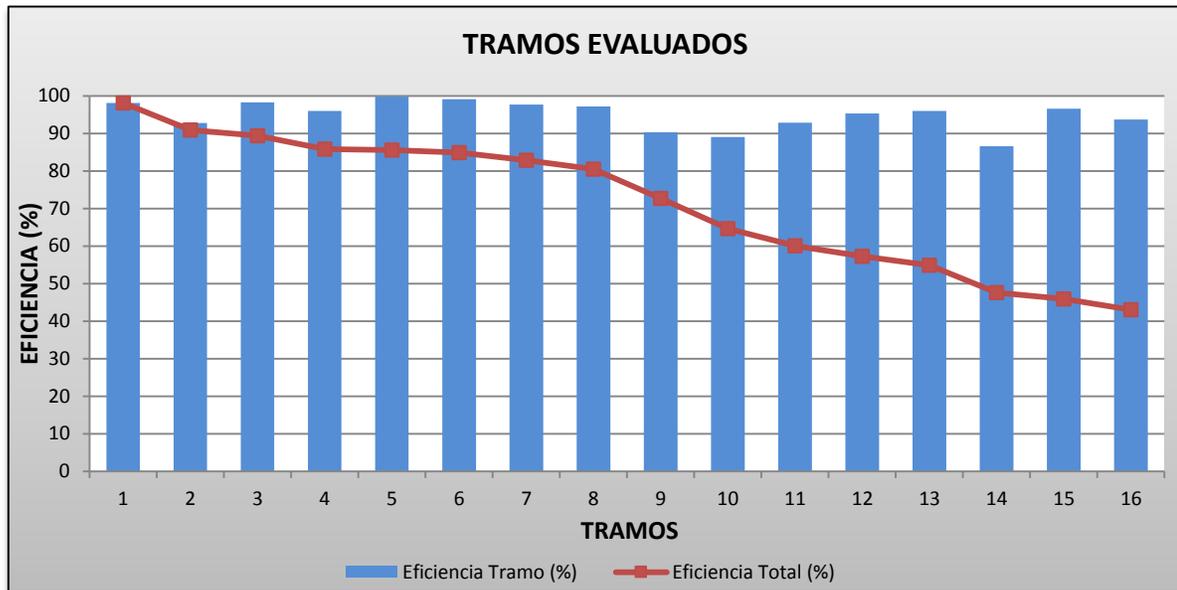


Figura17: Eficiencia de los Tramos Evaluados Bocatoma Potosí (brazo del Acacias).

Tabla 7: Pérdidas totales en conducción de la Bocatoma Potosí (brazo del Acacias).

Tipo de conducción	Longitud Total de Conducción (m)	Pérdidas Totales (%)	Pérdidas km de canal (%)
Primaria	6962,98	56,949	8,18

De la figura y tabla anterior se determina una eficiencia total de conducción del **43.05%**. Se destaca que esta conducción posee unas pérdidas unitarias de **8.18%** por cada kilómetro de conducción.

De los resultados anteriores se destacan unas condiciones de eficiencia unitaria similares para los canales correspondientes a cada una de las bocatomas de la concesión Potosí, lo cual puede ser debido a alguna similitud de condiciones edáficas e hidráulicas. Al respecto, se recomienda profundizar en el estudio de este tema a fin de identificar los puntos o tramos de canal en donde se presentan las mayores pérdidas, dando prioridad a los canales correspondientes del predio Yaguarito. Es posible que por la distancia en la cual se realizaron los aforos, se hayan disfrazado las zonas más críticas dentro del promedio general de pérdidas.

#### 2.4.4. Determinación Eficiencia Bocatoma San Isidro (Caño Chipa).

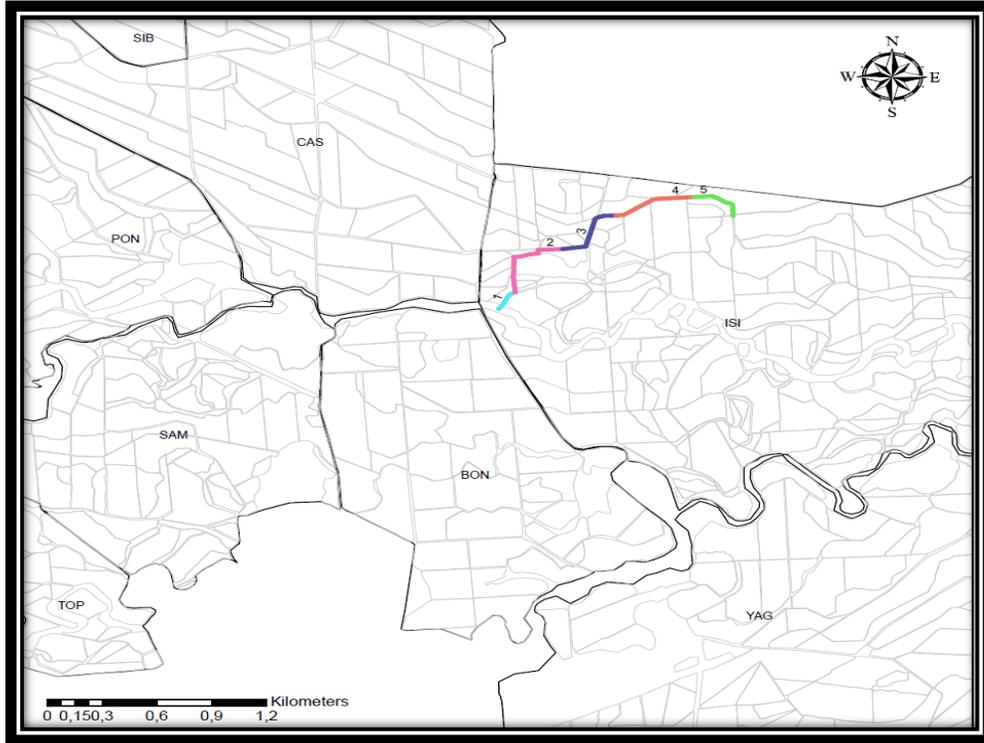


Figura 18: Tramos Evaluados Bocatoma San Isidro (Caño Chipa).

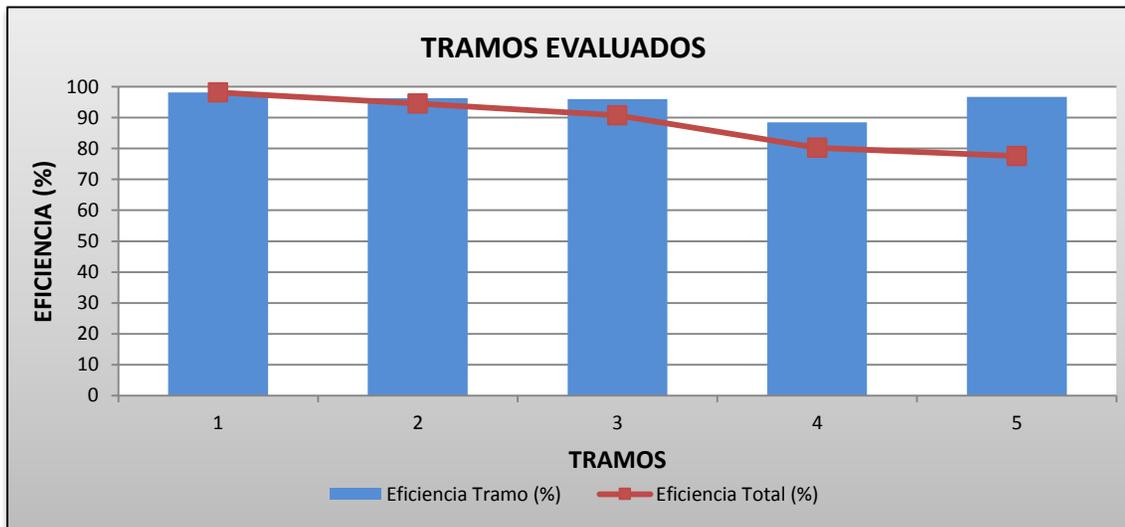


Figura 19: Eficiencia de los Tramos Evaluados Bocatoma San Isidro (Caño Chipa).

Tabla 8. Pérdidas totales en conducción de la Bocatoma San Isidro (Caño Chipa).

Tipo de conducción	Longitud Total de Conducción (m)	Pérdidas Totales (%)	Pérdidas km de canal (%)
Primaria	1920,10	22,418	11,68

De la figura y tabla anterior se determina una eficiencia total de conducción del **77.58%**. Se destaca que esta conducción posee unas pérdidas unitarias de **11.68%** por cada kilómetro de conducción.

#### 2.4.5. Determinación Eficiencia Bocatoma Bonanza (Caño Chipa).

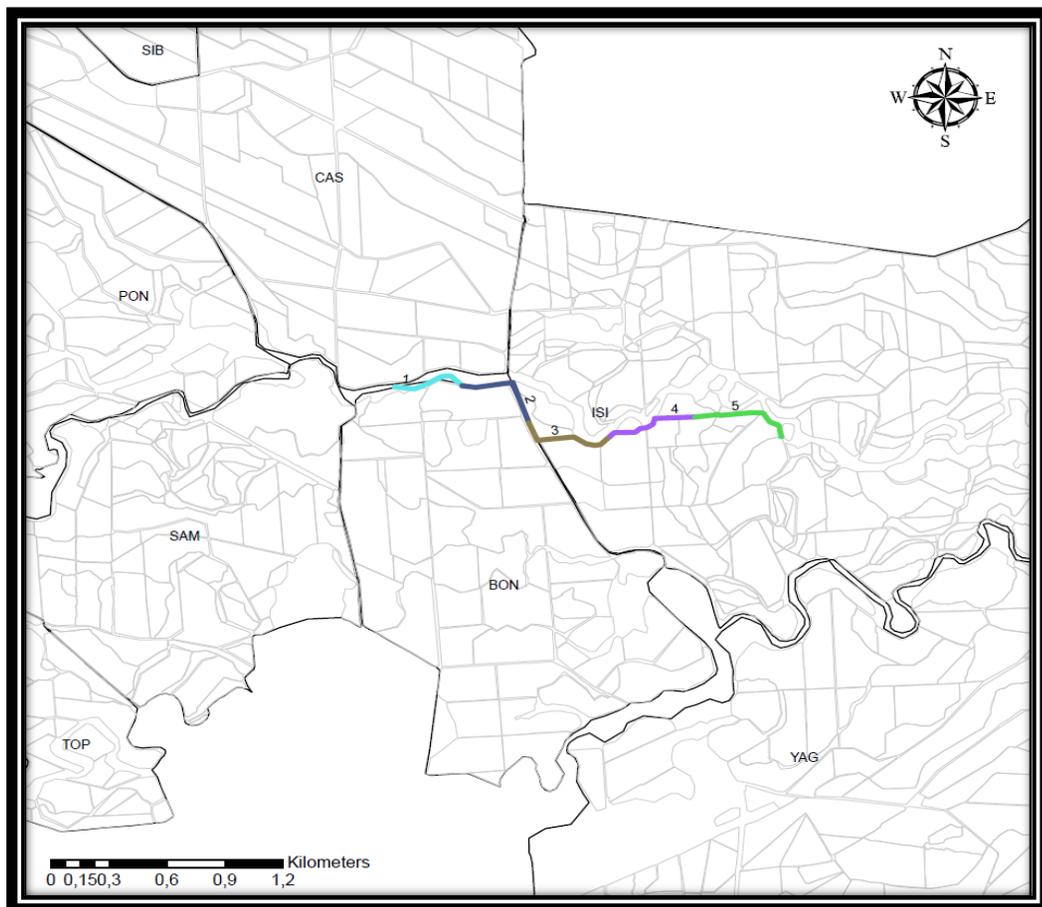


Figura 20: Tramos Evaluados Bocatoma Bonanza (Caño Chipa).

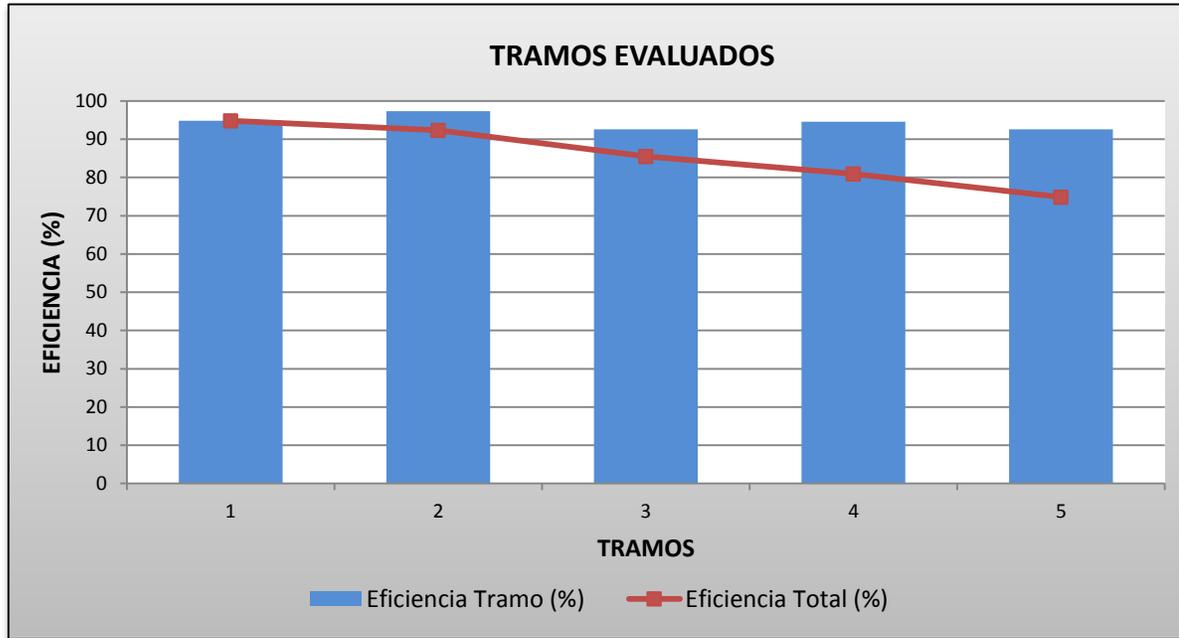


Figura 21: Eficiencia de los Tramos Evaluados Bocatoma Bonanza (Caño Chipa).

Tabla 9: Pérdidas totales en conducción de la Bocatoma Bonanza (Caño Chipa).

Tipo de conducción	Longitud Total de Conducción (m)	Pérdidas Totales (%)	Pérdidas km de canal (%)
Primaria	2439,52	25,093	10,29

De la figura y tabla anterior se determina una eficiencia total de conducción del **74.9%**. Se destaca que esta conducción posee unas pérdidas unitarias de **10.29%** por cada kilómetro de conducción.

### 2.4.6. Determinación Eficiencia Bocatoma Bolivia - Ponderosa (Caño Piedras).

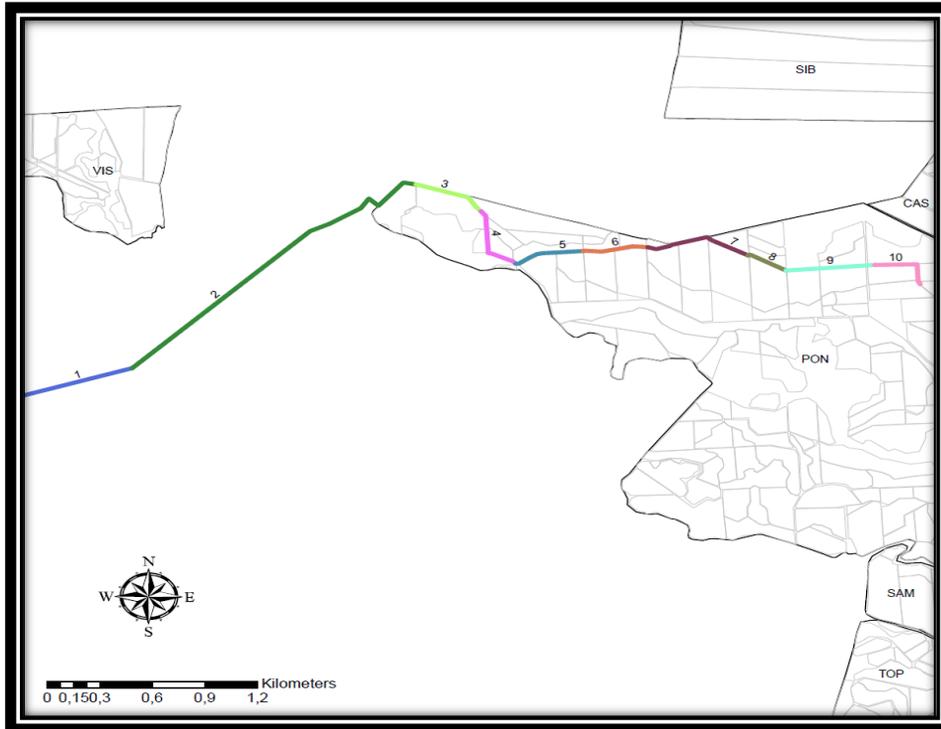


Figura 22: Tramos Evaluados Bocatoma Bolivia-Ponderosa (Caño Piedras).

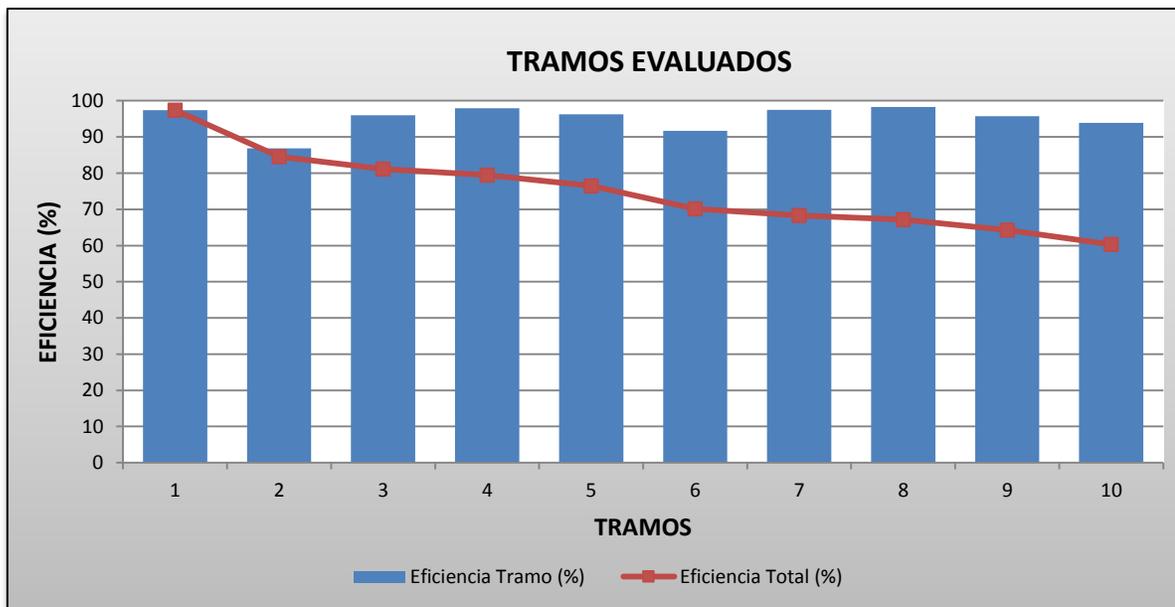


Figura 23: Eficiencia de los Tramos Evaluados Bocatoma Bolivia-Ponderosa (Caño Piedras).

Tabla 10: Pérdidas totales en conducción de la Bocatoma Bolivia-Ponderosa (Caño Piedras).

Tipo de conducción	Longitud Total de Conducción (m)	Pérdidas Totales (%)	Pérdidas km de canal (%)
Primaria	6354,77	39,671	6,24

De la figura y tabla anterior se determina una eficiencia total de conducción del **60.33%**. Se destaca que esta conducción posee unas pérdidas unitarias de **6.24%** por cada kilómetro de conducción.

#### 2.4.7. Determinación Eficiencia Bocatoma Siberia

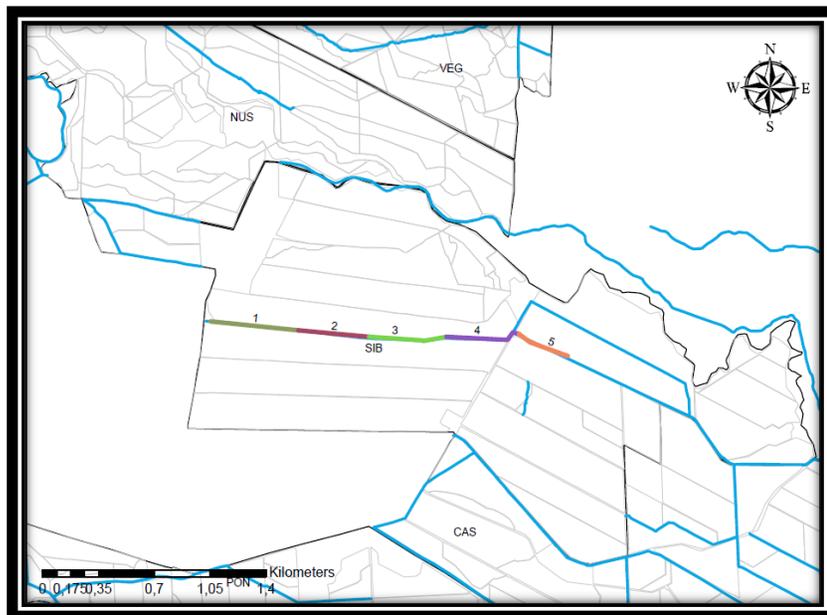


Figura 24: Tramos Evaluados Bocatoma Siberia.

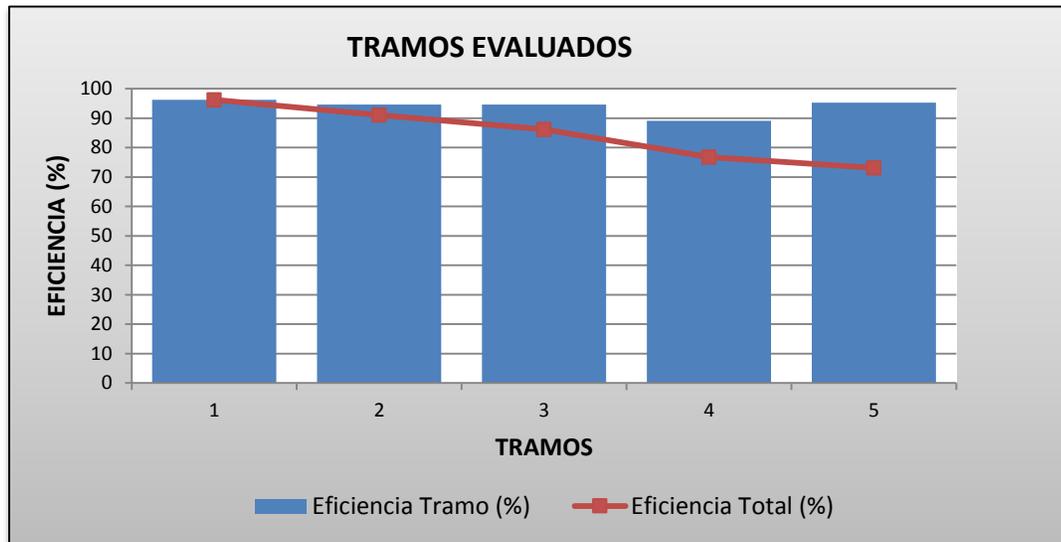


Figura 25: Eficiencia de los Tramos Evaluados Bocatoma Siberia.

Tabla 11: Pérdidas totales en conducción de la Bocatoma Siberia.

Tipo de conducción	Longitud Total de Conducción (m)	Pérdidas Totales (%)	Pérdidas km de canal (%)
Primaria	2305,73	26,889	11,66

De la figura y tabla anterior se determina una eficiencia total de conducción del **73.11%**. Se destaca que esta conducción posee unas pérdidas unitarias de **11.66%** por cada kilómetro de conducción.

### 2.4.8. Determinación Eficiencia Bocatoma San Miguel – Manacacias.

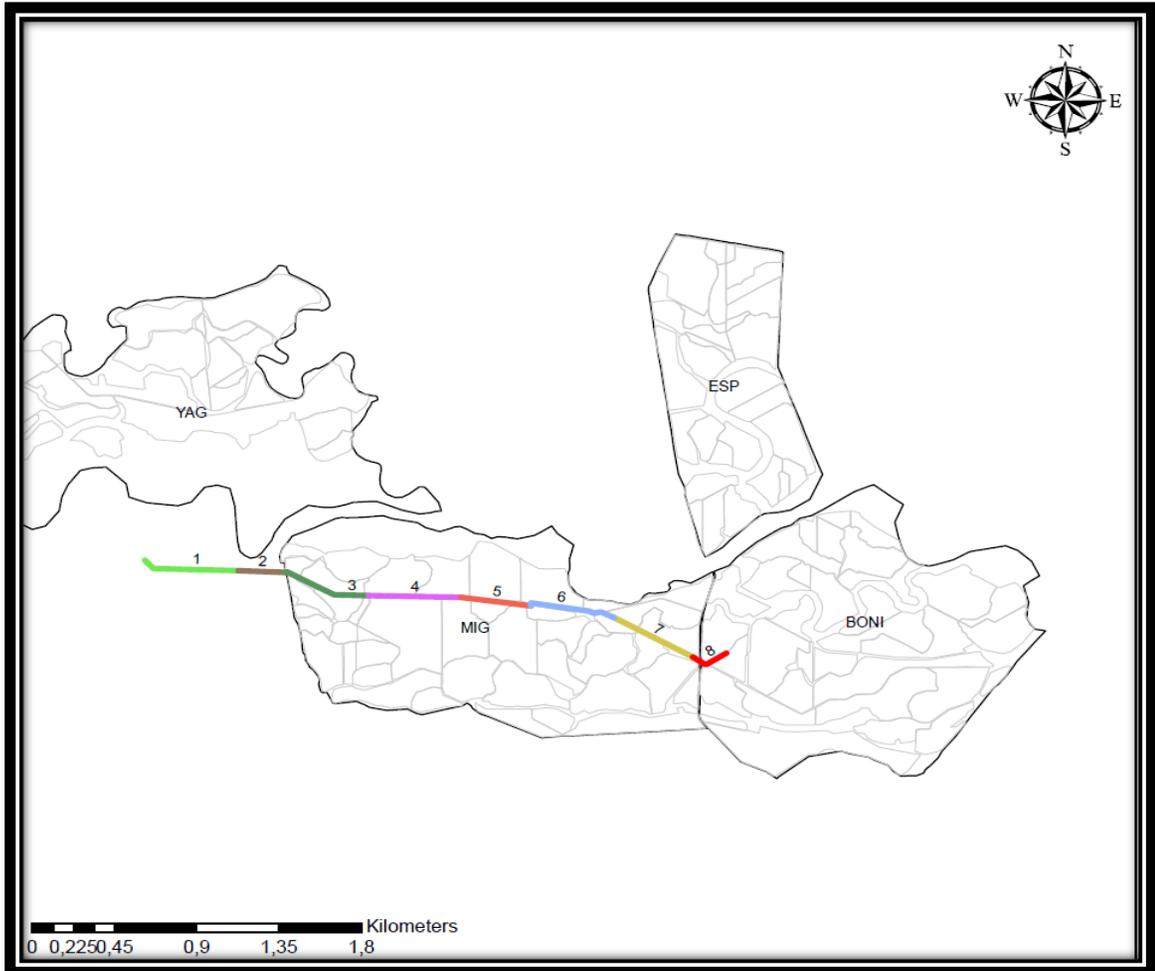


Figura 26: Tramos Evaluados Bocatoma San Miguel - Manacacias.

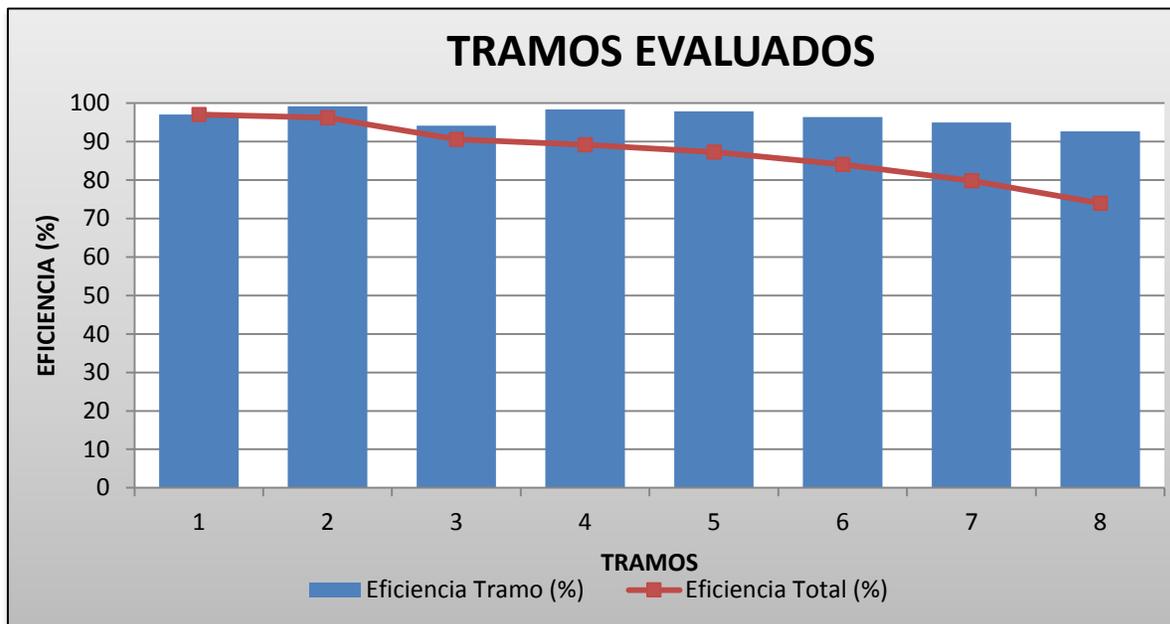


Figura 27: Eficiencia de los Tramos Evaluados Bocatoma San Miguel - Manacacias.

Tabla 12: Pérdidas totales en conducción de la Bocatoma San Miguel - Manacacias.

Tipo de conducción	Longitud Total de Conducción (m)	Pérdidas Totales (%)	Pérdidas km de canal (%)
Primaria	3363,78	26,005	7,73

De la figura y tabla anterior se determina una eficiencia total de conducción del **73.9%**. Se destaca que esta conducción posee unas pérdidas unitarias de **7.73%** por cada kilómetro de conducción.

Al analizar cada una de las bocatomas se puede concluir que las pérdidas por kilómetro en conducción en promedio para las diferentes partes de la plantación son del **7.5%**

#### 2.4.8. Determinación de aforo captación Bocatoma Manuriba.

Tabla 13: Aforo bocatoma Manuriba.

<b>Eficiencia de Uso de Captación Bocatoma Manuriba</b>			
Bocatoma	Concesión (l/s)	Aforo (l/s)	Diferencia (l/S)
Manuriba	1645	1000	645

En la bocatoma Manuriba no se realizó el aforo por tramos debido a que ya había finalizado la temporada de riego. Solo se aforó al nivel de apertura que esta tenía en la entrada.

#### 2.5. Evaluación de obras de conducción y distribución.

La metodología para esta actividad consistió en la observación general de obras importantes como: compuertas de control, partidores de caudal, puente canales, pasos de tubo, entre otras.

La evaluación permitió identificar una gran cantidad de infraestructura para el uso del agua que ha ido siendo construida y modificada de acuerdo al crecimiento de la plantación y en muchos casos adaptada de actividades agrícolas previas. En términos generales se encontró infraestructura en buen estado, pero también se observó el deterioro de ciertas obras, y un sub y sobre dimensionamiento de otras; asimismo se identificó la carencia de algunas estructuras que están siendo suplidas por obras de tipo artesanal. Las siguientes imágenes muestran algunos ejemplos de la infraestructura de la plantación. Se destaca que en un posterior estudio más detallado, se debe identificar, caracterizar y georreferenciar cada obra existente a fin de incluirlas dentro de un plan de optimización general de la infraestructura.



Figura 28: obras de conducción y distribución.



Figura 29. Obras de conducción y distribución.



Figura 30. Obras de conducción y distribución.

## 2.6. Infraestructura de aplicación del agua- Riego predial

Aceites Manuelita basó su adecuación inicial para realizar la aplicación del riego de forma superficial, siendo muy reconocido su diseño de la plantación, debido a que la orientación y tamaño de los lotes se hizo buscando que se favoreciera el movimiento del agua. **Se sabe que el diseño fue planteado para que se regara por surcos al lado de las líneas de palma y que el agua se derivara con sifones desde canales de riego ubicados en las partes altas de los lotes.**

Actualmente se observa que los surcos de riego han desaparecido, y los sifones no se volvieron a utilizar. El riego prácticamente se hace inundando los lotes desde las partes altas, con la ayuda de mangas de riego. El agua tiende a moverse desde la parte alta hacia la parte baja de los lotes pero sin ningún tipo de ayuda como surcos o melgas. El ingreso desde el canal de riego al lote se hace mediante la apertura de “bocanas” que no permiten cuantificar su caudal de ingreso.

### 2.6.1. Evaluación de la eficiencia de aplicación

Para este ítem se tomaron datos en campo en los lotes 180 y 235 y se comparó estudios realizados anteriormente por el ingeniero José Humberto Silva. En ese momento se caracterizaron el tipo de suelo, la textura y la lámina neta para algunos bloques. Eventos de riego a los cuales se les determinó el contenido de humedad en el suelo previo y posterior a la aplicación de riego, se aforó el caudal y tiempo de riego sobre los mismos y se cuantificó el área regada. Además se utilizó un estudio y clasificación de suelos aportado por Aceites Manuelita de años anteriores al 2000.

Para evaluar la eficiencia de aplicación del riego superficial, se caracterizó un evento de riego en el bloque 235 lotes 1 y el bloque 180 lotes 1 y 2. Se estimaron las necesidades de riego en el bloque 235; se tomaron muestras de suelo para determinar densidad aparente y contenido de humedad antes y después del riego y por último se realizaron aforos a las entradas del lote el caudal aplicado teniendo en cuenta el área regada y el tiempo de riego.

### 2.6.2. Estimación de las necesidades de riego en el bloque 235

#### **Cálculo de la capacidad de almacenamiento del suelo (LARA):**

Hace referencia a la cantidad máxima de agua que puede almacenar un suelo dentro del rango aprovechable para el cultivo, pues la planta es capaz de extraer agua desde la capacidad de campo hasta el punto de marchitez permanente. Para su cálculo, se necesita conocer la capacidad de retención de humedad del suelo entre capacidad de campo (CC) y punto de marchitez permanente (PMP), la densidad aparente del suelo y la profundidad a la cual se encuentra más del 60% de las raíces absorbentes de agua. Estos parámetros son integrados en la siguiente ecuación.

$$LARA = \left( \frac{CC - PMP}{100} \right) * Da * Pe$$

Donde,

LARA= Lámina de agua realmente aprovechable (cm)

CC= Capacidad de campo (% de humedad)

PMP= Punto de marchitez permanente (% de humedad)

Da= Densidad aparente del suelo (g/cm<sup>3</sup>)

Pe= Profundidad de raíces absorbentes o efectiva (cm)

Teniendo en cuenta la relativa homogeneidad en el espacio que presentan los suelos del bloque 235 en cuanto a textura, se tomaron los valores de retención de humedad a CC y PMP correspondientes a un suelo de textura franco-arenosa que es la textura predominante en los primeros 30 cm y 30-60 cm de profundidad respectivamente en los suelos de dicho bloque.

Los valores de CC y PMP tomados para la profundidad de 0-30 cm son en su orden 14% y 6% y para la profundidad de 30-60 cm son 22% y 10%.

Se determinó densidad aparente en el lote a profundidades de 0-30 y 30-60 cm mediante el método del cilindro de volumen conocido. Cuyos resultados fueron: 1.5 y 1.72 g/cm<sup>3</sup> respectivamente.

De acuerdo con los resultados obtenidos de densidad aparente y los valores teóricos de CC y PMP para suelos de dichas texturas, se realizó el cálculo de la LARA para cada bloque el cual se resume en la siguiente tabla

Tabla 14. Lámina de agua realmente aprovechable (LARA) en milímetros.

Bloque	Lote	Textura	Da	CC	PMP	LARA
235	1	FA	1,72	14	6	49,5
180	1	FA	1,42	22	10	61,3
180	2	FA	1,50	18	8	54,0

Estos valores muestran la lámina de agua total que puede ser aprovechada por el cultivo, antes de marchitarse. Este cálculo fue realizado con un nivel de agotamiento (NA) del 60%.

### 2.6.3. Evaluación bloque 235 lote 1

- **Humedad antes del riego**

Un día antes del riego se tomaron muestras de suelo en diferentes partes del lote profundidades de 0-30 cm y 30-60 cm con el fin de estimar el contenido de humedad del suelo. A continuación solo se muestran los resultados del contenido de humedad.

Tabla 14. Porcentaje de humedad gravimétrica antes del riego

BLOQUE 235 LOTE 1					
Profundidad	Peso	Peso	Diferencia	%	Promedio Humedad (%)
	Inicial	Final	peso	Humedad	
0-30	281,213	246,551	34,662	14,059	14,104
	277,229	242,867	34,362	14,148	
30-60	280,991	237,607	43,384	18,259	18,820
	272,577	228,325	44,252	19,381	

De acuerdo a los resultados de la tabla anterior, se observa que el suelo un día antes del riego se encontraba a humedades muy cercanas al punto de marchitez permanente (PMP) que son de 6% para la profundidad de 0-30 cm y 10% para la profundidad de 30-60 cm, sobre todo en el estrato a esta última profundidad

- **Humedad después del riego**

Al segundo día después de suspendido el riego, igualmente se tomaron muestras de suelo a profundidades de 0 -30 cm y 30 -60 cm para estimar la lámina de agua aprovechada por el suelo después del riego.

Tabla 15. Porcentaje de humedad gravimétrica después del riego.

BLOQUE 235 LOTE 1					
Profundidad	Peso Inicial	Peso Final	Diferencia peso	% Humedad	Promedio Humedad (%)
0-30	226,152	190,411	35,741	18,770	20,140
	277,768	228,596	49,172	21,510	
30-60	293,171	244,932	48,239	19,695	22,000
	273,426	219,962	53,464	24,306	

Se puede notar que dos días después del riego, quedaron a capacidad de campo.

- **Medición de caudales**

Se realizaron aforos en las entradas de cada una de las parcelas evaluadas, con el fin de estimar el caudal aplicado en cada una de ellas. A continuación se muestran los caudales aplicados y los volúmenes aportados durante el tiempo de riego.

Tabla 16. Caudales y volúmenes empleados en el bloque 23 lote 1

Lote	Caudal de entrada (LPS)	Tiempo de riego (h)	Volumen total empleado (m3)
1	390	10	28080,00

Lote: 1

Area: 8,66 Ha (Este es el área total regada durante la jornada evaluada)

Caudal: 390 l/s

Tiempo de Riego: 10 h

Volumen: 14040 m<sup>3</sup>

Lamina: 162,12 mm

A continuación se realiza el cálculo de la lámina de agua y volumen de agua aprovechado por el suelo después del riego.

**- Profundidad de 0-30 cm:**

Humedad del suelo antes del riego:	14.10%
Humedad del suelo después del riego:	20.14%
Densidad aparente:	1.5 gr/cm <sup>3</sup>
Profundidad:	30 cm

Utilizando la ecuación de la lámina de agua aprovechable se tiene:

$$LAA = \left( \frac{20.14 - 14.10}{100} \right) * 1.50 * 30 = 2.718 \text{ cm} = \mathbf{27.18 \text{ mm}}$$

**- Profundidad de 30-60 cm:**

Humedad del suelo antes del riego:	18.82%
Humedad del suelo después del riego:	22%
Densidad aparente:	1.72 gr/cm <sup>3</sup>
Profundidad:	30 cm

$$LAA = \left( \frac{22.00 - 18.82}{100} \right) * 1.72 * 30 = 1.64088 \text{ cm} = \mathbf{16.4088 \text{ mm}}$$

Lámina de agua aprovechada total (0-60 cm) = **43.59 mm**

**- Eficiencia de aplicación**

Teniendo en cuenta la escorrentía:

$$Ea = \left( \frac{\text{Lamina Almacenada}}{\text{Lamina Aplicada}} \right) \times 100 \quad Ea = \left( \frac{43,59}{162,12} \right) \times 100 = \mathbf{26,9 \%}$$

Este valor de **26.9 %** indica que de **100 litros** de agua que ingresan al lote, apenas **26,9 litros** llegan a la zona de raíces de la palma. Los **73.1 litros** restantes se pierden por percolación profunda ó por escorrentía hacia los canales de drenaje.

De lo anterior, se comenta que el valor determinado es superior al determinado en otras plantaciones palmeras, en donde generalmente se encuentran valores máximos de eficiencia de aplicación del 15%. Sin embargo este valor es igualmente bajo y muestra que el método de riego no está permitiendo aprovechar de manera adecuada el recurso hídrico. También se resalta que en algunos casos se observó que el riego se hace aprovechando la existencia de canales interlineales, usando altos caudales que hacen que el agua llegue rápido hasta el canal de drenaje y no permiten que se humedezca el área de raíces. Esto implica que es posible que la eficiencia de aplicación pueda ser inferior a la mostrada ya que el cálculo se hace considerando que hay un humedecimiento del total del volumen.

## **2.7. Eficiencia Total del Sistema**

La eficiencia total del sistema de riego indica el porcentaje de agua que realmente llega a la zona de raíces de la palma, de la que es derivada de la fuente de abastecimiento. Para este caso, se reitera que es un valor aproximado que fue obtenido de condiciones representativas de la plantación y debe tenerse en cuenta que esta información amerita un estudio más detallado que permita identificar puntos y aspectos críticos del sistema.

El cálculo de este valor consiste simplemente en obtener el porcentaje del agua que fue retenida en el suelo tras haber sido captada en la fuente, conducida hasta el lote y aplicada al cultivo:

$Eficiencia\ Total(Et) = Eficiencia\ en\ Conducción (Ec) * Eficiencia\ en\ aplicación (Ea)$

$Et = 67.37\% * 26,9$

$Et = 18.12\%$

Este valor muestra claramente la baja eficiencia en el uso del agua que presentan las condiciones actuales de la plantación, e indica que **de cada 100 litros de agua captados, apenas 18,12 litros ingresan a la zona de raíces a ser disponibles para el cultivo.**

## 2.8. Eficiencia con datos de riego históricos de la plantación

Como una manera de verificar los datos determinados en campo, se procedió a realizar un análisis de la información histórica de los riegos aplicados en la plantación. Este ejercicio consistió en determinar para una capacidad de almacenamiento de agua en el suelo promedio de **60 mm**, los caudales asignados y el número de riegos promedio aplicados en cada periodo la eficiencia total del predio. Los datos son presentados en la siguiente tabla:

Tabla 17. Eficiencia total de riego promedio para los meses de noviembre a marzo durante el periodo de 2010 a 2012.

Temporada de Riego	Area Irrigada (Ha)	Area Plantación (Ha)	Número de Riegos	Dias de Riego	Lámina Aplicada (mm)	Volumen Aprovechado (millones de m3)	Caudal Concesionado (m3/s)	Volumen Aplicado (millones de m3)	Eficiencia (%)
2009 - 2010	6.145	6385	0,96	123	57,74	3,69	5,576	59,26	6,2
2010 - 2011	3.665	6385	0,57	32	34,44	2,20	5,576	15,42	14,3
2011 - 2012	1.853	6385	0,29	36	17,41	1,11	5,576	17,34	6,4
2012 - 2013	4.009	6385	0,63	57	37,67	2,41	5,576	27,46	8,8

De la tabla anterior, se observa que la eficiencia total asumiendo que siempre estén disponibles los caudales concesionados, **es para el mejor caso del 14,3 %**, valor que se dió en el año periodo 2010 - 2011. Como se evidenció en los aforos hechos por Agrodinco, el caudal que se está captando actualmente es **5,385 m<sup>3</sup>/s**. Esto, considerando

que no se está captando el total concesionado pero si se están captando otros caudales por los caños mencionados. Es posible que en el periodo de 2009 a 2012, los caudales captados fueran inferiores y las eficiencias un fueran tan bajas pero en ningún caso superiores al valor determinado en campo de **18,12%**

Ambos análisis, tanto la determinada en campo, como la que se obtuvo del análisis histórico de los riegos de la plantación, muestran unos valores de eficiencia demasiado bajos, evidenciando las enormes pérdidas en la conducción por falta de canales revestidos y que probablemente el método de riego actualmente utilizado no es el más adecuado para la plantación. **Es preocupante ver que en el mejor de los casos apenas se está reponiendo una lámina de 57,74 mm durante el periodo de riego esto a pesar de tener un déficit hídrico promedio de 450 mm.**

## **2.9. Requerimientos Hídricos Brutos de la Plantación (Nt)**

El valor obtenido de requerimiento neto (Nn), consiste en un valor teórico demandado por el cultivo. Para la determinación de las necesidades totales de caudal, es necesario afectar este valor, con el valor de eficiencia que está en función del método de riego que se utilizaría eventualmente:

$$Nb = Nn / Ef$$

Para este cálculo es cuantificar los requerimientos que se tienen para el área regada por superficie,

$$Nb = 3884,71/s/0.1812$$

$$Nb = 21434,8l / s \quad (21,4m^3 / s)$$

De lo anterior se puede comentar lo siguiente:

- ✓ Como se observa, un valor de **necesidades netas de 21.4 m<sup>3</sup>/s** durante las épocas críticas para satisfacer el área de la plantación que posee infraestructura para regar por superficie, es un valor bastante superior, respecto a los **5.57 m<sup>3</sup>/s** concesionados que cuenta la plantación para estas épocas..

## 2.10. Eficiencias permisibles para condiciones de oferta y demanda de agua

Teniendo en cuenta los requerimientos ambientales para la zona y que la concesión de agua considera un sistema de riego con eficiencia intermedia, es posible determinar la eficiencia total del sistema a fin de que se logre suplir el déficit hídrico del cultivo. La tabla siguiente muestra los valores de eficiencia permisible para los diferentes meses en los cuales se hace necesaria la aplicación de riego.

Tabla 18. Valores de eficiencia de uso de agua mínima para lograr suplir el déficit hídrico de Aceites Manuelita.

Deficit Promedio mensual. Serie de datos del 2000 al 2013					
PARAMETROS	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Total
Déficit (mm)	88,45	157,72	140,35	63,27	449,79
Volumen Neto de Agua Requerido Para Cubrir Demanda (millones de m3)	5,6	10,1	9,0	4,0	28,7
Volumen de Agua Disponible Según Concesión (millones de m3)	16,5	16,5	16,5	16,5	66,2
Eficiencia Mínima Requerida (%)	34%	61%	54%	24%	43%

De la tabla anterior se tiene que si se cuenta con un **caudal constante de 5.576 l/s**, se requiere lograr una eficiencia total en el sistema de **61%**, para las **6385 Ha** del predio

regadas por superficie. Si la eficiencia del sistema es menor a este valor, no será posible suplir la totalidad de los requerimientos de agua para las condiciones de la zona. Si la disponibilidad de agua disminuye, en la misma proporción se deberá mejorar la eficiencia para garantizar que se repongan los requerimientos de agua del cultivo.

Adicionalmente, se debe tener en cuenta que Cormacarena en épocas críticas de sequía pueden llegar a restringir el caudal concesionado hasta en un 50% lo que obliga a la plantación a mejorar su eficiencia para que se haga un uso eficiente del agua durante estos racionamientos.

### **2.11. Relación riego y producción**

Sabiendo la relación directa que existe entre el déficit hídrico y la producción de fruto en el cultivo de palma de aceite, a continuación se realiza un análisis que permite determinar el potencial productivo que se puede alcanzar al mejorar las condiciones de eficiencia del uso del agua del predio.

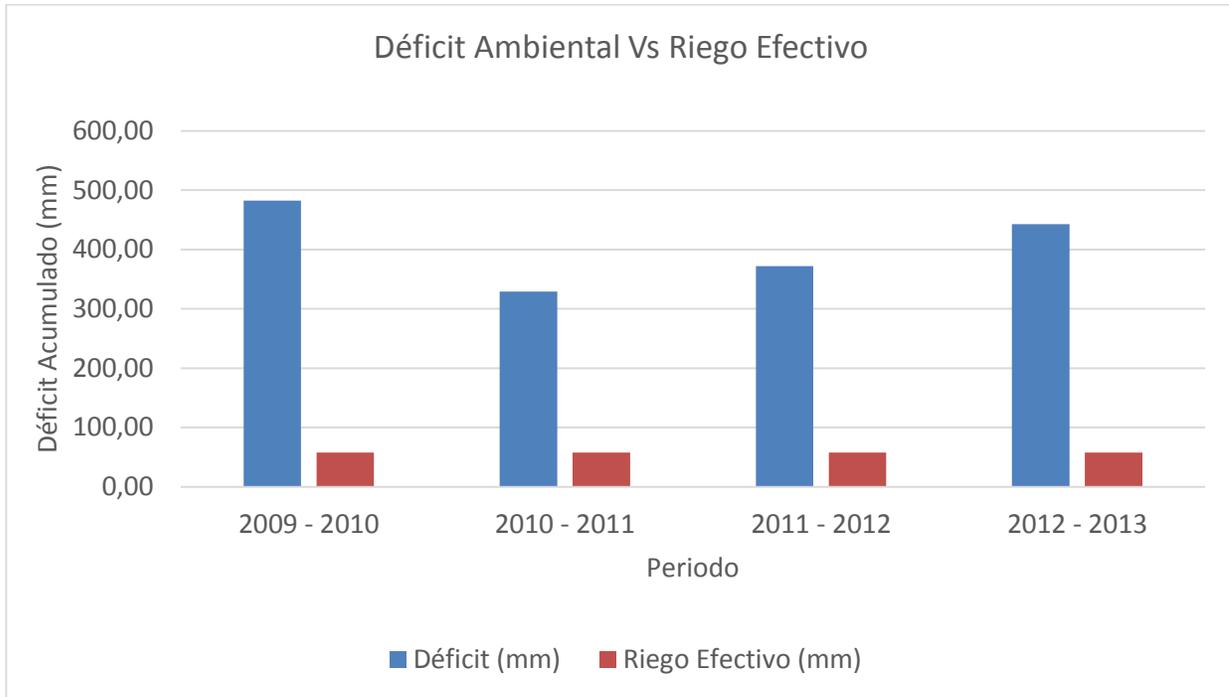


Figura 31. Déficit hídrico anual para condiciones de manejo del agua actuales de Aceites Manuelita.

En la gráfica se puede observar que en los últimos años la lámina de riego suplementario aplicada al cultivo ha sido demasiado baja con relación a los requerimientos de agua del cultivo, generando un impacto directo en el potencial productivo del cultivo.

En la siguiente gráfica, se muestra la relación entre el déficit de agua y el potencial productivo propuesta por Corley 1996. Se destaca que probablemente para esa época el nivel tecnológico disponible para la palmicultura hablaba apenas de un potencial de **30 Ton/Ha/año**.

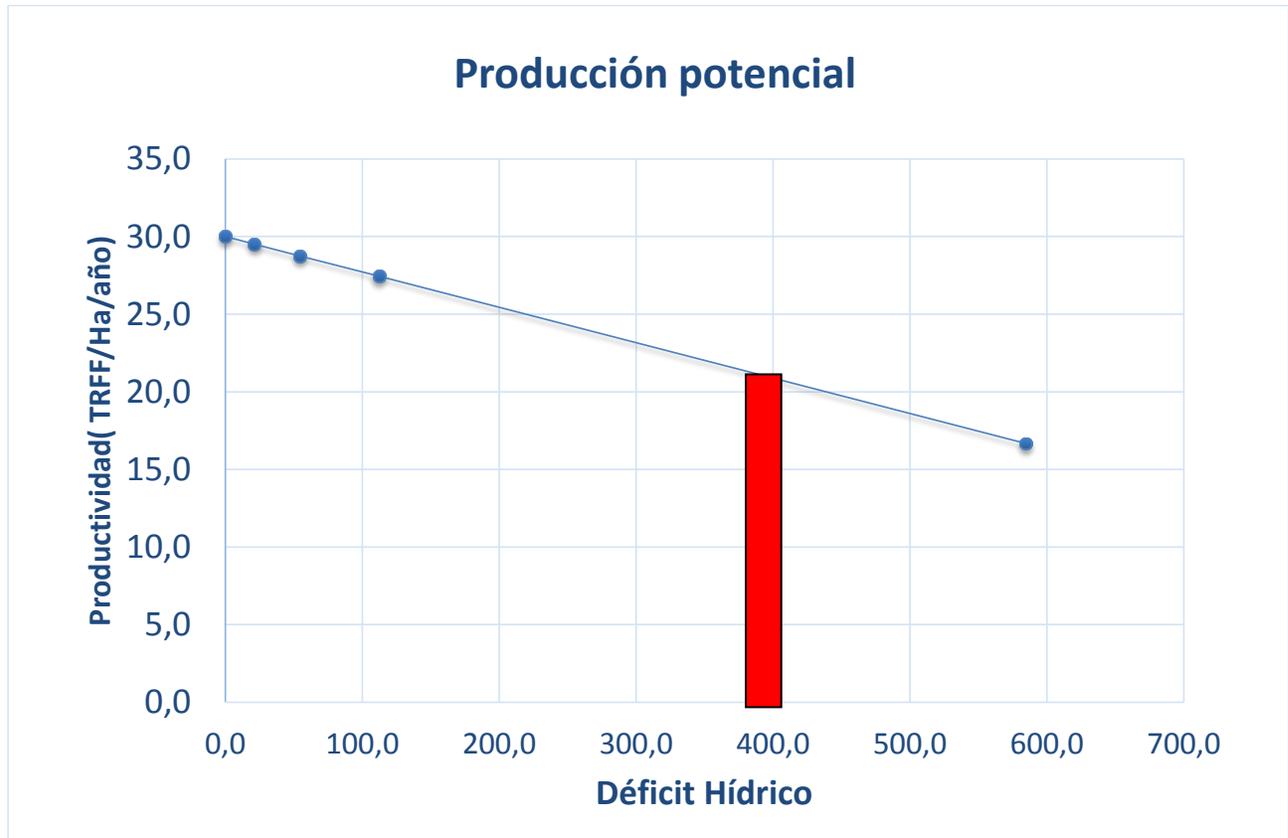


Figura 32. Relación de déficit hídrico y producción. Corley 1996.

La barra roja indica la ubicación actual de Aceites Manuelita sobre la gráfica de productividad esperada bajo riego según Corley, en donde se espera un potencial productivo de cerca de **21 Ton RFF/Ha/año**.

Como se comenta, probablemente las condiciones tecnológicas en el momento de la construcción de la gráfica eran inferiores y probablemente las productividades alcanzadas en Aceite Manuelita puedan ser un poco superiores debido a un adecuado manejo agronómico del predio. Sin embargo es evidente que el potencial productivo no se va a lograr si no se corrige el mencionado déficit que está sufriendo el cultivo.

## 2.12. Criterio y programación del riego

Según lo que se puede interpretar de la operación del sistema de riego, básicamente se comenta que la preparación de la infraestructura se inicia en el mes de diciembre y prácticamente se culmina iniciando el mes de enero. La preparación consiste en la ubicación de trinchos sobre canales primarios y secundarios de drenaje, a fin de conducir y represar el agua sobre los mismos. La operación se hace por los regadores de acuerdo a los bloques de la plantación a razón de una persona cada 25 Ha. No existe un plan estipulado de operación del sistema y básicamente la programación se va realizando día a día, de acuerdo a la disponibilidad de agua y criterio del personal operativo.

## 2.13. Evaluación de la Infraestructura de Drenaje

En el cultivo de palma de aceite, el drenaje es tan importante como el riego, ya que mantiene el suelo en un ambiente adecuado para obtener producciones óptimas. El exceso de humedad produce una reducción en el contenido de oxígeno del suelo generando así una disminución en la tasa de respiración de las raíces de la planta, la absorción de agua y nutrientes, lo que propicia la formación de enfermedades y de sustancias tóxicas.

Para el reconocimiento y diagnóstico de los problemas de drenaje agrícola en la presente consultoría, se realizó una revisión detallada de toda la información técnica disponible relacionada con la infraestructura de drenaje de la plantación.

En esta fase, se llevaron a cabo observaciones de campo de acuerdo a un orden lógico que permitiera determinar o identificar las áreas o bloques con problemas de drenaje y las posibles causas de los excesos de agua. Se identificaron las salidas de agua así como la infraestructura o red de drenajes de la plantación. Además se identificó el tipo de cobertura, la pendiente, grado de erosión y sedimentación de los canales. En este

diagnóstico se visitaron algunos lotes de acuerdo al tamaño del bloque. Además, se identificaron las obras civiles y su relación con la infraestructura de riego.

Finalmente en oficina se realizó una tabla resumen con evidencia fotográfica de los problemas identificados en campo en los diferentes bloques de la plantación. Este deberá ser un importante material de consulta para profundizar en el mejoramiento de la red de drenaje.

Después de analizar los resultados en campo se presentan los siguientes comentarios:

- En términos generales la plantación cuenta con una red de drenaje primaria y secundaria que obedece al diseño de plantación, en donde se dió prioridad al movimiento de agua.
- Existen zonas en los cuales se hace evidente la falta de infraestructura terciaria, la cual, por el tipo de diseño planteado para el predio no fue construido inicialmente.
- Es importante dar una revisión general al mantenimiento de la red de drenaje. Se evidencia alta sedimentación y falta de limpieza en gran parte de los canales existentes.
- Es importante revisar la funcionalidad desde el punto de vista hidráulico y topográfico de la red de drenaje existente. Es muy generalizada la existencia de obras de paso de agua con dimensiones inferiores a las requeridas y con ubicaciones que no favorecen el abatimiento de los niveles.



Figura 33. Evidencias de zonas con problemas de Drenaje.

- Se considera pertinente realizar un estudio del comportamiento del nivel freático a fin de determinar si existen zonas en los cuales se hace necesario la construcción de infraestructura adicional para tener un drenaje óptimo. Este estudio igualmente evidenciará la necesidad de mantenimiento de infraestructura existente y la pertinencia de abandonar infraestructura que no esté funcionando adecuadamente.
- Se hace importante contar con el levantamiento topográfico y un estudio detallado de suelos a fin de poder complementar el análisis y poder diseñar la infraestructura que evidencie el estudio.
- La construcción de una red freaticométrica para el predio permitirá igualmente apoyar la toma de decisiones en la operación del sistema de riego al dar prioridad a zonas que presenten el nivel freático más lejano de la superficie y que difícilmente hagan aportes capilares de agua a la zona de raíces.
- En archivo anexo xlsx FORMATO DIAGNOSTICO DRENAJE se encuentra en detalle la evaluación de cada bloque y las parcelas que fueron visitadas.

La siguiente gráfica muestra de lo que se evidenció de manera cualitativa del estado de la infraestructura de drenaje del predio. Esta información se debe observar teniendo presente que no hay total certeza de su funcionamiento óptimo en la época de mayor

precipitación y que lo más recomendable en el momento, es realizar los estudios comentados para tomar decisiones integrales con relación al drenaje. El mapa es presentado de acuerdo a las siguientes convenciones:

**Rojo:** Atención prioritaria.

**Amarillo:** Infraestructura que se debe analizar a fin de establecer un plan de mantenimiento.

**Verde:** infraestructura en buen estado.

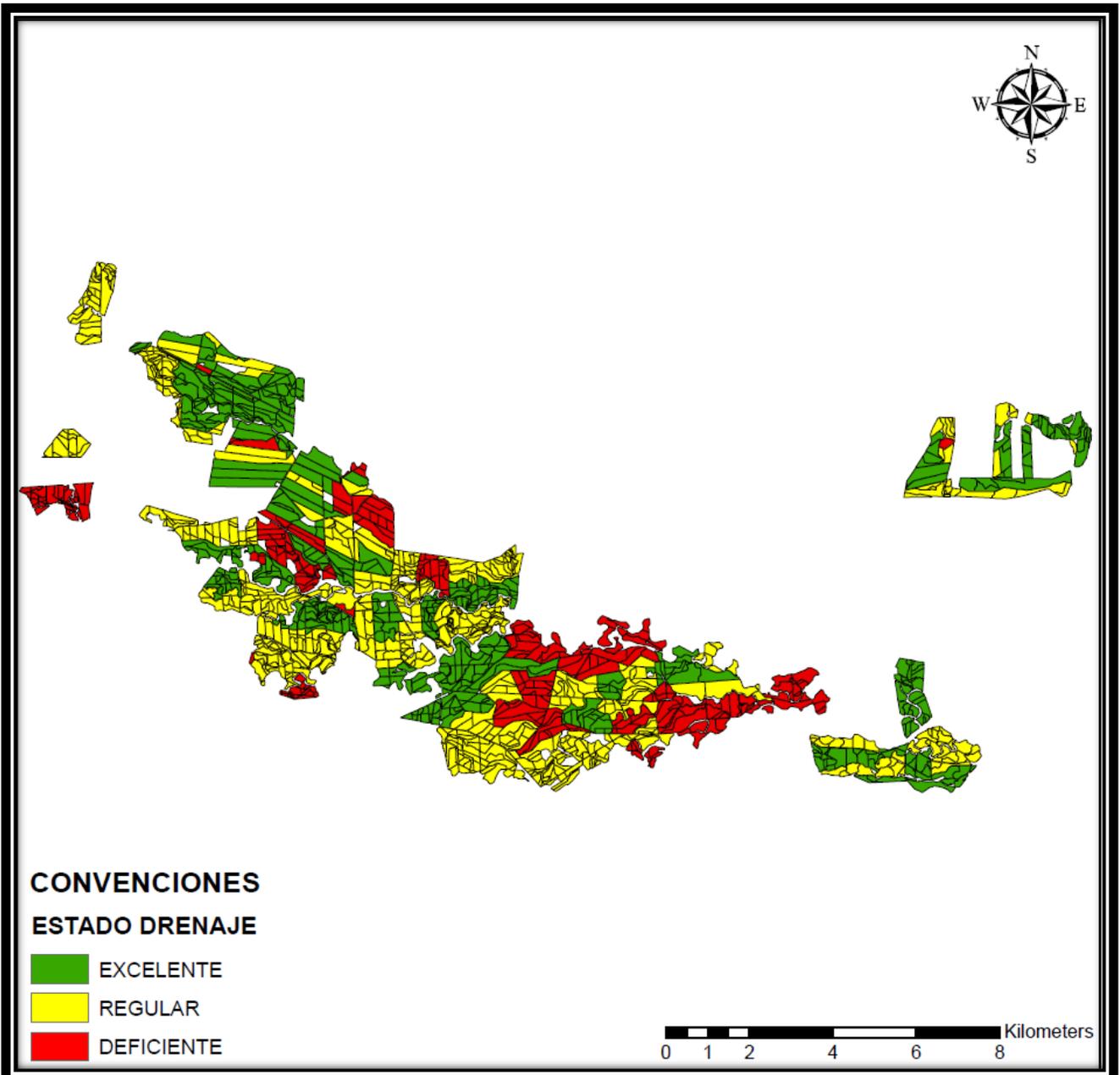


Figura 34: Estado de Drenaje

### 3. Análisis de perspectivas en el manejo del agua de la plantación

Como se ha observado durante el presente análisis, las condiciones actuales de manejo del agua de la plantación, presentan un reto importante en la búsqueda de su

**optimización.** Es evidente que las condiciones actuales de eficiencia no permiten garantizar la reposición de los requerimientos ambientales del cultivo, por lo cual, es de vital importancia iniciar acciones en la búsqueda de alternativas que permitan disminuir la brecha entre los requerimientos hídricos y lo que realmente se está aplicando al cultivo.

Hacer un uso eficiente del recurso permitiría obtener un incremento de la productividad como consecuencia de la reducción del estrés por déficit hídrico y mejoramiento de las condiciones de drenaje. Según la estimación de Corley y el déficit aun sin suplir en Aceites Manuelita (450 mm/año), es posible pensar en incrementar la producción promedio de cultivos adultos de 21 ton/ha-año a 30 ton/ha-año. Esto es un incremento en productividad del 40% y se convierte en el costo de oportunidad para invertir en el mejoramiento del sistema de riego.

Igualmente el estudio realizado, aunque haya sido desarrollado a una escala general, igualmente permite plantear algunos puntos de mejora que pueden generar un impacto positivo en las condiciones generales de eficiencia del uso del agua. A continuación se hacen algunas recomendaciones que pueden contribuir a mejorar las condiciones actuales de manejo del agua de la plantación:

### 3.1. Conclusiones

- ✓ Los cálculos de eficiencia total del sistema demuestran que solo el **18% del agua captada es aprovechada por el cultivo. La eficiencia mínima requerida según la concesión debe ser del 61%.** Por tanto, se hace indispensable **reducir las pérdidas de agua en la conducción y en la aplicación.** Solo de esta manera será posible obtener el potencial productivo del cultivo bajo las condiciones actuales de la zona.
- ✓ Para reducir las pérdidas y mejorar la eficiencia de los canales de conducción, es necesario trabajar en **estrategias de impermeabilización** Para ello se recomienda iniciar un plan a mediano plazo iniciando por los tramos con mayores pérdidas por infiltración.

- ✓ Se recomienda iniciar el mejoramiento de la aplicación del agua mediante la implementación y re adecuación de sistemas de riego por superficie, para ello en especial se recomienda el **sistema de melgas rectangulares**. Este sistema debe ser diseñado con base en la altimetría del terreno y las recorredoras de riego deben ubicarse en las zonas más altas de cada lote. Se debe hacer el diseño de cada bloque.
- ✓ Para mejorar la operación del riego, se deben buscar estrategias de **control del agua durante 24 horas al día en las épocas de riego**.
- ✓ La capacidad de almacenamiento del suelo en promedio puede ser de 60 mm y sí el consumo promedio del cultivo es de 5 mm/día, entonces **la frecuencia de riego máxima es de 12 días**. **Esto indica que en una temporada de riego normal de 4 meses se debe regar el 100% de la plantación en 10 oportunidades**. Esto implica tener los recursos de infraestructura y operativos suficientes para cumplir estos ciclos.
- ✓ Según la experiencia de AgroDinco, para hacer un manejo adecuado de riego por superficie se requiere de un **(1) regador por cada 50 hectáreas**. Este personal es necesario para controlar el agua y garantizar que esta llegue al cultivo.
- ✓ Para hacer el control y monitoreo del agua, es necesario **instalar estaciones de aforo en la entrada de cada bloque** (compuertas automáticas), así se logrará distribuir el agua de una manera controlada. El caudal a entregar a cada bloque debe ser en función del área y el módulo de riego permisible (1.5 lps/ha).
- ✓ Es importante complementar un esquema de trabajo que permita integrar todos los sistemas tecnológicos requeridos por la agricultura moderna para tomar decisiones adecuadas en el manejo del agua (red de freatímetros, red de pluviómetros, estación

meteorológica, levantamientos topográfico y de palmas, caracterización física e hidrodinámica de los suelos, sensores de humedad, estructuras de aforo, etc) para elaborar herramientas prácticas y oportunas de toma de decisiones relacionadas con la aplicación del riego. En generar un modelo de operación del riego en función a la disponibilidad del recurso, los requerimientos del cultivo, la eficiencia de conducción y aplicación y el impacto sobre la productividad. Con base en este modelo se gestiona y prioriza de manera adecuada el recurso hídrico.

- ✓ Las mediciones realizadas evidenciaron que el caudal que **se está captando en las diferentes bocatomas es inferior al concesionado por la corporación**, Aunque al comparar y analizar la información suministrada de las calibraciones de las compuertas y el método de aforo de éste las captaciones realizadas están muy parejas con las concepciones. Se debe profundizar en la medición de estos caudales en las diferentes épocas del año y se debe verificar los caudales disponibles e históricos en el río con los cuales fueron asignadas las concesiones. Además **se propone el seguimiento a las estructuras captadoras de gran importancia que no poseen concesión**.
- ✓ Teniendo en cuenta que en épocas críticas el caudal de la concesión puede ser reducido hasta en un 50%, se debe establecer un **plan de racionamiento** que permita hacer un uso eficiente del agua. Se sugiere irrigar en estos casos únicamente las áreas más cercanas a las bocatomas para evitar pérdidas de conducción y aquellas zonas que cuenten con sistemas de aplicación eficiente.
- ✓ Se debe verificar y cuantificar los caudales disponibles en las otras fuentes de agua mencionadas. Igualmente se deben **plantear estrategias de recirculación ó reciclaje de aguas** que regresan nuevamente a los drenajes como producto de la ineficiencia de los sistemas de riego.

- ✓ Sabiendo las perspectivas en el mediano plazo con relación a la disponibilidad de agua y las exigencias gubernamentales en su uso eficiente, la necesidad de mejorar su eficiencia para incrementar la productividad de la plantación y los posibles costos de lograr las eficiencias requeridas para seguir regando por superficie, se recomienda dar prioridad a la **realización de análisis técnicos y económicos sobre la pertinencia de utilizar otros métodos de riego.** **Bajo las condiciones de disponibilidad de agua evaluadas, se puede comentar que con un sistema de riego presurizado que permita una eficiencia en la aplicación del 90%,** y manteniendo las mismas condiciones de eficiencia en la aplicación del 67%, se alcanzaría una eficiencia total del 60%, valor cercano al ideal para satisfacer los requerimientos totales del cultivo. Igualmente se pueden alcanzar eficiencias interesantes con sistemas de riego como el de **“Caudal Reducido”**, el cual combina conducciones presurizadas con riego superficial adecuadamente diseñado y que puede permitir eficiencias importantes. Es importante comparar estas alternativas con los altos costos que representaría el revestimiento de la red de conducción y el mejoramiento de las condiciones de aplicación.

### 3.2 Matriz Resumen

Aspecto Analizado	Hallazgos	Recomendaciones	Estudios ó tecnologías complementarias requeridos
<b>2.1 Oferta y Demanda Climática</b>			
<b><u>Oferta de Precipitación</u></b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Precipitación promedio: 2631 mm</li> <li>Precipitación Unimodal</li> <li>Periodo seco: Diciembre - Marzo</li> </ul>	NA	<ul style="list-style-type: none"> <li>Instalar red de pluviómetros convencionales.</li> <li>Generar Polígonos de Thiessen</li> <li>Evaluar necesidad de instalar estaciones meteorológicas adicionales.</li> </ul>
<b><u>Demanda Ambiental</u></b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Evaporación Media mensual: 119.2 mm</li> <li>Evaporación Anual: 1429.9 mm</li> <li>Evaporación mes crítico (Enero): 160,4 mm</li> </ul>	NA	<ul style="list-style-type: none"> <li>Evaluar necesidad de instalar estaciones meteorológicas adicionales.</li> </ul>
<b><u>Oferta Vs Demanda</u></b>	A nivel mensual se observa un déficit hídrico desde diciembre a febrero y en menor medida en el mes de marzo.	NA	<ul style="list-style-type: none"> <li>Instalar red de pluviómetros.</li> <li>Generar Polígonos de Thiessen</li> <li>Evaluar necesidad de instalar estaciones meteorológicas adicionales.</li> </ul>
<b><u>Balance Hídrico Diario</u></b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>LARA: 55 mm</li> <li>Déficit promedio de diciembre a marzo: 449,78 mm</li> <li>Mes crítico: Enero (157.72 mm)</li> <li>Se deben realizar aproximadamente dos riegos por mes en la época de verano.</li> </ul>	Tratar de construir una metodología de programación de riego en función al balance hídrico por zonas, involucrando todos los parámetros relacionados con el almacenamiento del agua.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Instalar red de pluviómetros.</li> <li>Generar Polígonos de Thiessen</li> <li>Evaluar necesidad de instalar estaciones meteorológicas adicionales.</li> <li>Instalar redes sensores de humedad en el suelo</li> <li>Estudio de propiedades del suelo relacionadas con movimiento y almacenamiento de agua.</li> <li>Instalación de red freaticométrica</li> </ul>

Aspecto Analizado	Hallazgos	Recomendaciones	Estudios ó tecnologías complementarias requeridos
<b><u>Necesidades netas</u></b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>El módulo de riego neto es de 0,6084 l/s/ha.</li> <li>Para 6385 Ha se tiene un requerimiento neto de 3884.7 l/s.</li> <li>El requerimiento neto para enero es de 10.07 millones de m<sup>3</sup>de agua. Esto equivale a 3884 l/s</li> <li>Volumen total para periodo seco: 28.719.091,5 m<sup>3</sup>de agua.</li> </ul>	NA	NA
<b><u>Disponibilidad del recurso hídrico</u></b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Principal fuente: Río Acacias y Río Guayuriba</li> <li>Concesión 5576 l/s</li> <li>Existen otras fuentes que deben ser cuantificadas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Realizar aforos de otras fuentes de agua (Caños).</li> <li>Aforo permanente de las fuentes de agua</li> <li>Establecer estrategia de regulación de caudal de ingreso (operación).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sistema automatizado de aforo del agua.</li> </ul>
<b><u>Evaluación de la infraestructura de captación.</u></b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Dificultad de normalizar el ingreso de agua.</li> <li>No posee sistema de desarenador.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Evaluar disponibilidad de fuente principal</li> <li>Definir estrategias para mejorar captación</li> <li>Establecer estrategia de regulación de caudal de ingreso (operación).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Estudio hidrológico fuente principal</li> <li>Estudio hidráulico captaciones</li> <li>Sistema automatizado de aforo del agua.</li> </ul>
<b><u>Evaluación de la infraestructura de distribución y reparto.</u></b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Red de canales abiertos sin revestimiento.</li> <li>Infraestructura adaptada de actividades previas.</li> <li>Uso de infraestructura con fines de riego y drenaje.</li> <li>Uso de trinchos artesanales</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Iniciar estrategia de revestimiento de canales.</li> <li>Evaluación detallada de infraestructura existente.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Inventario detallado de estado de infraestructura.</li> <li>Levantamiento topográfico y diseño para mejorar riego y drenaje.</li> </ul>
<b><u>Evaluación de eficiencia en la</u></b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bocatoma Potosí: Ef: 86,51% (9,24 %/km de pérdidas)</li> <li>Bocatoma Potosí - Yaguarito (Brazo Chichimene): Ef: 49,50% (7,25 %/km de pérdidas).</li> <li>Bocatoma Potosí (brazo del Acacias): Ef: 43,05% (8,18 %/km de pérdidas).</li> <li>Bocatoma San Isidro (Caño Chipa): Ef: 77,58% (11,68%/km de pérdidas).</li> <li>Bocatoma Bonanza (Caño Chipa): Ef: 74,9% (10,29 %/km de</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Iniciar estrategia de revestimiento de canales.</li> <li>Profundizar en determinación de puntos críticos de pérdidas.</li> <li>Seguimiento aforos en</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Determinación de puntos críticos de pérdidas</li> <li>Sistema automatizado de aforo del agua.</li> </ul>

<b>Aspecto Analizado</b>	<b>Hallazgos</b>	<b>Recomendaciones</b>	<b>Estudios ó tecnologías complementarias requeridos</b>
<u>conducción.</u>	<p>pérdidas).</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bocatoma Bolivia-Ponderosa (Caño Piedras):Ef: 60,33% (6,24 %/km de pérdidas).</li> <li>• Bocatoma Siberia:Ef: 73,11% (11,66 %/km de pérdidas).</li> <li>• Bocatoma San Miguel-Manacacias:Ef: 74% (7,73 %/km de pérdidas).</li> <li>•</li> </ul>	las bocatomas no concesionadas.	
<u>Evaluación de obras de conducción y distribución.</u>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Infraestructura adaptada de actividades agrícolas anteriores.</li> <li>• Sub y sobre dimensionamiento en algunas obras.</li> <li>• Algunas en mal estado</li> <li>• Infraestructura en general en buen estado.</li> <li>• Carencia de algunas obras – Están siendo suplidas por obras artesanales.</li> <li>• No hay inventario de obras</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Realizar inventario detallado.</li> <li>• Diseñar y construir las requeridas.</li> <li>• Hacer mantenimiento.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inventario detallado de estado de infraestructura.</li> <li>• Levantamiento topográfico y diseño para independizar riego de drenaje en algunos bloques.</li> </ul>
<b>Infraestructura de aplicación del agua - Riego predial</b>			

Aspecto Analizado	Hallazgos	Recomendaciones	Estudios ó tecnologías complementarias requeridos
<u>Evaluación de la eficiencia de aplicación</u>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eficiencia de aplicación 26,9%</li> <li>• Probablemente el sistema de riego utilizado no es el más adecuado</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Buscar estrategia de mejoramiento de la eficiencia de aplicación.</li> <li>• Diseñar el mejor sistema de riego para las diferentes zonas de la plantación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Levantamiento topográfico</li> <li>• Estudio de suelos.</li> <li>• Diseño de sistema de riego</li> </ul>
<u>Eficiencia Total del Sistema</u>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eficiencia total: 18,12%</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estrategia que permita subir eficiencia total al 61%.</li> <li>• Evaluar posibilidad de implementar otros métodos de riego.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Incluye todos los estudios mencionados</li> </ul>
<u>Eficiencia con datos de riego históricos de la plantación</u>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eficiencia promedio según datos históricos: 8,9%. Mejor dato histórico: 14,3% con datos desde 2009</li> <li>• Menos de un riego por temporada</li> <li>• Datos coinciden con mediciones</li> </ul>	NA	NA
<u>Requerimientos Hídricos Brutos de la Plantación (Nt)</u>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Requerimientos brutos: <b>21,4 m³/s.</b></li> </ul>	NA	NA
<u>Eficiencias permisibles para condiciones de oferta y demanda de agua</u>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• si se cuenta con un caudal constante (Concesión) de 5576 l/s, se requiere lograr una eficiencia total en el sistema de 61%, para las 6385 Ha del predio regado por superficie.</li> </ul>	NA	NA
<u>Relación riego y producción</u>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Según curva de Corley, el déficit hídrico que se está presentando, la producción potencial es de <b>21 Ton RFF/Ha /año.</b></li> <li>• Existe un potencial de incremento en producción de cerca de <b>10 Ton RFF/Ha /año.</b></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se recomienda analizar la información histórica de materiales, edades, lotes y déficit hídrico a fin de construir la curva de producción potencial de la plantación.</li> </ul>	NA
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La preparación consiste en la ubicación de trinchos sobre canales primarios y secundarios de drenaje, a fin de conducir y represar el agua sobre los</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Establecer cultura de riego los 12 meses del año. Cuando hay lluvia se hace mantenimiento del sistema.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sistema automatizado de aforo del agua.</li> <li>• Estudio de suelos.</li> <li>• Instalar red de pluviómetros.</li> </ul>

<b>Aspecto Analizado</b>	<b>Hallazgos</b>	<b>Recomendaciones</b>	<b>Estudios ó tecnologías complementarias requeridos</b>
<p><b><u>Criterio y programación del riego</u></b></p>	<p>mismos.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>La operación se hace por los regadores de acuerdo a los bloques de la plantación a razón de una persona cada <b>25 Ha.</b></li> <li>No existe un plan estipulado de operación del sistema y básicamente la programación se va realizando día a día, de acuerdo a la disponibilidad de agua y criterio del personal operativo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Para mejorar la operación del riego, se deben buscar estrategias de control del agua durante 24 horas al día en las épocas de riego.</li> <li>Tratar de completar 1 regador cada 50 ha en temporada de riego.</li> <li>Estrategia de operación del riego según los requerimientos y disponibilidad de agua e infraestructura.</li> <li>Buscar estrategia para regar adecuadamente las 24 horas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Generar Polígonos de Thiessen</li> <li>Evaluar necesidad de instalar estaciones meteorológicas adicionales.</li> <li>Instalar red sensores de humedad en el suelo</li> <li>Instalar red freaticométrica,</li> </ul>
<p><b><u>Evaluación de la Infraestructura de Drenaje</u></b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>En términos generales la plantación cuenta con una red de drenaje típica para la zona.</li> <li>Falta de infraestructura terciaria</li> <li>Escaso mantenimiento en ciertas zonas.</li> <li>Evidencia de algunas zonas con problemas de drenaje.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Realizar estudio de comportamiento del NF.</li> <li>Interpretación de análisis foliares y de suelos a fin de detectar áreas con problemas de drenaje.</li> <li>Mantenimiento de infraestructura evidente.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Levantamiento topográfico</li> <li>Estudio de suelos.</li> <li>Instalación red freaticométrica.</li> <li>Inventario infraestructura</li> </ul>

**ADECUACION DE 239 HECTAREAS EN RENOVACION PARA SIEMBRA DE  
PALMA DE ACEITE AFRICANA (*ELAEIS GUINEENSIS* JACQ.) HÍBRIDO  
INTERESPECIFICA CUARI X LAME, FINCA SIBERIA.**

**ESTEFANÍA CHICA ROA CÓD. 20112106757**

**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA ING. AGRICOLA  
NEIVA, COLOMBIA**

**2017**

**ADECUACION DE 239 HECTAREAS EN RENOVACION PARA SIEMBRA DE  
PALMA DE ACEITE AFRICANA (*ELAEIS GUINEENSIS* JACQ.) HÍBRIDO  
INTERESPECIFICA CUARI X LAME, FINCA SIBERIA.**

**ESTEFANIA CHICA ROA**

**Proyecto para optar al título de Ingeniera Agrícola**

**Director JOHN JAIRO AREVALO HERNANDEZ**

**Ingeniero Agrícola (Profesor Universidad Surcolombiana)**

**Codirector GERMAN ERNESTO RODRIGUEZ MORENO**

**Ingeniero Agrónomo Esp.**

**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**PROGRAMA ING. AGRICOLA**

**NEIVA, COLOMBIA**

2017

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios, a mis padres y hermano que han sido el motivo de mi esfuerzo; por todo el apoyo que me han dedicado para poder seguir adelante en las adversidades y en los momentos de alegría.

Un especial agradecimiento a mi asesor de tesis Ing. German Ernesto Rodríguez Moreno y a la compañía Manuelita Aceites y Energía S.A, por darme la oportunidad de desarrollar el proyecto en conjunto; también por todo el tiempo dedicado y el apoyo recibido para llevar a cabo el desarrollo de este trabajo. A los ingenieros Eduardo castillo, Diego Paul Ramírez Maldonado y Luis Alberto Liscano Solano quienes estuvieron pendientes de mi trabajo y me apoyaron durante el tiempo de desarrollo. A los operadores y personal de Manuelita Aceites y Energía S.A quienes fueron de vital importancia en el desarrollo del trabajo de campo.

La Universidad Surcolombiana, por darme el conocimiento necesario para tener la capacidad de desarrollar mi proyecto de grado. Al ingeniero John Jairo Arévalo Hernández, director y profesor de la Universidad Surcolombiana por su disposición y observaciones que contribuyeron al proyecto.

## **RESUMEN**

El presente documento muestra el proceso de adecuación de 239 hectáreas en renovación para la siembra de Palma de aceite africana (*elaeis guineensis* jacq.), los terrenos escogidos para la intervención corresponden a los bloques 242 al 250 de la finca Siberia, propiedad del grupo empresarial Manuelita Aceites y Energía S.A. localizada en el Km 12 vía Dinamarca – Surimena, municipio de San Carlos de Guaroa, Meta, Colombia.

La renovación será aprovechada para corregir errores de diseño de la plantación actual, el nuevo diseño de cultivo busca mejorar el crecimiento, desarrollo y productividad de la palma de aceite al igual que la logística del lote ya que también está pensado para facilitar las labores de campo.

Entre las actividades más importantes del proyecto está la erradicación del cultivo anterior y arvense, diseño del sistema de riego por melgas rectangulares y drenaje superficial, preparación del terreno para la siembra y aplicación de correctivos según sugerencias agronómicas.

El tiempo total de establecimiento del cultivo de palma es de seis meses de los cuales dos (2) son empleados para recolección de información y planificación, dos (2) para construcción del diseño de cultivo y dos para la ejecución de la primera fase del diseño que corresponde a erradicación y preparación del suelo.

**PALABRAS CLAVES:** Renovación, Palma de aceite, diseño de cultivo, adecuación del suelo.

## **ABSTRACT**

This document shows the process of adaptation of 239 hectares in renovation for the planting of African oil palm (*elaeis guineensis jacq.*), The land chosen for the intervention correspond to blocks 242 to 250 of the Siberia farm, owned by the business group Manuelita Aceites y Energía SA located at Km 12 via Dinamarca - Surimena, municipality of San Carlos de Guaroa, Meta, Colombia.

The renovation will be used to correct design errors of the current plantation, the new cultivation design seeks to improve the growth, development and productivity of the oil palm as well as the logistics of the lot as it is also designed to facilitate field work.

Among the most important activities of the project is the eradication of the previous crop and arvense, design of the irrigation system by rectangular melgas and superficial drainage, preparation of the land for the sowing and application of corrective according to agronomic suggestions.

The total time of establishment of the palm crop is six months of the two (2) are used for information collection and planning, two (2) for the construction of the cultivation design and two for the execution of the first phase of the design which corresponds to eradication of the previous crop and preparation of the soil.

**KEYWORDS:** Renovation, oil palm, crop design, soil adaptation.

## TABLA DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS.....	3
RESUMEN.....	4
1. INTRODUCCIÓN.....	9
2. JUSTIFICACIÓN.....	12
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	13
4. MARCO TEÓRICO.....	15
4.1. Cultivo de Palma.....	15
4.1.1. Origen.....	15
4.1.2. Taxonomía y morfología.....	15
4.1.2.1. Taxonomía.....	15
4.1.2.2. Morfología.....	16
4.1.3. Importancia económica y distribución geográfica.....	19
4.1.4. Condiciones edafoclimatológicas de la Palma de Aceite.....	19
4.1.5. Material genético.....	21
4.2. Establecimiento del cultivo.....	21
4.2.1 Preparación del terreno.....	22
4.2.2. Eliminación de palmas.....	23
4.2.3. Diseño de riego para palma de aceite.....	23
4.2.3.1 Metodología de diseño.....	24
4.2.4. Diseño de la red de drenaje.....	27
4.2.4.1. Especificaciones de diseño.....	29
4.2.4.2. Ecuaciones de diseño.....	29
5. OBJETIVOS.....	32
5.1 Objetivo general.....	32
5.2 Objetivos específicos.....	32
6. MATERIALES Y METODOS.....	33
6.1 Descripción de la zona de trabajo.....	33
6.1.1. Localización.....	33
6.3. Establecimiento del cultivo.....	35
6.3.1. Diseño de cultivo.....	36
6.3.1.1. Trazado de bloques y lotes nuevos.....	38

6.3.1.2. Sentidos de cosecha nuevos.....	38
6.3.2. Labores de adecuación bloque 242 al 250.....	39
6.3.2.1. Eliminación del cultivo anterior. ....	39
6.3.2.1.1. Elementos utilizados en labores de eliminación del cultivo anterior. ....	40
6.3.2.2. Eliminación de canales de riego y drenaje. ....	41
6.3.2.2.1. Elementos utilizados en el proceso de eliminación de canales: .....	41
6.3.2.3 Delimitación de bloques. ....	41
6.3.2.4. Labranza del suelo. ....	42
6.3.2.3. 1. Elementos utilizados en labor de branza del suelo. ....	43
6.3.2.4. Aplicación de enmienda .....	43
6.3.2.5. Manejo de residuos palma picada.....	44
6.3.2.5. 1. Elementos utilizados en el control de los residuos de palma eliminada.....	45
6.4. Sistema de drenaje y riego a utilizar.....	45
6.4.1. Diseño de drenaje. ....	45
6.4.1.1. Recolección de información en campo.....	45
6.4.1.2. Cálculos de diseño. ....	46
6.4.1.3. Diseño de corte de canales de drenaje. ....	51
6.5.1. Diseño Vías de acceso .....	55
6.6.1. Diseño sistema de riego.....	57
6.6.1.1. Información preliminar para el diseño.....	57
6.6.1.1.1 Concesión de Aguas. ....	57
6.6.1.1.2. Eficiencia Bocatoma Siberia .....	59
6.6.1.1.3. Demanda Ambiental .....	61
6.6.1.2. Cálculos de diseño sistema de riego. ....	64
7. ANALISIS DE RESULTADOS.....	70
7.1. Elaboración del plano de diseño de cultivo para palma de aceite africana ( <i>elaeis guineensis jacq.</i> ) De los bloques 242 al 250 de la finca Siberia. ....	70
7.2. Planificación y ejecución de la erradicación del cultivo anterior y arvense. ....	70
7.3. Eliminación de canales de riego y drenaje. ....	71
7.4. Preparación del terreno para la siembra y aplicación de enmienda.....	72
7.5. Delimitación de bloques. ....	73
7.6. Diseñar el sistema de riego por melgas rectangulares y drenaje superficial. ....	73
7.6.1. Diseño de drenaje. ....	73
7.6.2. Diseño de riego por melgas rectangulares.....	74
8. CONCLUSIONES .....	75

9. RECOMENDACIONES.....	76
BIBLIOGRAFÍA .....	78

### **LISTADO DE GRAFICAS**

Gráfica.1. perfil de terreno del drenaje DT001BLQ242LOT002.....	53
Gráfica.2. perfil de terreno del drenaje DT001BLQ242LOT002 con su respectivo corte. ...	55

### **LISTADO DE FIGURAS**

Figura 1. Palma de aceite africana ( <i>Elaeis guineensis</i> ) .....	17
Figura 2. Partes de una hoja madura de palma africana. ....	17
Figura 3. Inflorescencia masculina.....	18
Figura 4. Inflorescencia femenina .....	18
Figura 5. Racimo de palma africana.....	18
Figura 6. Fruto de palma africana. ....	18
Figura 7. Sistema de drenaje paralelo.....	28
Figura 8. Sistema de drenaje Espina de pescado .....	28
Figura 9. Sistema de drenaje localizado .....	28
Figura 10. Ubicación geográfica de la zona de trabajo. ....	34
Figura 11. Diagrama de flujo programa de establecimiento del cultivo. (Fuente autor 2017) .....	36
Figura 12. Trazado de campo para palmas de aceite (híbrido interespecífico cuari x lame) siembra tres bolillo de 9 m (Iván Alberto Lizarazo Salcedo, 2011).....	37
Figura 13. Perforación de bloque 242 al 250.....	40
Figura 14. Aplicación de herbicida bloque 242 al 250.....	40
Figura 15. Delimitación de lotes finca Siberia. (Fotos fuente autor 2017).....	42
Figura 16. Aplicación de rastra (finca Siberia).....	43
Figura 17. Aplicación de cincel (finca Siberia).....	43
Figura 18. Aplicación de enmienda con encladora bloques 242 al 250.....	44
Figura 19. Lote 242 enmienda aplicada .....	44
Figura 20. Pica de palma en los bloque 242 al 250.....	45

Figura 21. Maquina acomodando palma.....	45
Figura.22.. sección transversal del drenaje secundario.....	48
figura.23. sección transversal del drenaje terciario. ....	50
Figura 24. Vía de acceso principal (unidad de medida: mts) .....	56
Figura 25. Vía de acceso secundaria (unidad de medida: mts) .....	56
Figura 26. Áreas de influencia de los diferentes sistemas de distribución. ....	58
Figura 27. Tramos Evaluados Bocatoma Siberia. (AGRODINCO LTDA., 2014) .....	59
Figura 28. Eficiencia de los Tramos Evaluados Bocatoma Siberia. (AGRODINCO LTDA., 2014).....	60
Figura 29. Valores promedio Mensual de Evapotranspiración según datos diarios para el periodo de 2002 a 2014 .....	61

## **LISTADO DE TABLAS**

Tabla 1. Condiciones edafoclimáticas para la producción y desarrollo de la palma de aceite. (SANDOVALA, 2011).....	20
Tabla 2. Características de la lluvia máxima en 24 horas (mm) San Carlos de Guaroa, Meta. (Robledo., 2005).....	50
Tabla 3. Información topográfica DT 001 BLQ 242 LOT 002. ....	52
Tabla .4. Diseño de cortes de canal de drenaje DT001BLQ242LOT002.....	53
Tabla 5. Especificaciones técnicas y legales de las concesiones con que cuenta la plantación Aceites Manuelita (AGRODINCO LTDA., 2014).....	57
Tabla 6. Resumen de caudales disponibles en los caños que atraviesan la plantación. ....	57
Tabla 7. Pérdidas totales en conducción de la Bocatoma Siberia. (AGRODINCO LTDA., 2014).....	60
Tabla 8. Balance hídrico promedio diario acumulado en meses para el periodo comprendido entre 2002 y 2014 (AGRODINCO LTDA., 2014).....	63
Tabla 9. Lámina de agua realmente aprovechable (LARA) en milímetros.....	65
Tabla 10. Requerimientos netos de agua para Aceites Manuelita en los diferentes meses del periodo seco. Datos para un flujo constante de 24 horas al día, todos los días del mes.....	66

## LISTA DE ANEXO

Informe de consultoría manejo de agua Manuelita, San Carlos de Guaroa 2014  
Plano de diseño de cultivo AutoCAD Map 2010.

## 1. INTRODUCCIÓN

Las actividades de Agroindustria de la Palma de Aceite vienen desarrollándose en forma comercial desde la década de 1960. En la actualidad el área cultivada en Colombia llega a las 365.000 hectáreas y se desarrolla en 105 municipios de 16 departamentos. La capacidad instalada de plantas de beneficio en el país es de 1109 toneladas por hora, siendo así uno de los mayores productores de América. (FEDEPALMA, Febrero de 2011)

A diferencia de otros cultivos perennes, que inician su producción a los cuatro o más años, esta palma tropical inicia la producción a partir del segundo año de establecida en campo y continúa por más de veinticinco años con una producción de racimos durante todo el año, tiene un promedio de 1,500 frutos por racimo. (Esquives, 2011)

Buscando el mejoramiento de la productividad surge la necesidad de renovar los lotes con bajo rendimiento por vejez e implementar un diseño de cultivo que supla los requerimientos de la nueva siembra, teniendo en cuenta factores importantes como el clima y la edafología de la zona de intervención.

La finalidad del presente proyecto es elaborar el diseño de cultivo y adecuar 239 hectáreas en renovación de palma de aceite africana (*elaeis guineensis* jacq) considerando como elementos principales las vías de acceso, el sistemas de riego y drenaje.

Existe una relación directa del agua con la productividad de la palma de aceite africana (*elaeis guineensis* jacq.). Un déficit acumulado de hasta **700 mm/año** pueden disminuir la producción potencial hasta en un **50%** así mismo existen reportes de zonas con mal drenaje que pueden verse afectadas de manera directa en más de **5 Ton/Ha/año** (CORLEY, 1996).

El mal drenaje presenta un efecto negativo en la eficiencia de la fertilización, ya que bajo condiciones de anegamiento<sup>1</sup>, las raíces no asimilan los nutrientes. Igualmente se ha demostrado una alta predisposición a la pudrición de cogollo (PC)<sup>2</sup>. Cuando hay condiciones de mal drenaje (MONTROYA, 1991).

De lo anterior, y sabiendo que las actuales perspectivas económicas del negocio de la palma de aceite exigen plantaciones eficientes, sostenibles y de alta productividad, es claro que uno de los principal factor productivos que se debe intervenir es el agua, las condiciones actuales exigen que las plantaciones implementen programas de optimización de la infraestructura de manejo del agua y tengan claros unos lineamientos para su operación y conservación.

---

<sup>1</sup> Inundación de un terreno.

<sup>2</sup> Terrible enfermedad que ataca la palma de aceite.

## 2. JUSTIFICACIÓN

En la plantación de la finca Siberia, propiedad del grupo empresarial Manuelita Aceites y Energía S.A, se requieren renovar 239 hectáreas de palma de aceite africana (*elaeis guineensis* jacq) que ya cumplieron su etapa productiva. Las áreas que se desean renovar son siembra de 1988 y fueron adquiridas por la compañía en el año 2004.

Para el establecimiento inicial de las 239 hectáreas no se contó con una asesoría adecuada para elaborar el diseño de cultivo, principalmente por el desconocimiento que se tenía sobre la palma de aceite africana (*Elaeis Guineensis* jacq) en la época.

La erradicación de palma de aceite por vejez de los cultivos impacta en forma importante el flujo de caja de las empresas. De manera que tomar la decisión de llevarla a cabo se convierte en una oportunidad para corregir diseños de la plantación que han generado sobrecostos.

La logística del diseño actual de la plantación encarece la labor de cosecha al dificultar el tránsito del personal que se dedica a esta labor obligándolos a hacer recorridos muy largos para llegar a los puntos de acopio de fruto, otro tipo de sobrecostos se deriva de la deficiente adecuación fisicoquímica de los suelos o de no haber considerado sus características para la definición de lotes, construcción de vías de acceso, riego y drenaje, lo que se refleja en baja productividad por lo que se requiere de diferentes actividades agrícolas encaminadas a suplir las necesidades de la nueva siembra y obtener producciones óptimas.

El establecimiento adecuado de un cultivo perenne como la palma de aceite africana (*Elaeis Guineensis* jacq.) está directamente relacionado con la productividad y duración del mismo, es un hecho que en la actualidad las condiciones climáticas y características edafológicas de la zona presentan retos para la industria de la palmicultura haciendo necesaria la implementación de nuevos métodos para la preparación de los suelos y la adecuación del terreno

### **3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

La palma de aceite africana (*elaeis guineensis jacq.*) Tiene una vida útil de 25 años, después de esto se hace económicamente inviable debido a su baja productividad y la dificultad para desarrollar labores de campo tales como podas y cosecha, por superar los 15 metros de altura (Ling-Hoak Ooi, 2006). La siembra actual ya cumplió con su etapa productiva y Manuelita Aceites y Energía S.A tomo la sección de renovar los bloques 242 al 250 de la finca Siberia.

Para iniciar el proceso de renovación se requiere de una adecuada erradicación de las palmas actuales, evitando así posibles problemas de plagas y enfermedades a la plantación futura, también es importante la relación que existe entre el tiempo de establecimiento con el uso de cosecha tradicional o mecanizada que a lo largo del tiempo ha generado un impacto directo sobre los procesos de compactación del suelo haciendo necesaria la intervención de actividades que ayuden a la recuperación de este para garantizar el buen desarrollo de las palmas futuras.

Otros factores importantes a tener en cuenta son las características climáticas y edafológicas de la zona, que hacen que el sistemas de riego y drenaje utilizado actual y

heredado del cultivo de arroz sean un problema, porque no cumple con las características de un diseño eficiente para el cultivo de palma de aceite africana (*elaeis guineensis jacq.*) haciendo que durante el periodo de lluvias se presenten inundaciones dentro de los lotes dificultando las labores de campo y afectando de forma directa la buena salud y la producción del cultivo por la falta de evacuación de agua ya que el exceso de humedad produce una reducción en el contenido de oxígeno del suelo generando así una disminución en la tasa de respiración de las raíces de la planta, la absorción de agua y nutrientes, lo que propicia la formación de enfermedades y de sustancias tóxicas (CORLEY, 1996). Mientras que durante el periodo de sequía que corresponde a los meses de diciembre, enero, febrero y marzo se presenta déficit hídrico debido al mal manejo del agua sumado a las pérdidas por escorrentía e infiltración debido al mal estado de las vías de riego, por esta razón es importante realizar un diseño que supla las necesidades del cultivo (AGRODINCO LTDA, 2015).

Los suelos de los bloques a intervenir tienen características oxisoles, estos son infértiles debido a la falta de materia orgánica y a la completa ausencia de minerales solubles, los largos periodos de lluvia de la zona hacen que los suelos se acidifiquen y laven los minerales de la capa superficial presentando deficiencias de elementos nutritivos tales como nitrógeno, fósforo, potasio, magnesio y boro, que obligan a un manejo adecuado de la fertilización e imponen la aplicación de enmiendas (Edgar Álvaro Ávila Pedraza, 2009)

## **4. MARCO TEÓRICO**

### **4.1. Cultivo de Palma.**

#### **4.1.1. Origen**

La Palma aceitera africana es una planta tropical propia de climas cálidos cuyo origen se ubica en la región occidental y central del continente africano, concretamente en el golfo de Guinea, de ahí su nombre científico *Elaeis guineensis Jacq*, donde ya se obtenía desde hace 5 milenios. A pesar de ello, fue a partir del siglo XV cuando su cultivo se extendió a otras regiones de África. Su propagación a mínima escala se inició en el siglo XVI a través del tráfico de esclavos en navíos portugueses, siendo entonces cuando llegó a América, después de los viajes de Cristóbal Colón, concretamente a Brasil. En esta misma época pasa a Asia Oriental (Indonesia, Malasia, etc.) (Siahaan, 2010)

#### **4.1.2. Taxonomía y morfología.**

##### **4.1.2.1. Taxonomía**

Reino:     Plantae

División:   Magnoliophyta

Clase:       Liliopsida

Subclase:   Commelinidae

Orden:      Arecales

Familia:        *Arecaceae*  
Subfamilia:   *Coryphoideae*  
Género:        *Elaeis*  
Especie:       *E. guineensis* Jacq.

#### **4.1.2.2. Morfología**

La Palma aceitera africana es una palmera monoica (las flores femeninas y masculinas, se producen independientes, en una misma planta) con tronco solitario de 10 a 20 m. de altura y 30 a 60 cm. de diámetro con cicatrices de las hojas viejas como se muestra en la figura 1. Hojas pinnadas de 4 a 5 m. de longitud, con 100-150 pares de folíolos de 50-100 cm. de longitud. Se insertan en el raquis en varios planos, dándole a la hoja aspecto plumoso, de color verde en ambas caras. Pecíolo de 1-1.5 m. de longitud con los folíolos de la base convertidos en espinas y con fibras (ver figura 2), en condiciones normales las palmas adultas tienen entre 30 y 49 hojas funcionales. Inflorescencia corta pero muy densa, de 10-30 cm. de longitud (ver figura 3 y 4). Frutos ovoides, muy abundantes, en racimos con brácteas puntiagudas. Son de color rojizo y de hasta 4 cm. de diámetro (ver figura 5 y 6). Es Alógama<sup>3</sup>, pues su polinización es cruzada y además es una planta perenne. (HORMAZA.P.A, 2010)

---

<sup>3</sup> Tipo de reproducción sexual en plantas consistente en la polinización cruzada y fecundación entre individuos genéticamente diferentes.



**Figura 1.** Palma de aceite africana (*Elaeis guineensis*)

Fotos fuente autor (2017).



**Figura 2.** Partes de una hoja madura de palma africana.

Fotos P. Hormaza (2010).



**Figura 3.** Inflorescencia masculina.  
Fotos fuente autor (2017).



**Figura 4.** Inflorescencia femenina  
Fotos fuente autor (2017).



**Figura 5.** Racimo de palma africana.  
Fotos P. Hormaza (2010).



**Figura 6.** Fruto de palma africana.  
Fotos P. Hormaza (2010).

#### **4.1.3. Importancia económica y distribución geográfica.**

La palma africana ha sido utilizada desde la antigüedad para la obtención de aceite. Produce dos tipos de aceite, el del fruto y el de la semilla, respectivamente. El aceite alimentario se comercializa como aceite comestible, margarina, cremas, etc., y el aceite industrial es utilizado para la fabricación de biodiesel, cosméticos, jabones, detergentes, velas, lubricantes, etc. El aceite de palma africana representa casi el 38 % de la producción de aceites vegetales en el mundo. Es considerado como el segundo aceite más ampliamente producido sólo superado por el aceite de soya. África central fue el productor principal, concretamente el Congo antes de su independencia y posteriormente Nigeria. Desde los años 80, Malasia comienza el dominio del mercado, sin embargo, con la crisis asiática de 1997, la tendencia fue invertir en otras áreas del trópico. En América Latina, después de ensayos poco exitosos al principio del siglo XX, se retomó nuevamente el cultivo de forma extensiva a finales de los años 80.

El cultivo de la palma de aceite se inició en varios países de Latinoamérica para diversificar las fuentes de abastecimiento de materia prima de la industria de aceites y grasas, desarrollar cultivos promisorios en zonas tropicales apartadas y también contribuir al ahorro y a la generación de divisas de las economías nacionales. (CORREDOR.C.A., 1998). Colombia se ubica como el cuarto productor de aceite de palma en el mundo, apenas con una participación del 2,4%, y el primero en Latinoamérica, con el 40%. (MESA.D.J, 2000)

#### **4.1.4. Condiciones edafoclimatológicas de la Palma de Aceite.**

La palma de aceite es una planta de origen tropical, por lo que las mejores condiciones para su desarrollo se encuentran en regiones con clima tropical húmedo, también tiene buena adaptación en

regiones del trópico subhúmedo con el auxilio de riego, en la tabla 1 se relaciona cada concepto y la condición requerida para el adecuado establecimiento de la palma.

**Tabla 1. Condiciones edafoclimáticas para la producción y desarrollo de la palma de aceite. (SANDOVALA, 2011)<sup>4</sup>**

Concepto	Bueno	Mediano	Marginal
<b>1. Agua*</b> Cuando existe riego no aplica			
Precipitación media anual. mm	>1800	1500-1800	<1500
Número de meses secos, <60 mm de lluvia al mes	<1	2-3	4
<b>2. Temperatura °C</b>			
Media anual promedio	22-28	18-22, 28-32	<18, >32
Máxima anual promedio	27-33	22-27, 33-37	<22, >37
Mínima anual promedio	18-27	14-18, 27-33	<14
Media mensual	>18	<18	
<b>3. Suelo</b>			
Profundidad, cm	>75	75 -50	<50
Drenaje	Moderado a imperfecto	Pobre, fácil de drenar	Pobre, difícil de drenar
Pendiente, %	<12	12-23	>23
Inundación	Ninguna	Menor, máx. dos días	Severa
Salinidad, mmhos/cm	<1.0	1-3	>3
<b>4. Fertilidad</b>			
pH	4.0-6.0	3.5 - 4.0	<3.5**
CIC <sup>5</sup> , meq/100g	>16	14.0-16.0	<16
Bases intercambiables, %	>20	<20	
<b>5. Varios</b>			
Humedad relativa, %			
- Media anual	>80%		
Altitud, msnm	<300	300-400	>400
Luminosidad			
- Horas sol anual	>2000		
- Horas sol diario	>7		
- Radiación MJ/m <sup>2</sup> día	>12		

<sup>4</sup> Fuente de la tabla, extraída del informe de Palma de Aceite (*Alaéis guinnensis* Jacq.) Establecimiento y mantenimiento, Alfredo Sandoval Esquivés, Centro de Investigación Regional Pacífico Sur.

<sup>5</sup> Capacidad de intercambio catiónico.

#### **4.1.5. Material genético**

**Variedad Dura:** Se caracteriza por tener frutos con una semilla de cáscara gruesa, y poco mesocarpio o tejido aceitoso. Con estas variedades se establecieron las primeras plantaciones en el mundo.

**Variedad Pisífera:** Este grupo produce frutos que no forman semilla y generalmente no alcanzan la madurez, pero son altas productoras de polen para realizar cruza.

**Variedad Tenera:** Son híbridos producto de la cruza de Dura x Pisífera (D x P), que producen frutos con una semilla de cáscara con grosor intermedio y abundante producción de mesocarpio. Actualmente, las variedades Tenera son universalmente usadas en las plantaciones comerciales. (SANDOVAL.A, 2011).

#### **4.2. Establecimiento del cultivo.**

Antes de establecer la plantación es necesario planear las actividades con oportunidad, verificar que el terreno reúna las condiciones para el cultivo y esté a menos de 20 kilómetros de la extractora, ya que las ganancias disminuyen conforme aumentan las distancias de transporte de la cosecha. Con esto se busca que al inicio de las lluvias, época recomendada para plantar, el suelo esté preparado y la infraestructura construida y en operación.

La infraestructura obligatoria para un módulo de plantaciones, es vías y planta extractora. Adicionalmente, contar con un sistema de riego y/o drenaje. Todo debe ser diseñado por personal especializado, de tal forma que las vías comuniquen a toda la plantación para introducir fertilizantes y plaguicidas, y extraer la cosecha durante todo el año, con menos de cien metros de acarreo.

La red de vías en grandes plantaciones inicia con vías o veredas de cosecha, por donde gente o animales acarrear los racimos a las vías recolectores o fruteros, distantes a menos de 200 m entre sí. Se sugiere que éstos últimos sean de 4 metros de ancho y transitables todo el año por las carretas o

equipo de acopio, estos a su vez, se unen a las vías secundarias, aproximadamente de un kilómetro entre sí, de siete metros de ancho, recubiertos con grava, y con cunetas de 1.5 metros a cada lado. Finalmente, éstos confluyen al camino principal que lleva a la planta extractora.

Generalmente el riego, se hace por gravedad o rodado por ser de bajo costo. El diseño del sistema de riego debe tener en cuenta la cantidad y calidad de agua que requiere el cultivo, así como la obtención de los permisos para su aprovechamiento.

Generalmente los drenes o canales son de 1.5 metros de profundidad, a cielo abierto. Los drenes deben tener la capacidad para desalojar el agua de una lluvia de 200 milímetros por día en al menos 48 horas y mantener el manto freático a más de 80 centímetros de profundidad todo el año. Estos en la época seca pueden convertirse en canales para subirrigar la plantación. Se sugiere construir los drenes y vías paralelos, uno al lado del otro, para reducir costos y facilitar su mantenimiento. Estos sistemas no deben obstaculizar las labores del cultivo. (SANDOVALA, 2011)

#### **4.2.1 Preparación del terreno**

Debe iniciarse anticipadamente con la eliminación de la vegetación existente, durante la época seca. No se aconseja usar maquinaria pesada, ya que puede destruir el suelo al exponerlo a la erosión. Si el suelo está suave, no compactado, se puede plantar inmediatamente sin necesidad de mayor laboreo.

En terrenos ganaderos y/o compactados después de eliminar la vegetación, se realiza un subsoleo a una profundidad de 60 a 80 centímetros con el suelo húmedo, pero sin exceso. Finalmente, se barbecha a una profundidad de 20 a 40 centímetros y se rastrea una o dos veces. (PALMERABLOG, 2008)

#### **4.2.2. Eliminación de palmas**

Existen varias formas de eliminar las palmas viejas para sembrar nuevas palmas en lotes de renovación. Los métodos de eliminación más conocidos son:

##### **a) Envenenamiento de palmas**

Se le inyectan a las palmas 100 cm<sup>3</sup> de Ánsar. Previamente se abre con la motosierra y la lámina de ésta, a unos 80 cm del suelo, una ranura paralela al suelo de unos 30 a 40 cm de profundidad dentro del estípite. El herbicida es absorbido por la planta.

##### **b) Tumba con bulldózer.**

Las palmas se tumban utilizando un tractor de orugas, equipado con un bulldozer.

##### **d) Tumba con motosierra.**

Consiste en eliminar las palmas cortándolas con motosierra. (CELIO.L.A, 2000)

#### **4.2.3. Diseño de riego para palma de aceite.**

El riego consiste en aplicar agua a un cultivo de manera artificial a fin de reponer un déficit hídrico que este presenta por condiciones ambientales.

Para el caso de la palma de aceite está bastante documentado el efecto que el estrés hídrico presenta sobre su productividad y por lo tanto es posible determinar de acuerdo a diferentes factores, la viabilidad de la implementación de un sistema de riego en función a las condiciones locales de oferta hídrica, se puede cuantificar qué posibilidades hay de suplir dicho déficit. Esto, conjugado con condiciones topográficas, suelos, aspectos sociales y ambientales, disponibilidad energética, etc., permite seleccionar el método que mejor se adapte, y al cuantificar sus costos de implementación, operación y mantenimiento es posible definir la viabilidad financiera de su adopción (ÁLVAREZ.S.M, 2016).

#### **4.2.3.1 Metodología de diseño**

Para comenzar a diseñar, se debe contar como en cualquier método de riego con las características físicas del suelo, cultivo y plano topográfico del área por irrigar.

Diseño de melgas rectangulares con base en ecuaciones empíricas (CIFUENTES.M.G, 2006)

Datos:

1. Plano del terreno con curvas de nivel con equidistancia vertical de 10 m.
2. Nivel de la entrada de agua y altura de operación de los canales alimentadores.
3. Cultivo que se va implantar.
4. Textura del suelo.
5. Láminas de riego.
6. Eficiencia de riego.
7. Infiltración básica o curva de velocidad de infiltración.
8. Ancho de implementos cosechadores.

#### **Incógnitas de diseño:**

1. División en tablas de riego (estas se obtienen del plano).
2. Dirección del trazo de las melgas (estas se obtienen del plano)
3. Pendiente trazo,  $S$  [%]
4. Anchura de melgas,  $W$  [m].
5. Longitud de riego o de melga,  $L$  [m].
6. Lámina de riego por aplicar,  $L_r$  [cm].
7. Gasto por melga,  $Q$  [lps].
8. Tiempo de riego por melga,  $T$  [hr].
9. Tiempo total de riego del campo,  $T_r$  [días].

Examinando cuidadosamente el plano del terreno, este se divide en tablas regulares que tengan aproximadamente una configuración y pendiente semejantes. En cada una de estas tablas se deberán tener los datos enunciados antes.

En cada tabla se llevará a cabo el siguiente análisis:

1. Teniendo en cuenta que la pendiente transversal de las melgas debe ser nula o mínima, se orientará la dirección de las melgas de manera que la pendiente mayor sea a lo largo de las mismas dentro de los límites marcados para el método, cuidando en algunos casos de hacer los cambios de dirección mínimos necesarios para evitar “altos” o “bajos” debido a la micro topografía del terreno.
2. De acuerdo al sentido de la pendiente y el lugar de entrada de agua se resta del valor de la cota de la curva de nivel en el punto más alto de la tabla el valor de la cota del extremo inferior, midiendo la distancia entre los dos puntos en forma paralela a la dirección de las melgas.

La pendiente de las melgas rectangulares se calcula con la ayuda de la ecuación 1, que se muestra a continuación:

$S = ((N - N2)/D) * 100$	(1)
--------------------------	-----

En la que:

S = Pendiente [%]

N = Cota del punto más alto de la tabla [m]

N2 = Cota del punto más bajo de la tabla [m]

D = Distancia entre cotas [m]

3. El ancho de las melgas se selecciona procurando que la pendiente transversal sea mínima y considerando el ancho de los implementos cosechadores, así el ancho de melga será múltiplo de esta dimensión (2 o 3 veces el ancho de una cosechadora o sembradora por ejemplo), también se toma en cuenta si hay pendiente transversal que la diferencia entre bordos no sea mayor de 5 cm.

4. La lámina de riego, se define de acuerdo a las características de la relación planta - suelo - clima, se aplica una eficiencia de riego de acuerdo al método y pendiente, de esta forma la lámina de riego se obtiene con la ecuación 2 mostrada a continuación:

<b><math>L_n = (L_r/E_a) * 100</math></b>	<b>(2)</b>
---	------------

Dónde:

$L_n$  = Lámina neta a aplicar [cm]

$L_r$  = Lámina de riego [cm]

$E_a$  = Eficiencia en la aplicación [fracción]

5. La longitud de melgas se dimensiona de acuerdo al terreno sin sobrepasar los límites mencionados antes, de acuerdo a la textura del suelo y a la infiltración básica y también a las dimensiones de la tabla en cuestión, procurando que las longitudes sean lo más uniformes posible. Si se conoce el gasto de dotación a la tabla ( $Q$ ), se utilizará la ecuación 3 mostrada a continuación.

<b><math>L = 100Q/q^w</math></b>	<b>(3)</b>
----------------------------------	------------

Dónde:

$L$  = Longitud de la melga [m]

$Q$  = Gasto de la melga [lps]

$q$  = Gasto unitario [lps /100 m]

$W$  = Ancho de la melga [m]

6. El gasto de riego en melgas se calcula con la ecuación 4 mostrada a continuación:

<b><math>Q = \frac{(qlw)}{100}</math></b>	<b>(4)</b>
---	------------

7. El tiempo de riego por melga se calcula con la ecuación 5 mostrada a continuación:

$T = (Lr/3.6 * q)$	(5)
--------------------	-----

8. El tiempo total de riego del campo o tabla se calcula con la ecuación 6 mostrada a continuación:

$Tr = [416.67 * T * Sp)/WL$	(6)
-----------------------------	-----

Dónde:

Tt = Tiempo de riego de la tabla [días]

T = Tiempo de riego por melga [hr]

Sp = Superficie de la tabla [ha]

L = Longitud de las melgas [m]

W = Ancho de melgas [m]

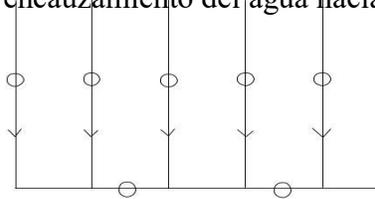
A fin de ser más explícitos en el diseño, se pondrá un ejemplo con un cultivo con el fin de describir más fácilmente la metodología a seguir.

#### 4.2.4. Diseño de la red de drenaje

El sistema de recolección del agua puede ser uno o componerse de varias de las siguientes obras:

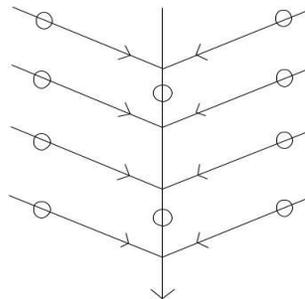
- Nivelación, emparejamiento o “conformación” de la superficie del terreno, con el fin de suprimir las hondonadas o depresiones que acumulen agua o bien dando pendientes suaves al terreno para que propicie el escurrimiento del agua.

- Surcos profundos y con pendiente continúa hacia una zanja conectada con los colectores de drenaje.
- Zanjas, canales o desagües, ya sean para interceptar, captar y desalojar el agua o para unir las partes bajas de los terrenos con los colectores de drenaje.
- Bordos para protección o encauzamiento del agua hacia las zanjas colectoras.



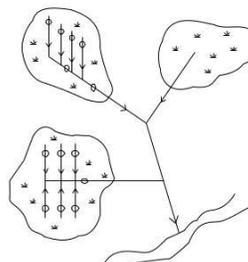
**Figura 7.** Sistema de drenaje paralelo

Con pendiente cruzada que siguen el contorno de la pendiente en terrenos moderadamente inclinados de topografía irregular (espina de pescado).



**Figura 8.** Sistema de drenaje Espina de pescado

Localizado para drenar las depresiones donde existen encharcamientos en terrenos relativamente planos de topografía ondulada.



**Figura 9.** Sistema de drenaje localizado

Fuente: Types of relief drainage systems (SCS-USDA: Drainage of Agricultural Land (1973))

#### 4.2.4.1. Especificaciones de diseño.

**Diseño de la red.** Según Rojas (1976), el diseño de un sistema de drenaje superficial comprende dos fases principales, el trazo y el diseño de las secciones hidráulicas.

**Trazo de la red.** El trazo de la red de drenaje, consiste en la elaboración de un plano con la ubicación de cada uno de los drenes primarios y secundarios. Para dicho trazo se tomarán en cuenta según IMTA (1986), las siguientes especificaciones:

**Localización.** Los drenes deberán localizarse siempre sobre cauces naturales, con los acondicionamientos que requieran para darles la capacidad y funcionamiento adecuados.

**Parcelamiento.** El trazado debe facilitar en lo posible un parcelamiento adecuado, ya que la tenencia de la tierra influye en la densidad de la red básica de drenaje. Así, mientras mayor sea el tamaño de los predios o lotes, menor será el número de los mismos y por lo tanto, la longitud de los canales de desagüe.

**Trazo.** IMTA (1986) señala que para tener un mejor funcionamiento hidráulico, es deseable que los canales de desagüe tengan trazo recto y que se eviten en lo posible cambios de dirección. Sin embargo, es mejor el que se obtiene mediante canales que sigan las partes de bajas de los terrenos encharcados, en cuyo caso es necesario construir curvas en cada cambio de dirección. En general, deberán evitarse las curvas muy cerradas, eligiendo curvas suaves a fin de mejorar las características hidráulicas y la estabilidad de las secciones de los canales de desagüe.

#### 4.2.4.2. Ecuaciones de diseño.

1. EL Área del dren “A” ( $m^2$ ). Se calcula con la ecuación 7 presentada por (Arteaga Narváez, 1993)

$A = (b + zy) * y$	<b>(7)</b>
--------------------	------------

Dónde:

b = base [m]

y = Tirante hidráulico (m)

z = Talud de la pared (adim.)

2. Perímetro de mojado “P” (m). Se calcula con la ecuación 8 presentada por (Arteaga Narváez, 1993):

$P = b + 2y\sqrt{(z^2 + 1)}$	<b>(8)</b>
------------------------------	------------

Dónde:

b = base (m)

y = Tirante hidráulico (m)

z = Talud de la pared (adim.)

3. Radio hidráulico “R” (m). Se calcula con la ecuación 9 presentada por (Arteaga Narváez, 1993):

$Rh = \frac{(b + zy)y}{b + zy\sqrt{1 + z^2}}$	<b>(9)</b>
---	------------

Dónde:

b = base [m]

y = Tirante hidráulico [m]

z = Talud de la pared [adim.]

4. Libre bordo “E” [m] se calcula con la ecuación 10. Es recomendable usarse para secciones sin revestimiento en tanto no se tengan valores específicos (Arteaga, 1993).

$E = 1/(3 * y)$	<b>(10)</b>
-----------------	-------------

Dónde:

y = Tirante hidráulico [m]

5. El drenaje superficial se determina como el exceso de agua de escorrentía que se debe evacuar en un tiempo dado. Puede ser expresado mediante la ecuación 11:

$Cd = E/Td$	<b>(11)</b>
-------------	-------------

Dónde:

$Cd$  = Coeficiente de drenaje superficial [lps/ha]

$E$  = Escorrentía total expresada en términos de lámina [mm]

$Td$  = Tiempo de drenaje en horas. Para el cultivo de palma de aceite lo ideal es que el tiempo de drenaje no supere las 48 horas, esto para permitir el normal desarrollo de las labores culturales del cultivo.

6. El coeficiente de drenaje superficial ( $Cd$ ) se puede también expresar en términos de caudal por unidad de área y se calcula con la ecuación 12:

$Cd = 2.78 * E / Td$ (lps/ha)	<b>(12)</b>
-------------------------------	-------------

7. La escorrentía total ( $E$ .) se puede determinar mediante el balance hídrico, de acuerdo a la siguiente relación:

$E = P - I - ET$	<b>(13)</b>
------------------	-------------

Dónde:

$E$  = Escorrentía total

$P$  = Lluvia crítica de diseño obtenida en el análisis de frecuencia de precipitaciones con un Periodo de retorno de 5 años.

$I$  = Infiltración total durante el tiempo de drenaje.

$ET$  = Evapotranspiración durante el mismo periodo de tiempo.

## **5. OBJETIVOS**

### **5.1 Objetivo general**

Adecuar 239 hectáreas en renovación para siembra de palma de aceite africana (*elaeis guineensis* jacq.) Híbrido interespecífico cuari x lame, finca Siberia.

### **5.2 Objetivos específicos**

- elaborar el plano del diseño de cultivo para palma de aceite africana (*elaeis guineensis* jacq.) de los bloques 242 al 250 de la finca Siberia.
- Planificar y ejecutar la erradicación del cultivo anterior y de las arvenses.
- Preparar el terreno para la siembra
- Elaborar los planes de aplicación de enmiendas en el suelo según sugerencia del agrónomo.
- Diseñar el sistema de riego por melgas rectangulares y drenaje superficial.

## **6. MATERIALES Y METODOS**

La metodología utilizada para desarrollar el presente proyecto se basó en la revisión detallada de toda la información técnica disponible relacionada con la adecuación y establecimiento de palma de aceite en Manuelita Aceites y Energía S.A. Después de analizar la información se procede a verificarla con visitas de campo de acuerdo a un orden racional previamente definido: 1) Ubicación, identificación e inspección geográfica de los bloques involucrados así como sus lotes con su sentido de cosecha actual; 2) Revisión de la infraestructura de aplicación de riego; 3) Revisión de la Infraestructura de drenaje.

Además de tomar datos en campo para conocer las condiciones generales de los lotes, con ayuda del personal técnico y operativo de la plantación se define el orden de las actividades a desarrollar, se establece una comunicación continua con el personal quienes aportan la información requerida en su momento.

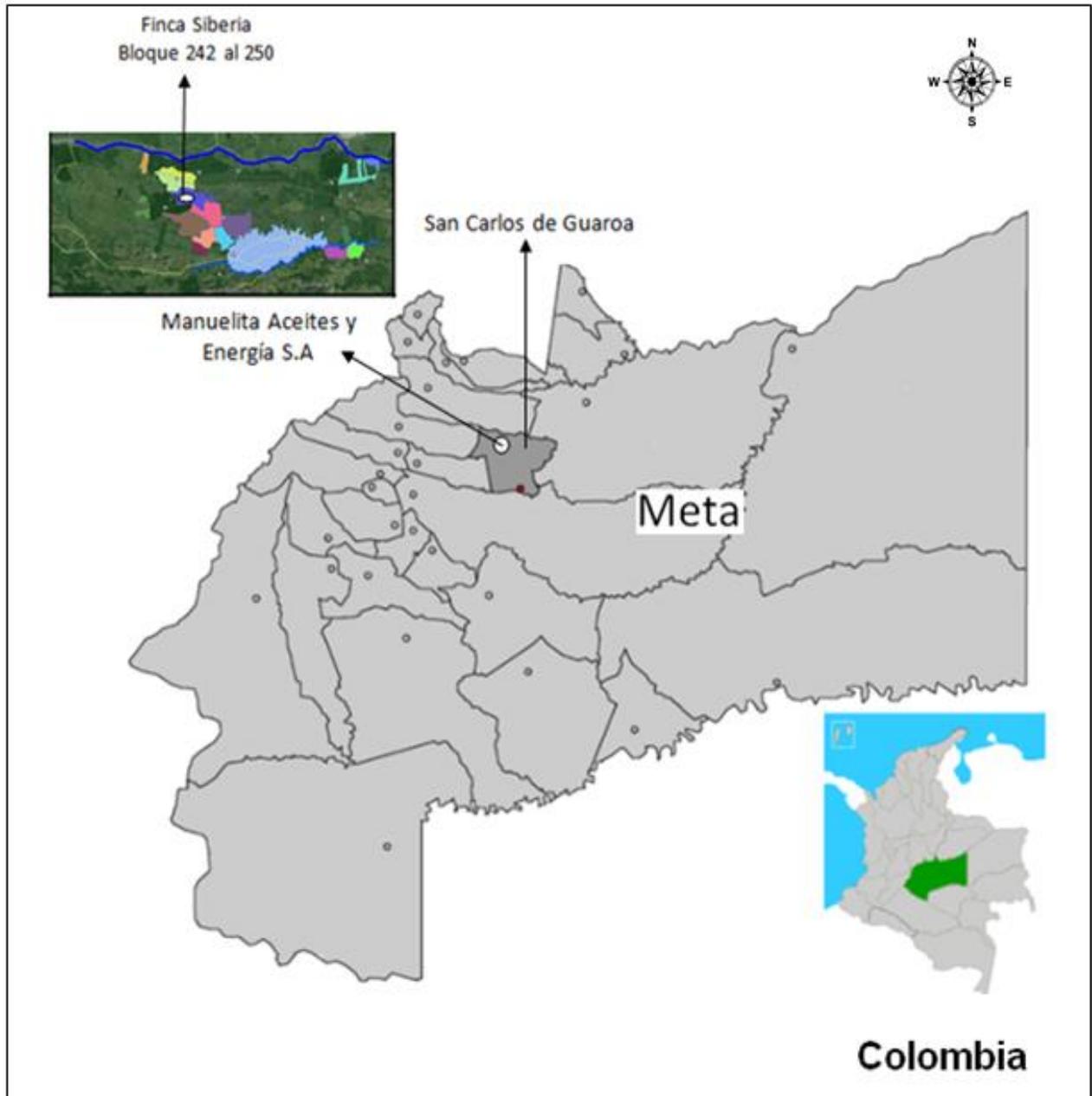
Posteriormente, se desarrolla una fase de trabajo de oficina, que contempla el procesamiento y análisis de la información obtenida para dar paso a las actividades de adecuación y establecimiento.

### **6.1 Descripción de la zona de trabajo**

#### **6.1.1. Localización.**

Las plantaciones se encuentran localizadas en el Km 12 vía Dinamarca – Surimena, municipio de San Carlos de Guaroa, Meta, Colombia (Figura 1). El piso térmico es cálido con alturas que oscilan entre los 250 y 300 msnm; las coordenadas geográficas de los puntos extremos del grupo de plantaciones estudiadas se mencionan a continuación:

3° 50' 17" y 3° 58' 40" de latitud norte y 73° 11' 45" y 73° 25' 38" de longitud al oeste del meridiano de Greenwich.



Fuente autor (2017)

**Figura 10.** Ubicación geográfica de la zona de trabajo.

## **6.2. Estudios preliminares para la elaboración del proyecto.**

La empresa Manuelita Aceites y Energía tiene 6.385 hectáreas cultivadas con palma aceitera, entre estas las 239 hectáreas en renovación de la finca Siberia localizada en San Carlos de Guaroa.

Manuelita Aceites y Energía a lo largo de su trayectoria ha tenido la oportunidad de realizar diversos estudios en asociación con Fedepalma y Cenipalma en busca del continuo mejoramiento en adecuación, administración, operación y mantenimiento de las 6385 hectáreas de palma aceitera con el fin de satisfacer las necesidades del cultivo y obtener un continuo aumento en la producción de frutos.

Entre los estudios realizados hay dos que son de importancia para el desarrollo de este proyecto; las características de los suelos de la plantación y el manejo de agua, en donde los principales factores evaluados fueron, la oferta y demanda climática, infraestructura de captación, distribución y reparto, eficiencia de conducción, requerimientos hídricos brutos de la plantación entre otros factores importantes del manejo de agua.

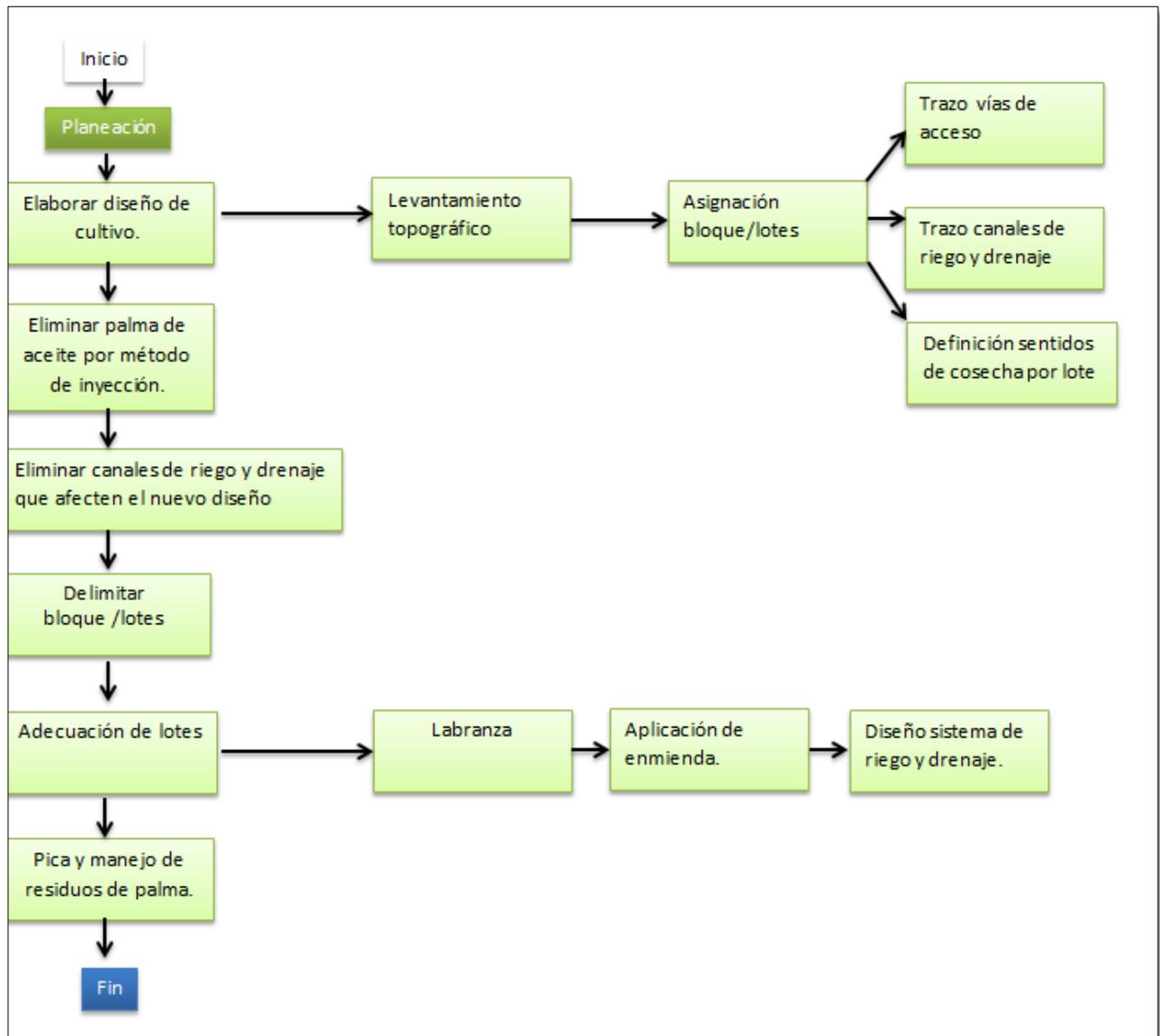
Toda la información necesaria para elaborar el diseño de riego y drenaje es aportada por la empresa, por tal razón no se requiere desarrollar ningún tipo de prueba o estudio para la obtención de los datos, solo se hará una consulta bibliográfica de los documentos mencionados anteriormente para extraer la información que se requiera.

Los elementos de consulta serán citados y presentados como anexos del presente proyecto.

### **6.3. Establecimiento del cultivo**

La palma de aceite como cultivo de carácter perenne, requiere terrenos con condiciones topográficas y agroecológicas óptimas para su crecimiento, desarrollo y productividad.

Con base a las características geomorfológicas, los levantamientos topográficos y los planos se desarrollan las actividades de preparación de los lotes como se muestra en la figura 8, que en términos generales incluye erradicación del cultivo anterior, limpieza, preparación del terreno y construcción de diseño de canales para riego y drenaje.



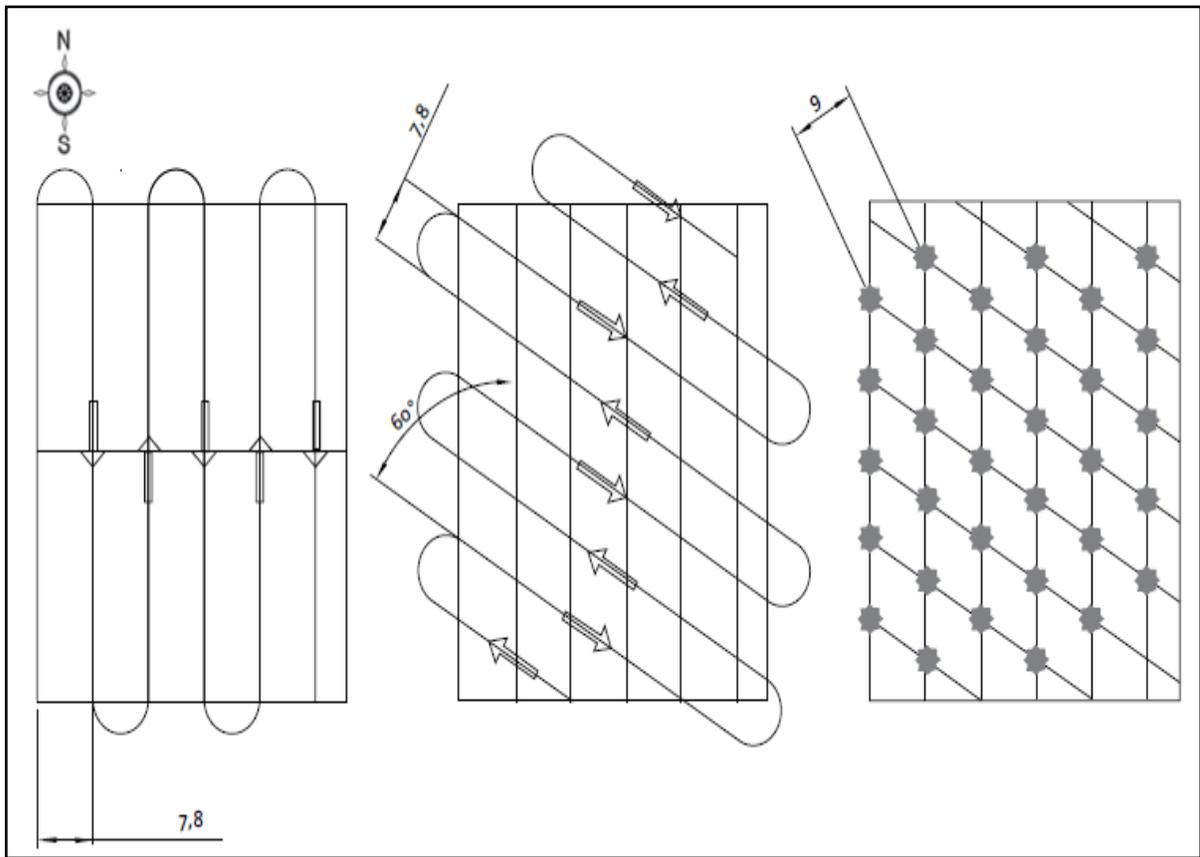
**Figura 11.** Diagrama de flujo programa de establecimiento del cultivo. (Fuente autor 2017)

### 6.3.1. Diseño de cultivo.

Como se trata de un diseño de cultivo para renovación es importante apoyarse no solo de la información topográfica sino también de una serie de visitas a campo con el fin de identificar sentidos de cosecha actual, vías de acceso, de riego y drenajes existentes en cada uno de los bloque-lotes a intervenir, con esta información se crea una lista de atributos y de esta forma se identifica la dimensión de los cambios que se deben realizar en campo en el momento de establecer la nueva plantación, esto es importante para cuantificar los costos de adecuación del terreno y no estar por

encima del presupuesto establecido, también es oportuno recordar que la renovación es una oportunidad de corregir fallas en el diseño de cultivo para minimizar costos y tener buena producción de fruto a futuro.

Inicialmente se construye en AutoCAD una malla de palmas con las especificaciones de trazo que se muestra en la figura 9, recomendada para la variedad de palma de aceite que se utilizara (híbrido interespecífico cuari x lame) esta se monta al plano del terreno de intervención utilizando el mismo programa con el fin de identificar los puntos exactos de siembra y poder realizar el trazo de vías de acceso, drenajes y riego sin afectar la densidad de siembra o interferir con las labores en campo.



**Figura 12.** Trazado de campo para palmas de aceite (híbrido interespecífico cuari x lame) siembra tres bolillos de 9 m (Iván Alberto Lizarazo Salcedo, 2011).

#### **6.3.1.1. Trazado de bloques y lotes nuevos.**

Para este proyecto se realiza la intervención de los bloques 242 al 250 estos divididos a su vez por los lotes 242-1, 243-1, 244-1, 245-1, 246-1, 247-1, 248-1, 249-1, 250-1, 250-2, 250-3, 250-3,250-4, 250-5 y 250-6.

Manuelita Aceites y Energía S.A define como bloque un área de 60 a 100 hectáreas donde se ha sembrado palma de la misma edad y de la misma variedad estos están limitados principalmente por vías ya sea de tránsito o vías de riego y drenaje de carácter principal, los lotes son áreas no mayores a 40 hectáreas donde prima la homogeneidad de las características del suelo y su topografía estos al igual que los bloques también son limitados por vías de tránsito o vías de riego y drenaje pero de carácter secundario o terciario.

Se elabora un diseño general, donde se trazan los caminos principales con un ancho para afirmar de cuatro (4) metros, y dos más a cada lado para la cuneta y/o drenaje; de la cuneta a la línea básica para la primera palma deberá haber 4.5 metros. De modo que del centro del eje principal a la palma tenga 8.5 metros, que equivale a decir que de la palma de un lote a la palma del lote de enfrente haya 17 metros. Los caminos secundarios constan de una parte central afirmadas de 3 metros, 1.5 a cada lado para cunetas de 4.5 metros para la primera línea de palmas. El ancho del camino de cuneta a cuneta es de seis (6) metros; de palma a palma habrá un total de 15 metros. Los drenajes deberán en lo posible ir paralelos a los caminos.

#### **6.3.1.2. Sentidos de cosecha nuevos.**

El sentido de cosecha es el que indica la ubicación de las calles de cosecha que son los espacios de desplazamiento para ejecución de faenas agrícolas y las de palera que es donde se depositan los restos de la poda de la palma.

La plantación Manuelita Aceites y Energía S.A maneja 3 sentidos de cosecha, norte –sur, 60° y 120°, estos se ubican según curvas de nivel del lote y favoreciendo el movimiento del agua dentro

del mismo. Estos se definen con los datos de planimetría y altimetría arrojados por el levantamiento topográfico.

### **6.3.2. Labores de adecuación bloque 242 al 250.**

#### **6.3.2.1. Eliminación del cultivo anterior.**

Para la adecuada eliminación se deben evaluar los posibles riesgos y de ello depende la decisión y el sistema de tumba de palmas que se lleve a cabo en la renovación. Es importante reducir al máximo los desechos del proceso (troncos o estípites, coronas y hojas), para desfavorecer la presencia de enfermedades letales.

Las enfermedades que normalmente se presentan en la plantación son la podrición de cogollo (PC), marchites letal (ML) y presencia de *Strategus s<sup>6</sup>p*.

Con el fin de prevenir enfermedades la eliminación se hará por método de inyección química, este método de eliminación consiste en aplicar 200 ml de herbicida Master 720 S.L por palma esto se hace con la ayuda de una motosierra y la lámina de ésta, a 80 cm del suelo se hace una ranura paralela al suelo de unos 30 a 40 cm de profundidad dentro del tronco de la palma como se muestra en las figuras 10 y 11. El herbicida se distribuye así en una gran superficie y es absorbido por la planta.

El proceso de inyección de herbicida tiene una acción inmediata en la flecha y luego en las hojas adultas de la palma asiendo de este uno de los métodos más rápidos de eliminación ya que después de inyectada la palma solo tarda 25 días en secarse completamente.

---

<sup>6</sup> *Strategus spp*: abejorro de unos 40-50 mm de largo. Existen tres estados larvales que tienen una duración de unos ocho meses. El ciclo total de vida del insecto es de casi un año. El daño lo causa solamente el adulto, el cual hace un túnel en el suelo cerca de la planta y empieza a devorar el bulbo basal por debajo continuando con los tejidos más tiernos del cogollo.

Paralelo a la actividad de inyección de palma se desarrollan visitas de campo apoyadas por información cartográfica de la zona para identificar y caracterizar cada una de las vías de riego y drenaje de los bloques 242 al 250 con el fin de identificar aquellas que presentan inconveniente con el diseño de renovación.



**Figura 13.** Perforación de palma para bloque 242 al 250.



**Figura 14.** Aplicación de herbicida. bloque 242 al 250

Fotos fuente autor 2017

#### **6.3.2.1.1. Elementos utilizados en labores de eliminación del cultivo anterior.**

- Motosierra y lámina.
- herbicida Master 720 S.L
- dosificador 200 [ml] por palma.
- Camioneta para el transporte de los insumos para desarrollar labor de inyección.
- Combustible.
- Recurso humano.

### **6.3.2.2. Eliminación de canales de riego y drenaje.**

Después de revisar el plano y hacer un reconocimiento en campo se identifican los canales existentes que intervengan con la ejecución del nuevo diseño de cultivo, se recomienda rellenar todos los canales que obstaculicen el normal desarrollo del proyecto.

#### **6.3.2.2.1. Elementos utilizados en el proceso de eliminación de canales:**

- Material de relleno ( suelo)
- Volqueta de 7 [m3]
- Bulldozer
- Retroexcavadora
- Combustible
- Recurso humano.

### **6.3.2.3 Delimitación de bloques.**

Para esta labor se requiere tener el plano con el diseño general de la ubicación definitiva de palmas, vías, drenajes y red de distribución de agua (coronas y recorredoras). (anexo2, mapa diseño de cultivo bloques 242 al 250, finca Siberia), La demarcación de los bloque-lotes en campo se realiza con ayuda de la aplicación Oruxmaps, donde son cargados los KMZ de interés, en el caso de delimitación se utilizan las vías principales, secundarias y terciarias al igual que los drenajes primarios y secundarios, finalmente las coronas de riego. Como material de reseña se utilizan cintas que van atadas en contorno del troco de la palma a una altura de aproximadamente 1.5 metros como se muestra en la figura 12.



**Figura 15.** Delimitación de lotes finca Siberia. (Fotos fuente autor 2017).

#### **6.3.2.3.1 Elementos utilizados en el proceso de delimitación de bloques:**

- Planos con el diseño general del cultivo
- Aplicación Oruxmaps con los KMZ de interés.
- Cintas
- Recurso humano.

#### **6.3.2.4. Labranza del suelo.**

Los primeros 25 cm son intervenidos por 2 pases de rastra ( ver figura 13), uno en el momento inmediato después de la inyección que va aplicado en el mismo sentido de las calles de cosecha actual, posteriormente se realiza la aplicación de la enmienda, dos días después de la aplicación de enmienda se aplica un pase de cincel a una profundidad de 50 cm el que corresponden a la profundidad radicular de la palma y se aplica según la ubicación de las nuevas palmas como se muestra en la figura 14, va en un Angulo de  $60^\circ$  , $120^\circ$  o NS<sup>7</sup> dependiendo la ubicación del sentido

---

<sup>7</sup> Norte, sur.

de cosecha del lote, para finalizar el proceso de labranza se realiza el segundo pase de rastra en el sentido de las nuevas calles de cosecha. Este con el fin de desvanecer los terrones de suelo dejados por el subsolado y dejar el terreno blando para la siembra.



**Figura 16.** Aplicación de rastra (finca Siberia)



**Figura 17.** Aplicación de cincel (finca Siberia)

\*Fotos fuente autor (2017).

#### **6.3.2.3. 1. Elementos utilizados en labor de branza del suelo.**

- Tractor jhon deere 300 hp
- Combustible.
- Implementos: rastra de 28 discos, cincel fijo de 5 puntas.
- Recurso humano.

#### **6.3.2.4. Aplicación de enmienda**

Esta labor se ejecuta según recomendaciones agronómicas basadas en el estudio de suelos de la zona de intervención y se realiza una vez se aplica el primer pase de rastra y en toda el área de renovación con ayuda de un tractor usando como elemento una encaladora calibrada para hacer la aplicación recomendada por el agrónomo (ver figura 15 y 16).



**Figura 18.** Aplicación de enmienda con encaladora bloques 242 al 250



**Figura 19.** Lote 242 enmienda aplicada

\*Fotos fuente autor (2017).

#### **6.3.2.4. 1. Elementos utilizados para la aplicación de enmienda.**

- Tractor Jhon Deere de 300 hp
- Encaladora Inamec, 10 ton capacidad.
- Combustible
- Cal dolomita
- Roca fosfórica
- Recurso humano.

#### **6.3.2.5. Manejo de residuos palma picada.**

Cumplidos los 25 días después de la inyección, con la ayuda de una retroexcavadora usando un balde trapezoidal de 1,7 m<sup>3</sup> se tumban, pican y acomodan los residuos de palmas de acuerdo al sentido de cosecha de la nueva siembra como se muestra en la figura 17 y 18, la pica se realiza de la parte inferior del tronco hasta la corona, los cortes son inferiores a los 10cm de espesor para impedir que el *Strategus sp* haga de estos su alojamiento.

El correcto desarrollo de esta actividad determina el adecuado establecimiento del nuevo diseño de cultivo.



**Figura 20.** Pica de palma en los bloque 242 al 250.



**Figura 21.** Maquina acomodando palma

\* Fotos fuente autor (2017).

#### **6.3.2.5. 1. Elementos utilizados en el control de los residuos de palma eliminada**

- Retroexcavadora
- Combustible
- Balde trapezoidal de 1.7m<sup>3</sup>.
- Plano de los nuevos sentidos de cosecha por lote.
- Recurso humano.

### **6.4. Sistema de drenaje y riego a utilizar**

#### **6.4.1. Diseño de drenaje.**

##### **6.4.1.1. Recolección de información en campo.**

Para el reconocimiento y diagnóstico de los problemas de drenaje agrícola en el presente proyecto, se realiza una revisión detallada de toda la información técnica disponible relacionada con la

infraestructura de drenaje de los bloques a intervenir. En esta fase, se llevan a cabo observaciones de campo de acuerdo a un orden lógico que permite determinar o identificar las áreas o bloques con problemas de drenaje y las posibles causas de los excesos de agua. Se identifican las salidas de agua así como la infraestructura o red de drenajes existente. Además el tipo de cobertura, la pendiente, grado de erosión y sedimentación de los canales. Finalmente en oficina se realiza una tabla resumen con los problemas de drenaje identificados en campo en los diferentes bloques y con esto determinar según el diseño actual cuales se requieren eliminar y cuales necesitan mantenimiento.

#### **6.4.1.2. Cálculos de diseño.**

Los canales primarios ya se encuentran establecidos por lo que solo se hará el cálculo para el secundario y el terciario.

##### **Drenaje secundario:**

1. EL Área del dren “A” [m<sup>2</sup>]. Se calcula con la ecuación 7 presentada por (Arteaga Narváez, 1993):

$$A = (by + zy^2) = (0.5[m] * 0.8[m] + 0.5[m] * 0.8[m^2]) = 0,72 [m^2] \quad (7)$$

Dónde:

b = base [m]

y = Tirante hidráulico [m]

z = Talud de la pared [adim.]

Los datos de base y tirante hidráulico corresponden a valores estándares manejados por la compañía para la construcción de drenajes.

2. Perímetro de mojado “P” [m]. Se calcula con la ecuación 8 presentada por (Arteaga Narváez, 1993)

$$P = b + 2y\sqrt{(z^2 + 1)} = 0.5 [m] + 2 * 0.8 [m] \sqrt{0,8^2 + 1} = 2.5 [m] \quad (8)$$

Dónde:

b = base [m]

y = Tirante hidráulico [m]

z = Talud de la pared [adim]

3. Radio hidráulico “R” [m]. Se calcula con la ecuación 9 presentada por (Arteaga Narváez, 1993)

Dónde:

$$Rh = \frac{(b + zy)y}{b + zy\sqrt{1 + z^2}} = \frac{(0.5 + 0.5 * 0.8)0.8}{0.5 + 0.5 * 0.8\sqrt{1 + 0.5^2}} = 0.76 [m] \quad (9)$$

b = base [m]

y = Tirante hidráulico [m]

z = Talud de la pared [adim]

4. Libre bordo “E” [m]. Es recomendable usarse para secciones sin revestimiento en tanto no se tengan valores específicos (Arteaga, 1993).

$$E = \frac{1}{3 * y} = \frac{1}{3 * 0.8} = 0.42 [m] \quad (10)$$

5. Espejo de agua “T” [m].

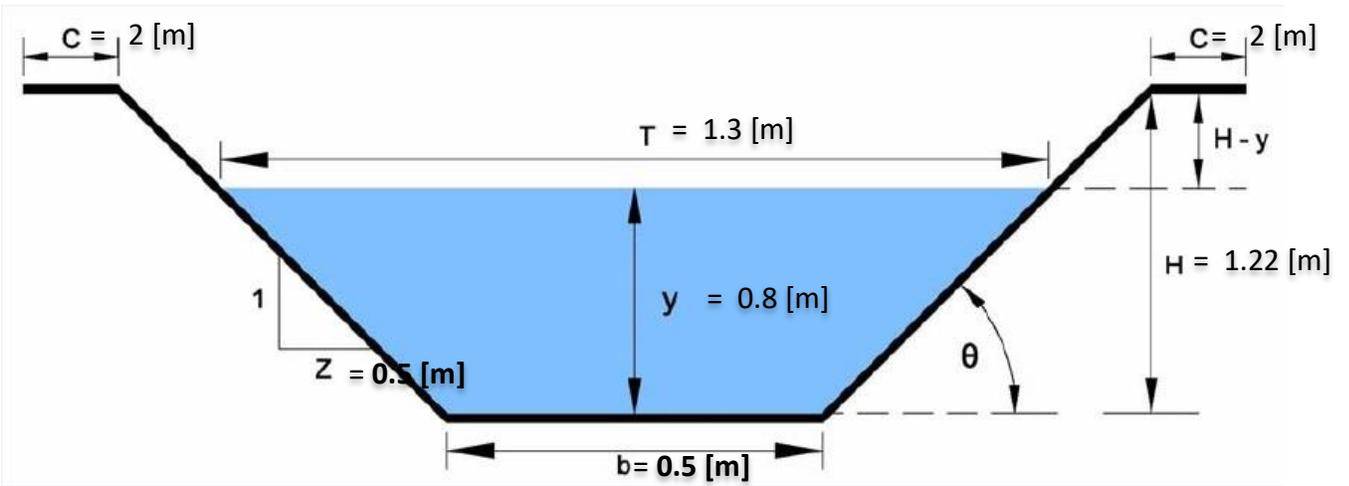
$$T = b + 2zy = 0.5 + 2 * 0.5 * 0.8 = 1.3 [m]$$

Dónde:

b = base [m]

y = Tirante hidráulico [m]

z = Talud de la pared [adim]



**Figura.22.** sección transversal del drenaje secundario.

b = base [m]

y = Tirante hidráulico [m]

z = Talud de la pared [adim]

T= Espejo de agua [m]

H =Altura del talud [m]

H-y = Borde libre “E” [m]

C = Berma externa e interna. [m]

### **Drenaje terciario:**

1. EL Área del dren “A” [m<sup>2</sup>]. Se calcula con la ecuación 7 presentada por (Arteaga Narváez, 1993)

$$A = (by + zy^2) = (0.5\text{m} * 0.3\text{m} + 0.5\text{m} * 0.3\text{m}^2) = 0.2[\text{m}^2] \quad (7)$$

Dónde:

b = base [m]

y = Tirante hidráulico [m]

z = Talud de la pared [adim]

2. Perímetro de mojado “P” [m]. Se calcula con la ecuación 8 presentada por (Arteaga Narváez, 1993)

$$P = b + 2y\sqrt{(z^2 + 1)} = 0.5 [\text{m}] + 2 * 0.3 [\text{m}] \sqrt{0.3^2 + 1} = 1.2 [\text{m}] \quad (8)$$

Dónde:

b = base [m]

y = Tirante hidráulico [m]

z = Talud de la pared [adim]

**3. Radio hidráulico “R” [m].** Se calcula con la ecuación 9 presentada por (Arteaga Narváez, 1993)

Dónde:

$$Rh = \frac{(b + zy)y}{b + zy\sqrt{1 + z^2}} = \frac{(0.5 + 0.5 * 0.3)0.3}{0.5 + 0.5 * 0.3\sqrt{1 + 0.3^2}} = 0.29m \quad (9)$$

b = base [m]

y = Tirante hidráulico [m]

z = Talud de la pared [adim]

**4. Libre bordo “E” [m].** Es recomendable usarse para secciones sin revestimiento en tanto no se tengan valores específicos (Arteaga, 1993).

$$E = \frac{1}{3 * y} = \frac{1}{3 * 0.3} = 0.42 \text{ [m]} \quad (10)$$

**1. Espejo de agua “T” [m].**

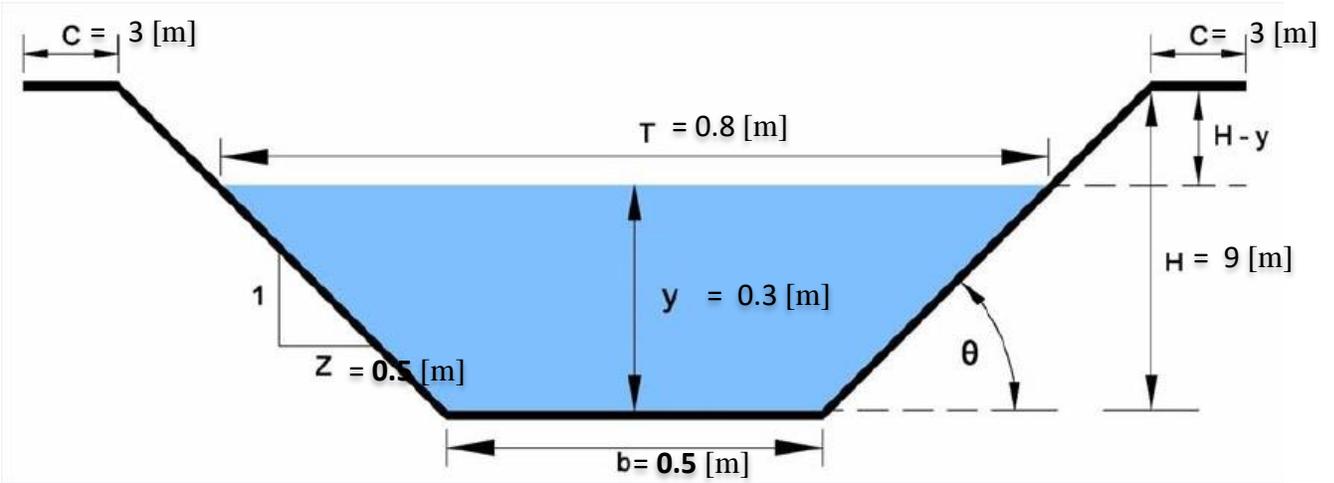
$$T = b + 2zy = 0.5 + 2 * 0.5 * 0.3 = 0.8 \text{ [m]}$$

Dónde:

b = base [m]

y = Tirante hidráulico [m]

z = Talud de la pared [adim]



**figura.23.** sección transversal del drenaje terciario.

b = base [m]

y = Tirante hidráulico [m]

z = Talud de la pared [adim]

T= Espejo de agua [m]

H =Altura del talud [m]

H-y = Borde libre “E” [m]

C = Berma externa e interna. [m] (su valor es de 1.5 m y se denomina externo porque se encuentra paralelo a las vías de acceso).

C = Berma interna [m] (su valor es de 3 m y se denomina interno porque se encuentra paralelo una hilera de palma).

**Tabla 2. Características de la lluvia máxima en 24 horas (mm) San Carlos de Guaroa, Meta. (Robledo., 2005)**

San Carlos de Guaroa, Meta.				Lluvia máxima para periodos de retornos en años.			
Estación	Media	Desviación estándar	Máxima absoluta	10	25	50	100

Santa Elena	59.7	26.2	137	105.6	130.5	149	167.3
-------------	------	------	-----	-------	-------	-----	-------

## 6. Coeficiente de drenaje superficial “Cd “(lps/ha)

$$Cd = 2.78 * E/Td [lps/ha] = 2,78 * 1,23 [mm/h]/48 [h] = 0,071[lps/ha] \quad (11)$$

Dónde:

Cd = Coeficiente de drenaje superficial (lps/ha)

E = Escorrentía total expresada en términos de lámina (mm)

Td = Tiempo de drenaje en horas. Para el cultivo de palma de aceite lo ideal es que el tiempo de drenaje no supere las 48 horas, esto para permitir el normal desarrollo de las labores culturales del cultivo.

## 7. escorrentía total (E.)

$$E = P - I - ET = 149 [mm/día] - 24[mm/día] - 95,5 [mm/día] = 29,6 [mm/día] \quad (13)$$

Dónde:

E = Escorrentía total [mm/día]

P = Lluvia critica de diseño obtenida en el análisis de frecuencia de precipitaciones con un

Periodo de retorno de 50 años 149 [mm/día] (ver tabla 2)

I = Las pruebas de infiltración, medidas en la calle, arrojaron valores de 0.10 cosecha y 0.72 palera [cm/h] recibiendo calificación de lento y moderadamente lento respectivamente. (MANUELITA, 2010)

ET = Evapotranspiración durante el mismo periodo de tiempo. Siendo el de menor demanda Junio con un promedio de 95,5 [mm/ día]

### 6.4.1.3. Diseño de corte de canales de drenaje.

Para elaborara un corte, se requiere de un perfil topográfico del canal que se desea construir el cual nos entrega la siguiente información:

**Abscisa y Cota del terreno:** estas se toman según solicitud, generalmente se toma cada 10 o 20 metros sobre el terreno trazado para el canal, la cantidad de abscisas y cotas son proporcionales al largo del canal planteado.

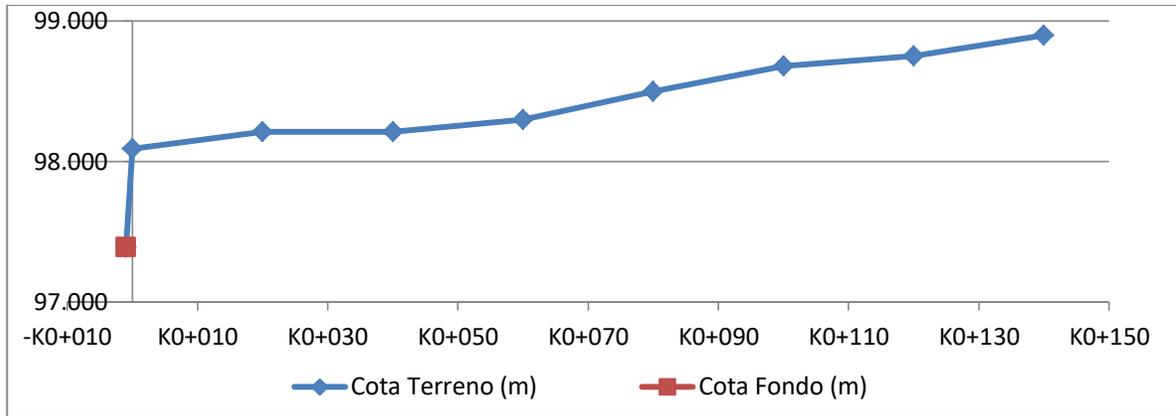
**Cota de fondo:** hace referencia a la cota donde estará la descarga del canal y se recomienda que sea superior al fondo valor de profundidad planteado para el canal.

**Tabla 3. Información topográfica DT 001 BLQ 242 LOT 002.**

ABSCISA	Cota Terreno (m)	Cota Fondo (m)	OBSERVACIÓN
-K0+001	97.390	97.390	Descarga en DP
K0+000	98.090		Terreno
K0+020	98.210		Terreno
K0+040	98.210		Terreno
K0+060	98.300		Terreno
K0+080	98.500		Terreno
K0+100	98.680		Terreno
K0+120	98.750		Terreno
K0+140	98.900		Terreno

Una vez se aprobó el trazado de los drenajes se le asigna a cada uno de ellos un código (DT001BLQ242LOT002) que hace referencia al tipo de canal que es DT= drenaje terciario y a su ubicación BLQ= bloque y LOT= lote.

Con esta información se elaboró una gráfica (ver gráfica 1) que nos permite evidenciar el posible estado del terreno en campo por lo que para estar completamente seguros se realiza una visita para verificar que el perfil construido a partir de la información topográfica coincida con la información del terreno en campo.



**Gráfica.1.** perfil de terreno del drenaje DT001BLQ242LOT002.

Posteriormente con la información topográfica se construye una tabla como la siguiente:

**Tabla .4.** Diseño de cortes de canal de drenaje DT001BLQ242LOT002

ABSCISA	Cota Terreno (m)	Cota Fondo (m)	OBSERVACION	Pendiente x Sección	Cota Rasante (m)	Prof. Inicial (m)	Prof. final (m)	Plantilla	Vol. Final (m <sup>3</sup> )	Corte (m)	Vol. Excavado (m <sup>3</sup> )	Prof. Descarga (m)	CORTES
								0.5					
								Talud					
								0.5					
-K0+001	97.730	97.360	Descarga en DP		97.38	0.37	0.73	0.51		0.36		0.75	73.25
K0+000	98.110		Terreno	380.00	97.38	0.00	0.73	0.51	0.51	0.73	0.51		73.20
K0+020	98.090		Terreno	-1.00	97.39	0.00	0.70	0.48	9.85	0.70	9.56		70.20
K0+040	98.010		Terreno	-4.00	97.40	0.00	0.61	0.39	8.73	0.61	7.89		61.20
K0+060	98.110		Terreno	5.00	97.41	0.00	0.70	0.48	8.73	0.70	9.56		70.20
K0+080	98.170		Terreno	3.00	97.42	0.00	0.75	0.53	10.05	0.75	10.54		75.20
K0+100	98.110		Terreno	-3.00	97.44	0.00	0.67	0.45	9.73	0.67	8.91		66.80
K0+120	98.270		Terreno	8.00	97.47	0.00	0.80	0.58	10.26	0.80	11.60		80.40
K0+140	98.290		Terreno	1.00	97.49	0.00	0.80	0.58	11.56	0.80	11.52		80.00

70.09

La tabla anterior se construye con las siguientes ecuaciones:

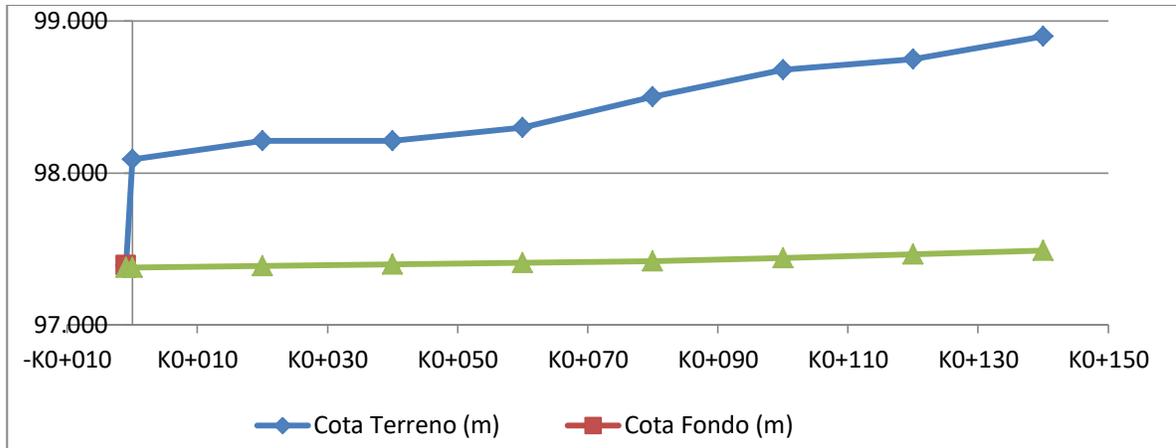
- $Cota\ Rasante\ inicial\ [m] = (cota\ inicial - profundidad\ inicial.) \quad (14)$

- $Cota\ rasante\ resto\ del\ canal\ [m] = (cota\ rasante\ n - 1 - (abscisa\ n - abscisa\ n - 1) * pendiente\ del\ terreno / 1000) \quad (15)$

- $Profundidad\ inicial\ [m] = (cota\ del\ terreno - cota\ de\ fondo) \quad (16)$

- *Profundidad final* [m] = *cota del terreno* - *cota rasante*. (17)
- *Área transversal* [m<sup>2</sup>] =  

$$[\text{platilla} + (\text{plantilla} + ((2 + \text{talud})/1 * \text{profundidad final})) * (\text{profundidad final}/2)].$$
 (18)
- *Volumen final* [m<sup>3</sup>] = [(*promedio A. transversal n* y *A. transversal n - 1*) \* (*abscisa n* - *abscisa n - 1*)]. (19)
- *Corte* [m] = (*profundidad final* - *profundidad inicial*) (20)
- *Excavación* [m<sup>3</sup>] = *A. transversal* - (*plantilla* + (*plantilla* + (2 \* *talud*/1 \* *prf. inicial*) \* (*prf. inicial*/2) \* *abscisa n* - *abscisa n - 1*) (21)
- *Profundidad de descarga* [m] = *cota del terreno* - *cota de fondo*. (22)
- *Pendiente del terreno* [%] = ((*abscisa inicial* - *cota del terreno inicial*)/(*abscisa final* - *cota del terreno final*)) \* 1000. (23)

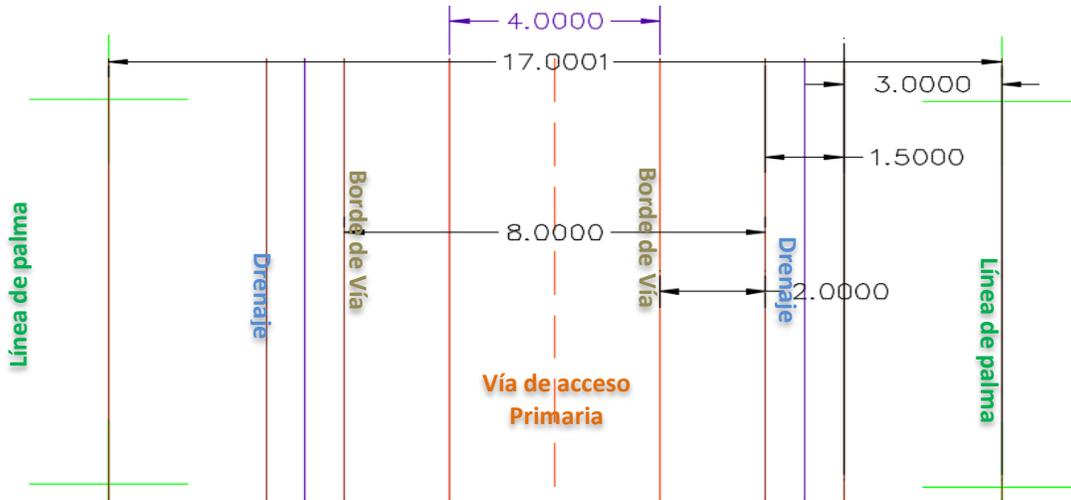


**Gráfica.2.** perfil de terreno del drenaje DT001BLQ242LOT002 con su respectivo corte.

En la gráfica anterior se muestra el corte diseñado teniendo en cuenta las condiciones topográficas del terreno donde se construirá el drenaje DT001BLQ242LOT002.

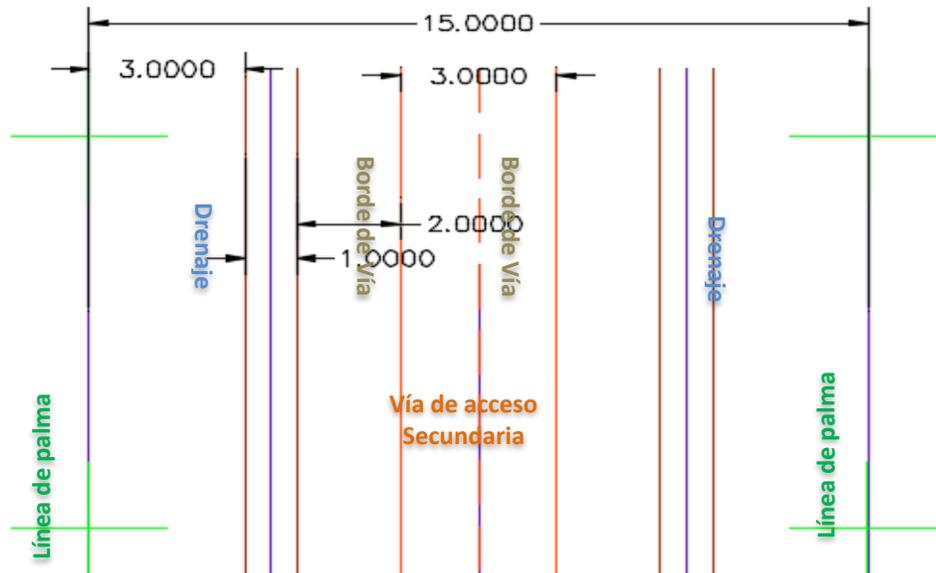
### 6.5.1. Diseño Vías de acceso

En el terreno se trazan las vías principales con un ancho para afirmar de cuatro (4) metros, y tres punto cinco (3.5) más a cada lado para la cuneta y/o drenaje; de la cuneta a la línea básica para la primera palma deberá haber 4.5 metros. De modo que del centro del eje principal a la palma tenga 7.5 metros, que equivale a decir que de la palma de un lote a la palma del lote de enfrente haya 17 metros (ver figura 13).



**Figura 24.** Vía de acceso principal (unidad de medida: mts)

Las vías secundarias constan de una parte central afirmadas de 3 metros, 3 a cada lado para cunetas, de 4 metros para la primera línea de palmas desde la cuneta. El ancho del camino de cuneta a cuneta es de siete (7) metros; de palma a palma habrá un total de 15 metros. Los drenajes deberán en lo posible ir paralelos a las vías. (Esquivés, 2011)(Ver figura 14).



**Figura 25.** Vía de acceso secundaria. (Unidad de medida:[mts])

## 6.6.1. Diseño sistema de riego.

### 6.6.1.1. Información preliminar para el diseño.

#### 6.6.1.1.1 Concesión de Aguas.

Durante el mes de abril del 2000 y el mes marzo de 2007, mediante resolución, Cormacarena asignó a la plantación un caudal determinado en función de su área y sus captaciones. Los valores son presentados en la tabla 3.

**Tabla 3. Especificaciones técnicas y legales de las concesiones con que cuenta la plantación Aceites Manuelita (AGRODINCO LTDA., 2014).**

Concesión	Caudal	Resolución	Fecha de expedición
Manuriba	1645 (l/s)	2.607.0135	07/03/2007
Potosí	3931 (l/s)	259	14/04/2000
Total	5576 (l/s)	N/A	N/A

Igualmente, durante el periodo del 12 al 20 de marzo, fueron determinados los caudales en algunos caños que atraviesan la plantación y que no hacen parte de las concesiones de agua del predio (ver tabla 4). Estos pueden ser una alternativa adicional para suministro de agua para el predio. A continuación se hace una descripción de los mismos y se resumen los caudales determinados.

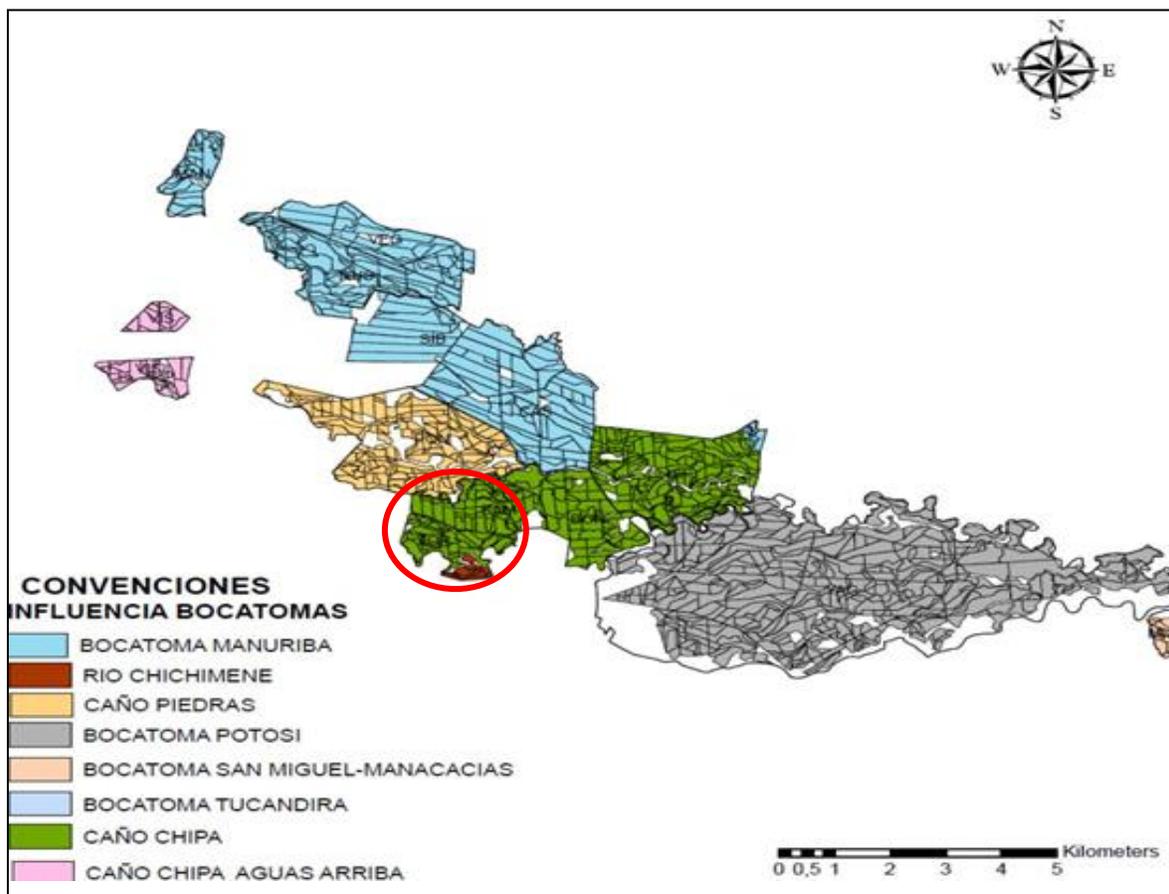
**Tabla 4. Resumen de caudales disponibles en los caños que atraviesan la plantación.**

(AGRODINCO LTDA., 2014).

Fuentes de agua internas en la plantación	
Bocatoma	Caudal [L/s]
San Isidro	222,80
Bonanza	321,00

Ponderosa (Caño Piedras)	407,53
Samaria	162,87
Siberia	508,34
San Miguel-Manacacias	404,16
<b>Total</b>	<b>2026,7</b>

Lo anterior muestra que de cumplirse la asignación de caudal concesionada y se logre mantener la captación de los caudales determinados sobre los caños, se contaría con un caudal total de **7602,7 L/s**. Este valor sería suficiente para satisfacer los requerimientos netos de **3885 l/s** de las **6385 Ha** de la plantación. Sin embargo, se sabe que este requerimiento debe afectarse por la eficiencia del uso del agua para determinar el requerimiento bruto.

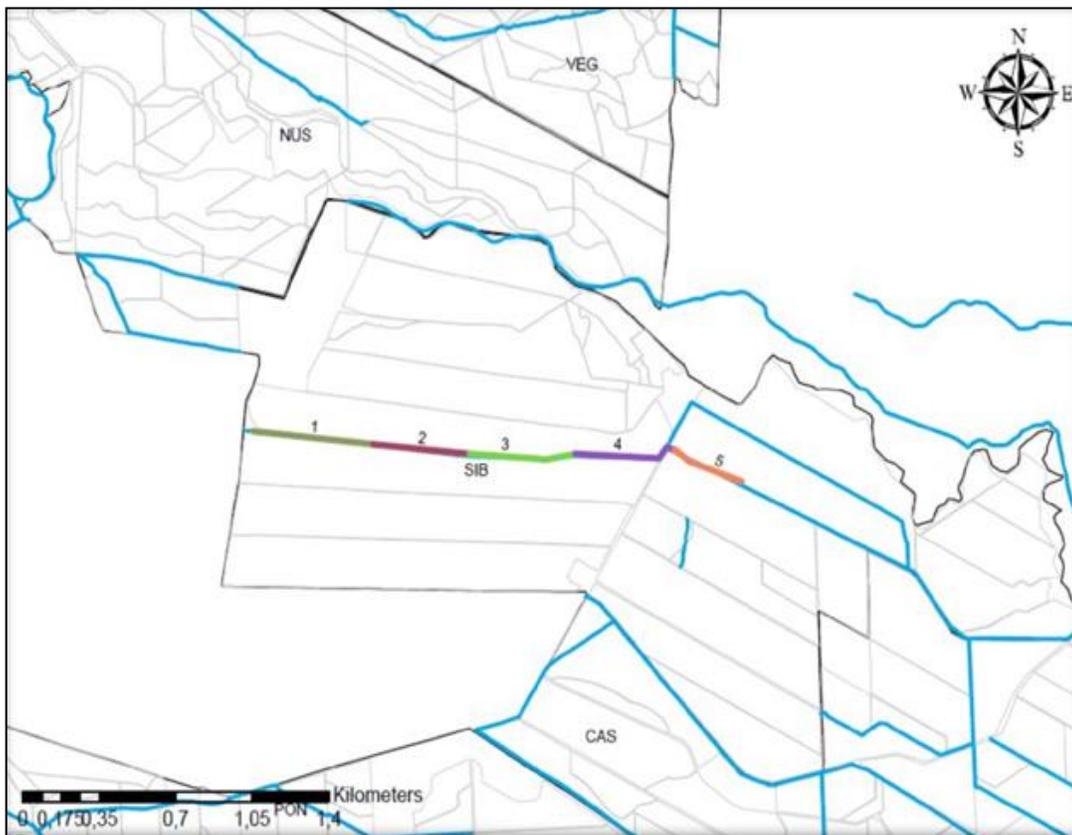


**Figura 26.** Áreas de influencia de los diferentes sistemas de distribución.

En las figuras se observa que la bocatoma Manuriba, reglamentada por Cormacarena, beneficia el 100% de los bloques 242 al 250.

#### 6.6.1.1.2. Eficiencia Bocatoma Siberia

La metodología para evaluar la eficiencia de la conducción consistió en realizar aforos con flotador al inicio y al final de cada tramo de canal y posteriormente mediante el cálculo de pérdida de caudal se determina la eficiencia. La longitud máxima de los tramos estuvo limitado por las bifurcaciones y entregas al mismo, es decir que se tuvo en cuenta que las pérdidas de caudal estuvieran asociadas únicamente a la conducción.



**Figura 27.** Tramos Evaluados Bocatoma Siberia. (AGRODINCO LTDA., 2014)

En la figura se ilustra el tramo del canal primario de la bocatoma Siberia perteneciente al área de influencia de la bocatoma Manuriba. Cada uno de los números de la figura hace referencia a los tramos que a su vez lo componen.

La figura 28 y la tabla 5 fueron extraídas del informe de consultoría de manejo de agua de Manuelita Aceites y Energía con el fin de realizar los cálculos de requerimiento hídrico neto del cultivo.



**Figura 28.** Eficiencia de los Tramos Evaluados Bocatoma Siberia. (AGRODINCO LTDA., 2014)

En la figura anterior se determina la eficiencia total de conducción (**73.11%**).

**Tabla 5.** Pérdidas totales en conducción de la Bocatoma Siberia. (AGRODINCO LTDA., 2014)

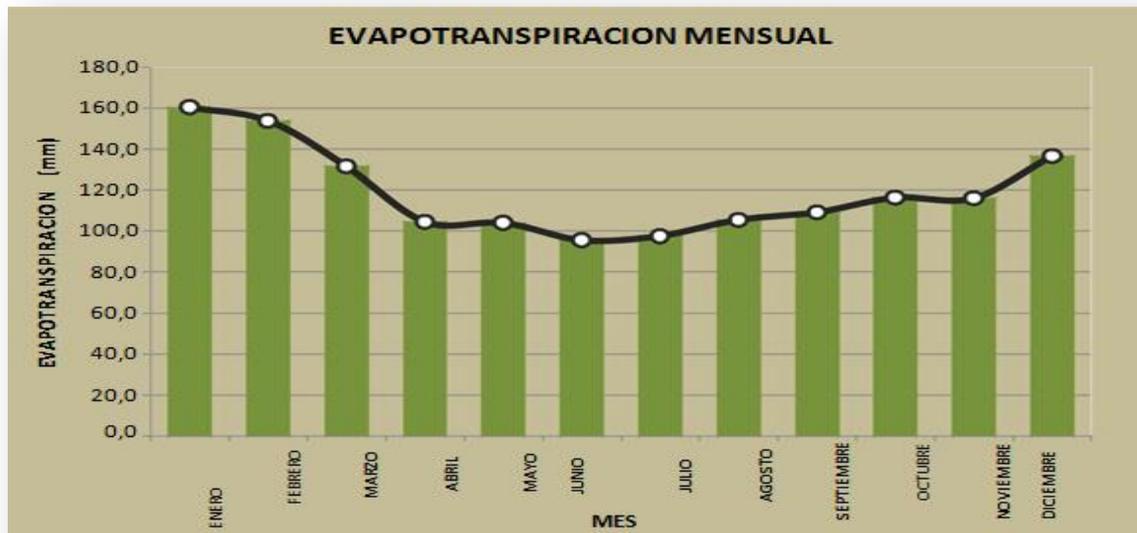
Tipo de conducción	Longitud Total de Conducción (m)	Pérdidas Totales (%)	Pérdidas km de canal (%)
Primaria	2305,73	26,889	11,66

La tabla anterior muestra las pérdidas unitarias por conducción por cada kilómetro de conducción. (**11.66%**)

### **6.6.1.1.3. Demanda Ambiental**

El análisis de demanda ambiental analiza los valores de evapotranspiración (EVT) que se presentan bajo condiciones normales en la plantación. La evapotranspiración se define como la cantidad de agua usada por cada cultivo o vegetación natural, en la formación de tejidos, en la transpiración a través de las hojas y en la evaporación directa desde la superficie del suelo (Gurovich, 1999). La magnitud de la evapotranspiración depende principalmente del cultivo, del contenido de humedad en el suelo así como de su estructura y del clima, debido a que es un sistema suelo-planta-atmósfera. Para el caso de la palma de aceite se sabe que el coeficiente  $K_c$  oscila entre 0.8 y 1.0, esto es según el estado de desarrollo fenológico de la planta y la ubicación geográfica del país. Para el caso del análisis del presente proyecto se definió trabajar con el valor  $K_c$  de 1.0. Es decir, que se trabajará la demanda ambiental del cultivo ETR como un 100% de la EV ( $ETR = 1.0 * EV$ ).

Para el estudio se trabajó con datos diarios del periodo de 2002 a 2011 de la estación CO Barbascal propiedad del Ideam, ubicada en San Martín Meta. (Lascano & Munévar, 2000) (AGRODINCO LTDA., 2014)



**Figura 29.** Valores promedio Mensual de Evapotranspiración según datos diarios para el periodo de 2002 a 2014 (AGRODINCO LTDA., 2014)

La gráfica muestra un comportamiento opuesto a la precipitación. Presentándose valores medios mensuales de 119,2 [mm] y anuales de 143,0 [mm]. El mes de mayor demanda de evapotranspiraciones enero con un promedio de 160,4 [mm]; el de menor demanda es Junio con un promedio de 95,5 [mm].

**Tabla 6. Balance hídrico promedio diario acumulado en meses para el periodo comprendido entre 2002 y 2014 (AGRODINCO LTDA., 2014)**

Mes	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	Total General	Promedio
Enero	-150,83	-180,32	-111,35	-200,80	-167,88	-151,70	-143,80	-189,43	-191,35	-81,75	-173,40	-138,50	-177,30	-149,70	-2208,09	-157,72
Febrero	-137,55	-181,65	-159,04	-159,17	-139,50	-127,57	-103,60	-188,02	-153,03	-135,55	-126,45	-92,60	-142,01	-119,10	-1964,85	-140,35
Marzo	-110,23	-79,50	-86,35	-63,15	-27,08	-105,20	-18,95	-81,33	-168,83	-86,50	-3,90	0,00	-5,05	-49,75	-885,80	-63,27
Abril	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-6,20	0,00	0,00	-43,83	0,00	0,00	0,00	0,00	-3,57	-53,59	-3,83
Mayo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-9,95	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-9,95	-0,71
Junio	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Julio	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Agosto	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Septiembre	0,00	0,00	0,00	0,00	-13,30	-17,88	0,00	0,00	-26,70	-12,65	0,00	0,00	0,00	0,00	-70,53	-5,04
Octubre	0,00	0,00	-14,10	0,00	-5,45	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-19,55	-1,40
Noviembre	0,00	0,00	-19,43	0,00	0,00	0,00	0,00	-9,40	0,00	-86,43	0,00	0,00	-15,50	0,00	-130,75	-9,34
Diciembre	-55,60	-7,20	-137,63	-45,98	-11,60	-153,58	-115,30	-118,80	-69,19	-178,85	-98,05	-47,70	-124,06	-74,70	-1238,23	-88,45
<b>Total general</b>	<b>-454,20</b>	<b>-448,67</b>	<b>-527,90</b>	<b>-469,10</b>	<b>-364,80</b>	<b>-562,12</b>	<b>-391,60</b>	<b>-586,97</b>	<b>-652,92</b>	<b>-581,73</b>	<b>-401,80</b>	<b>-278,80</b>	<b>-463,92</b>	<b>-396,82</b>	<b>-6581,35</b>	<b>-470,10</b>
<b>Total déficit Época crítica (Diciembre a Marzo)</b>	<b>-454,20</b>	<b>-448,67</b>	<b>-494,37</b>	<b>-469,10</b>	<b>-346,05</b>	<b>-538,05</b>	<b>-381,65</b>	<b>-577,57</b>	<b>-582,39</b>	<b>-482,65</b>	<b>-401,80</b>	<b>-278,80</b>	<b>-448,42</b>	<b>-393,25</b>	<b>-6296,98</b>	<b>-449,78</b>

De la tabla anterior se puede observar que el déficit hídrico promedio anual es de **470,1 mm**. Sin embargo se puede destacar que existen años como el 2009 en donde el déficit alcanzó a ser de **582,4 mm** para el periodo seco y **653 mm** para todo el año. Igualmente se observa que el mes de enero es el que históricamente tiene los mayores requerimientos con un valor promedio de **157,7mm**

(AGRODINCO LTDA., 2014)

### 6.6.1.2. Cálculos de diseño sistema de riego.

#### Cálculo de la capacidad de almacenamiento del suelo (LARA):

Hace referencia a la cantidad máxima de agua que puede almacenar un suelo dentro del rango aprovechable para el cultivo, pues la planta es capaz de extraer agua desde la capacidad de campo hasta el punto de marchitez permanente. Para su cálculo, se necesita conocer la capacidad de retención de humedad del suelo entre capacidad de campo (CC) y punto de marchitez permanente (PMP), la densidad aparente del suelo y la profundidad a la cual se encuentra más del 60% de las raíces absorbentes de agua. Estos parámetros son integrados en la ecuación 24.

Donde,

LARA= Lámina de agua realmente aprovechable [cm]

$$LARA = ((CC-PMP)/100)*Da*Pe*Na \quad (24)$$

CC= Capacidad de campo (% de humedad)

PMP= Punto de marchitez permanente (% de humedad)

Da= Densidad aparente del suelo [g/cm<sup>3</sup>]

Pe= Profundidad de raíces absorbentes o efectiva [cm]

Na= Nivel de agotamiento (se recomienda que no sea superior al 50%)

NOTA: Los datos para el cálculo de la capacidad de almacenamiento de agua en el suelo rápidamente aprovechable (LARA), fueron tomada de estudios realizados anteriormente por la empresa (AGRODINCO LTDA., 2014).

Existe una relativa homogeneidad en el espacio que presentan los suelos de los bloques 242 al 250 en cuanto a textura, se tomaron los valores de retención de humedad a CC y PMP correspondientes a un suelo de textura franco-arenosa que es la textura predominante en los primeros 30 cm y 30-60 cm de profundidad respectivamente en los suelos de dichos bloques. Los valores de CC y PMP tomados para la profundidad de 0-30 cm son en su orden 14% y 6% y para la profundidad de 30-60 cm son 22% y 10%.

La densidad aparente en el lote a profundidades de 0-30 y 30-60 cm mediante el método del cilindro de volumen conocido. Cuyos resultados fueron: 1,72, 1,42 y 1,5 [g/cm<sup>3</sup>] respectivamente.

De acuerdo con los resultados obtenidos de densidad aparente y los valores teóricos de CC y PMP para suelos de dichas texturas, se realizó el cálculo de la LARA para cada bloque el cual se resume en la siguiente tabla.

**Tabla 7. Lámina de agua realmente aprovechable (LARA) en milímetros.**

Bloque	Lote	Textura	Da	CC	PMP	LARA
245	1	FA	1,72	14	6	49,5
250	1	FA	1,42	22	10	61,3
249	1	FA	1,50	18	8	54,0
<b>PROMEDIO</b>						54,9

Estos valores muestran la lámina de agua total que puede ser aprovechada por el cultivo, antes de marchitarse. Este cálculo fue realizado con un nivel de agotamiento (Na) del 60%.

#### **Necesidades netas o Lamina netas**

El valor de **157,7 [mm/mes]**, es el valor que determina el caudal máximo requerido por el cultivo. Su forma de cálculo es como con la ecuación

(2)

$$Nn \square \frac{157,7mm}{Mes} * \frac{10m^3 / ha}{1mm} * \frac{1mes}{30dias} * \frac{1dia}{24h} * \frac{1h}{3600s} * \frac{1000l}{m^3}$$

$$\square Nn \square 0.6084l / s / ha$$

Es decir que para satisfacer los requerimientos hídricos de las aproximadas **239 Ha** en el mes más crítico, se debe contar con suministro neto permanente de **145,41[l/s]**. Este valor al ser neto, no contempla la eficiencia del sistema e indica un suministro las 24 horas del día.

La tabla 8 muestra los requerimientos medios mensuales de agua en términos de volumen y caudal para un área total irrigable de 239 Ha.

**Tabla 8.** Requerimientos netos de agua para Aceites Manuelita en los diferentes meses del periodo seco. Datos para un flujo constante de 24 horas al día, todos los días del mes.

(AGRODINCO LTDA., 2014)

Mes	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Total
<b>Déficit (mm)</b>	3,31	5,90	5,25	2,37	16,83
<b>Área de riego (Ha)</b>	239	239	239	239	239
<b>Volumen requerido (m3/mes)</b>	211.395,5	376.950,8	335.436,0	151.215,3	1.074.997,6
<b>Caudal requerido (m3/s)</b>	0.082	0,145	0,129	0,058	N.A

De la tabla se observa que para el mes más crítico (enero), los requerimientos de agua netos son de **376.950,8** de metros cúbicos, volumen que equivale a un caudal constante de **145 [l/s]**. Para calcular los requerimientos brutos, es necesario conocer la eficiencia del sistema de riego como se presentará a continuación.

### **Requerimientos hídricos brutos bloques 242 al 250 (NB)**

El valor obtenido de requerimiento neto (Nn), consiste en un valor teórico demandado por el cultivo. Para la determinación de las necesidades totales de caudal, es necesario afectar este valor, con el valor de eficiencia que está en función del método de riego que se utilizaría eventualmente:

$$NB = Nn / (EfC * EfR) \quad (25)$$

DONDE:

NB: Necesidades brutas

Nn: Necesidades netas

EfC: Eficiencia de conducción

EfR: Eficiencia de riego.

Para este cálculo es cuantificar los requerimientos que se tienen para el área regada por superficie.

$$NB = 145,41 [L/S] / (0,75 * 0,50) = 387,76 [L/S] \text{ Para las 239 hectáreas.}$$

El caudal real requerido por hectárea es **1,62 [L/S]**.

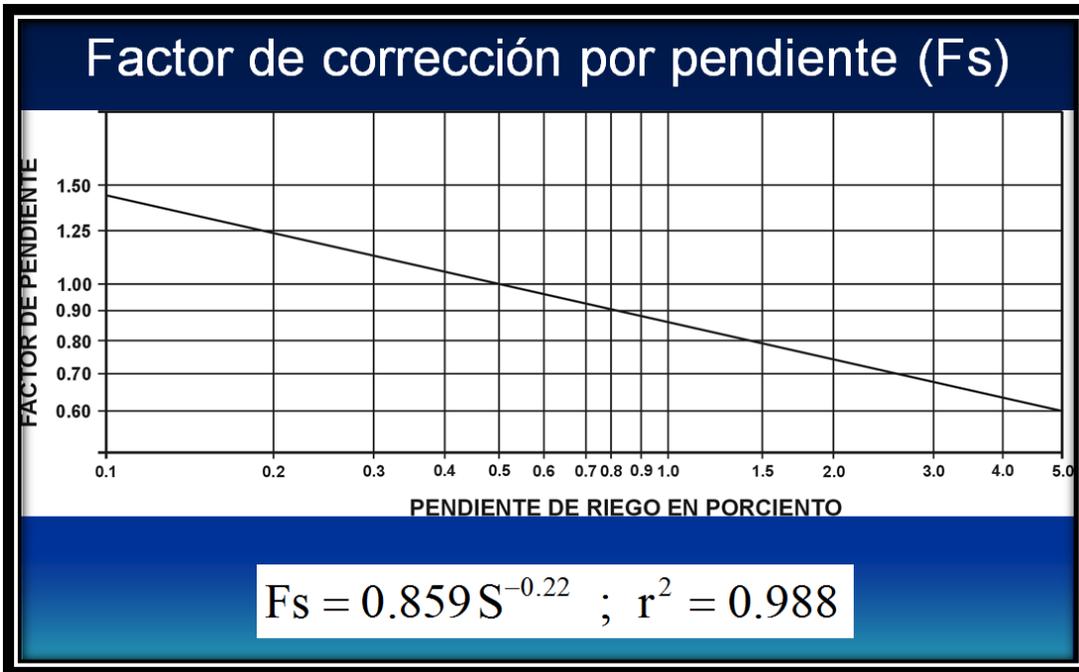
### **Gasto de riego unitario (q'u)**

$$q'u = 0,2951 * Ks * e - 0,119 * Nn \quad (3)$$

- $q'_u$  = Gasto Unitario, [L/s/10 m<sup>2</sup>]
- Nn= Necesidades netas de riego, (157,7 [mm/mes] = 0,52 [cm/ día])
- Ks= Infiltración Básica del Suelo, [cm/h]. (se toma la infiltración básica más crítica de las calles de palera evaluadas,
- e= Base de Logaritmos naturales.

Sustituyendo datos:

$$q'u = 0,2951 * 0,0784 * e^{-0,119 * 0,52} = 0,021 \text{ [ l/s/10m}^2\text{]}$$



$$F_s = 0.859(1)^{-0.22}$$

$$q'u = 0,021 \text{ [ l/s/10m}^2\text{]} * 0,859 = 0,018 \text{ [l/s/10m}^2\text{]}$$

**Caudal de riego por melga, Q:**

$$Q = (q'u * L)/10 \quad (4)$$

Dónde:

- Q= Caudal de riego, [L/s/m]
- L= Longitud de la melga, [m]
- $q'_u$ =Caudal Unitario,[ L/s/10 m<sup>2</sup>]

$$Q = (0,018 \text{ [l/s/10m}^2\text{]} * 450 \text{ [m]})/10 \text{ [m]} = 0,81 \text{ [l/s/m]}$$

### Tiempo de riego ecuación

(5)

$$T_r = \frac{L * A * L_{rn}}{6 * q * E_a}$$

Dónde:

- $T_r$ = Tiempo de riego, [min].
- $L$ =Longitud de la melga, [m]
- $A$ = Ancho de la melga ( $A= 1$  [m])
- $N_n$  =Lamina de riego neta, [cm].
- $Q$  =Caudal de la melga, [L/s/m].
- $E_f$ = se utiliza una eficiencia del 50%.

$$T_r = (450[m] * 1[m] * 0,52[cm]) / (6 * 0,811[L/s/m] * 0,5)$$

$$T_r = 96,18 \text{ min}$$

### Frecuencia de riego (Fr).

La frecuencia de riego hace referencia a cada cuanto se debe regar.

$$FR = LARA/UC \quad (26)$$

FR: Frecuencia de riego [día]

LARA: Lámina de agua realmente aprovechable [mm]

UC: consumo en mm/día, valor que corresponde a la máxima evapotranspiración en un día del mes más crítico que en este caso corresponde al mes de enero con un promedio mensual de 160,4 [mm],

(AGRODINCO LTDA, 2015)

$$FR = 54,9 [mm] / (160,4[mm] / 30 [días]) = 10,2 [días]$$

## **7. ANALISIS DE RESULTADOS**

La adecuación de las 239 hectáreas para la siembra de Palma de aceite (*elaeis guineensis* jacq.) en la finca Siberia, ubicada en el municipio de San Carlos de Guaroa Meta tomo un tiempo de 6 meses de los cuales los dos primeros fueron dedicados a la recolección de información y estudios de la zona de intervención, los otros 4 meses se dedicaron a la elaboración del diseño de cultivo y el trabajo de campo. A continuación se describe el resultado de cada uno de los objetivos planteados.

### **7.1. Elaboración del plano de diseño de cultivo para palma de aceite africana (*elaeis guineensis* jacq.) De los bloques 242 al 250 de la finca Siberia.**

La elaboración del diseño de cultivo tomo un total de 4 semanas, lo primero que se realizó fue la malla de palmas según especificaciones mencionadas anteriormente en la figura 11, un espaciamiento entre palmas de 9m para una densidad de siembra de 143 palmas por hectárea, posteriormente se hizo la delimitación de lotes ya que los bloques continuaron siendo los mismos, luego se asignó el sentido de cosecha de cada uno de estos que están representados en el plano del diseño de cultivo por una flecha roja para los sentidos de cosecha nuevo y azul para los actuales, seguidamente se trazaron las vías de acceso junto a las de drenaje y por último las vías de riego, todas estas con las especificaciones mencionadas anteriormente en las páginas 53 y 54.

La supervisión y aprobación estuvo a cargo de los ingenieros German Rodríguez<sup>8</sup> y Eduardo Castillo<sup>9</sup>, el plano fue elaborado en AutoCAD Map 3D 2010. (ANEXO).

### **7.2. Planificación y ejecución de la erradicación del cultivo anterior y arvense.**

Esta labor tuvo una duración de 9,5 semanas y se dividió en dos fases una de inyección y una de

---

<sup>8</sup> Administrador de zona sur Y renovación en Manuelita Aceites y Energía.

<sup>9</sup> Gerente de investigación en Manuelita Aceites y Energía.

pica, para la ejecución de la labor de inyección se necesitó de tres operarios los cuales tenían un rendimiento de 450 palmas /día.

El sistema de erradicación de palmas por inyección química es el método de mayor efectividad y rendimiento ya que la palma solo tarda 25 días en estar seca y se requiere de solo tres operarios para obtener un rendimiento de inyección de 450 palmas por día, teniendo en cuenta estos datos y comparados con erradicaciones anteriores realizadas por Manuelita Aceites y Energía mediante el método de tumba o corte, se determinó que la erradicación de palma por inyección química minimiza el tiempo de labores de establecimiento como la probabilidad de aparición de plagas .

La labor de pica se ejecutó después de la preparación del suelo y se requirió de 5 retroexcavadoras con su respectivo operario, estas se encargaban de picar y organizar las palmas según especificaciones mencionadas en la página 38 el rendimiento de esta labor es de 111 palmas por maquina día, la labor tuvo una duración de 62 días.

### **7.3. Eliminación de canales de riego y drenaje.**

la empresa Manuelita Aceites y Energía S.A decidió hacer una eliminación de todos los canales de riego y drenaje que intervinieran con el nuevo diseño ya que este fue realizado pensando en satisfacer las necesidades del cultivo y mejorar las condiciones logísticas de cada lote, esta decisión se toma en base a las inadecuadas condiciones de elaboración de los canales existentes, muchos de ellos fueron hechos en contrapendiente ya que eran utilizados como canales doble proposito ( riego y drenaje), adicional a esto algunos aún mantenían el material excavado en sus bordes lo que hace imposible la evacuación de agua en épocas de invierno y requerimiento elevado de caudal de agua para rebosar la barrera de suelo existentes en sus bordes para proporcionar riego en las épocas secas.

Para el relleno de los canales se utiliza una gran cantidad de material suelo proveniente de bloques cercanos a los que se les realizo nivelación.

#### **7.4. Preparación del terreno para la siembra y aplicación de enmienda.**

Las pruebas de infiltración presentadas en el estudio técnico de suelo de Manuelita Aceites y Energía S.A, medidas en las calles de cosecha, arrojaron valores de 0.10 y 0.72 cm/h recibiendo calificación de lento y moderadamente lento respectivamente. Estos valores se derivan de una densidad aparente relativamente alta y una macroporosidad que tiende a ser baja en los horizontes que se encuentran en los primeros 30 cm de profundidad. Tanto el porcentaje de macroporos, que son los encargados de la circulación del agua, y la densidad aparente evidencian un posible problema de compactación en este perfil. (ENERGIA, 2010)

Dadas las condiciones del perfil de suelo en los primeros 50 cm de intervención se aplicó el sistema de labranza convencional, a cada lote se le aplicaron dos pases de rastra y el subsolado según especificaciones mencionadas en la páginas 41 y 42 dejando el suelo en óptimas condiciones para la siembra.

Para verificar la profundidad del subsolado se escogieron áreas al azar y con la ayuda de una regleta se verifico que esta tuviera una profundidad de 50 cm (profundidad radicular efectiva de la palma de aceite africana) dando resultados satisfactorios en todas las áreas evaluadas.

Según estudio de suelo aplicado a la zona de intervención desarrollado por Cenipalma en asociación con Manuelita Aceites y Energía S.A los suelos requerían de la aplicación de correctivos, La recomendación agronómica del ingeniero German Rodríguez fue aplicar una enmienda de 1,5kg de roca fosfórica con 450 kg de cal dolomita por hectárea para mejorar las condiciones de acidez del suelo y aumentar el aporte de fosforo.

La labor se ejecuta como se muestra en la página 42 del presente documento.

## **7.5. Delimitación de bloques.**

La demarcación de los bloque-lotes en campo se realizó con ayuda de la aplicación Oruxmaps, donde se cargaron los KMZ de interés, como material de reseña se utilizan cintas que van atadas en contorno del troco de la palma a una altura de aproximadamente 1.5 metros como se muestra en la página 40 y 41 del presente documento, esta actividad tomo un tiempo de 8 días y se requirió de dos personas que manejaran la aplicación y conocieran los lotes.

## **7.6. Diseñar el sistema de riego por melgas rectangulares y drenaje superficial.**

### **7.6.1. Diseño de drenaje.**

El diseño de drenaje estuvo dividido en tres fases, una de trazado sobre plano otra de cálculos de sección para canales secundarios y terciarios (ver figura 19 y 20) cuyos datos iniciales están limitados por el elemento utilizado para realizar los cortes del drenaje en campo que permite solo trabajar con una base de 0.5 m y un talud de 0.5 m. La lluvia de diseño es de 149 mm/día tomada como la máxima precipitación presentada en 24 horas en el municipio de San Carlos de Guaroa, Meta con un periodo de retorno de 50 años teniendo en cuenta la vida útil del cultivo que oscila entre los 25 a 30 años (**Ling-Hoak Ooi, 2006**).

El tiempo de evacuación de agua de exceso tomado para el diseño es de máximo 48 horas para que no se afecte la buena salud del cultivo ni las labores del campo. (**SANDOVALA, 2011**)

Finalmente el diseño de cortes como se muestra en las páginas 42 a 49 donde se observa que la sección del drenaje no se mantiene homogénea si no que varía según los valores de las cotas del terreno tratando de mantener una profundidad que exite ente los 80 cm y los 100 cm para drenaje terciario y de 100 cm a 130 cm para los drenajes secundarios estos valores están establecidos por

manuelita aceites y energía teniendo en cuenta la capacidad de carga del drenaje y la profundidad radicular efectiva de la palma que es de 50 cm , las cotas para la elaboración del perfil del drenaje son tomados cada 10 m, cada corte diseñado cuenta con una cota de descarga ya sea a un afluente natural o a un canal de carácter principal o secundario según sea el caso.

Mediante este método se diseñaron 9.325 metros de drenajes terciarios, 12568 metros de drenaje secundario. La supervisión y aprobación de los diseños de sección y corte estuvo a cargo de los ingenieros German Rodríguez y Eduardo castillo.

### **7.6.2. Diseño de riego por melgas rectangulares.**

El diseño de riego partió de los estudios previos y los cálculos presentados en las páginas 54 a 59 del presente documento junto con la evaluación de la eficiencia de los tramos de la bocatoma Siberia mostrados en la figura 24.

Los datos extraídos del informe de consultoría de agua de Manuelita Aceites y Energía S.A mostrados en la figura 27 y la tabla 5 determina una eficiencia total de conducción de **73.11%**.

y unas pérdidas unitarias de **11.66%** por cada kilómetro de conducción, con base en estos datos y los presentados en la página 59 se determinó que el caudal real requerido por hectárea es de **1,62 L/S** la distribución de agua en los lotes se hará por melgas con un tiempo de riego de 96 minutos y una frecuencia de riego de 10 días con tres ciclos de riego en los meses críticos que son diciembre, enero, febrero y marzo siendo enero el mes con mayor déficit con un valor promedio de **157,7mm**.

El proceso de revisión y aprobación de cortes estuvo a cargo de los ingenieros Eduardo Castillo y German Rodríguez encargados de supervisar las labores de renovación.

El área intervenida ya contaba con un diseño inicial el cual tuvo que ser ajustado al nuevo diseño

por lo que solo se mantuvieron los canales principales de riego y drenaje por esta razón no se menciona el diseño de estos.

## **8. CONCLUSIONES**

El proyecto se llevó a cabo en una empresa privada; se cumplió con los objetivos establecidos dentro de la misma, se contó con una dotación óptima de equipo, mano de obra y personal capacitado disponible para todo tipo asesoría durante el proceso de adecuación de las 239 hectáreas en renovación de palma de aceite africana en la finca Siberia propiedad de grupo empresarial Manuelita Aceites y Energía S.A

- El proceso de renovación debe obedecer a un programa preestablecido, el cual ha sido producto del análisis de factores técnicos (planeación) y económicos (análisis de costo y viabilidad).
- El proceso de renovación es aprovechado para corregir errores del diseño de cultivo a erradicar, se espera que el nuevo diseño permita mejorar el crecimiento, desarrollo y productividad de la palma de aceite al igual que el mejoramiento en la logística para el desarrollo de las labores de campo.

El método de erradicación escogido fue el de inyección química por su eficiencia ya en tan solo 25 días lleva la palma a senescencia debido a la incidencia directa que tiene el químico aplicado sobre el floema y el xilema que se encargan de hacer una pronta distribución del herbicida en todo el sistema de la palma.

- La preparación del terreno se realizó bajo el mismo diseño de bloques y se mantuvieron las vías de acceso, los canales de riego y drenaje de carácter principal, lo cual permite aprovechar la infraestructura existente y reducir gastos en el momento de construcción.
- La capacidad de almacenamiento de agua del suelo en promedio es de 54,9 mm y el uso consumo promedio es 5.35 mm/día, la relación de estos dos datos nos arrojan una frecuencia de riego máxima es de 10 días con un caudal de riego por hectárea de 1,62 L/S y un tiempo de riego de 96,18 min. Esto indica que en una temporada de riego normal de 4 meses se debe regar el 100% de la plantación renovada en 12 oportunidades.
- Las condiciones que más inciden en el establecimiento del cultivo de la palma de aceite son: pendiente, textura, estructura, infiltración, conductividad y profundidad efectiva (nivel freático). Todas estas propiedades afectan la humedad del suelo y su aireación.

## **9. RECOMENDACIONES**

- Para hacer el control y monitoreo del agua, es necesario instalar estaciones de aforo en la entrada de cada bloque (compuertas automáticas), así se logrará distribuir el agua de una manera controlada. El caudal a entregar a cada bloque debe ser en función del área y el módulo de riego permisible (1.6 lps/ha).
- Para reducir las pérdidas y mejorar la eficiencia de los canales de conducción, es necesario trabajar en estrategias de impermeabilización. Para ello se recomienda iniciar un plan a mediano plazo iniciando por los tramos con mayores pérdidas por infiltración.

- Para evitar el deterioro de la sección de canales por erosión y reducir costos de mantenimiento y desbarre de canales se recomienda usar revestimiento en los canales principales ya que son los que mayor caudal transportan.
- Se recomienda preparar los recursos operativos y de infraestructura correspondiente para cumplir con los ciclos de riego que garanticen el cumplimiento a los 4 riegos recomendados para suplir el déficit hídrico del cultivo en épocas de verano.

## BIBLIOGRAFÍA

- (s.f.).A, SANDOVAL. E(2011). *Palma de Aceite (Alaeis guinnensis Jacq.) Establecimiento y mantenimiento*. MEXICO. D.C : PAQUETE TECNOLÓGICO PALMA DE ACEITE.
- AGRODINCO LTDA. (2014). *Informe de consultoria de manejo de agua aceites manuelita ( SAN CARLOS DE GUAROA)*. VILLAVICENCIO: AGRODINCO LTDA.
- CELIO.L.A. (2000). Le renovación del cultivo de palma de aceite, una experiencia más de Indupalma S.A. en la zona central. *P A L M A S - Vol. 21 No. Especial, Tomo 1,, 71, 72.*
- CIFUENTES.M.G. (2006). *Instalacion, administracion, operacion y mantenimiento, proyectos de ingenieria de irrigacion a pequeña escala*. NEIVA: INGENIERIA DE RIEGOS Y OBRAS CIVILES.
- CORLEY. (1996). *Consumo de agua por la palma de aceite y efectos del riego sobre la producción de racimos, . PALMA S - Vol. 21 No.1.*
- ARTEAGA N, O. (1993). *Diseño y construcción de un microdistrito de riego a nivel predial en suelos de ladera del Peñol, municipio de El Tambo, Nariño. Revista de ciencias agricolas.*
- CORREDOR.C.A. (1998). Aspectos económicos relevantes del desarrollo de la Palma de Aceite en Latinoamerica y Colombia. *PALMAS. Volumen 19. Número Especial,, 72 a 75.*

- ÁLVARO ÁVILA PEDRAZA, W. G. (2009). *Levantamiento detallado de suelos y su aplicación en el manejo de palma de aceite*. Villavicencio: Manuelita Aceites y Energía, CENIPALMA.
- ENERGIA, M. A. (2010). *documento tecnico de suelos manuelita*. Villavicencio: Manuelita Aceites y Energía, CENIPALMA.
- ESQUIVES, A. S. (2011). *Establecimiento y mantenimiento Palma de Aceite (Elaeis guineensis Jacq.)*. Mexico: PAQUETE TECNOLÓGICO PALMA DE ACEITE (ALAEIS GUINNENSIS JACQ.).
- FEDEPALMA. (Febrero de 2011). *Guía ambiental de la agroindustria de la palma de aceite en Colombia*. Bogotá D.C.
- *Fenología de la palma de aceite africana (Elaeis guineensis Jacq.)*. (s.f.).
- HORMAZA, P. A., F. R. (2010). *Fenología de la palma de aceite africana (Elaeis guineensis Jacq.)*. Bogotá D. C.,: CENIPALMA.
- LASCANO, R., & MUNÉVAR, F. (2000). *Criterios técnicos para la selección de sistemas de riego: Aplicación al cultivo de palma de aceite en Colombia*. PALMAS S Vol. 21 No. Especial, Tomo 2, 270 a 279.
- LING-HOAK OOI, K. P. (2006). *Edad óptima de renovación para la palma de aceite*. PALMAS Vol. 27 No. 4, , 29.
- MESA, D. J. (2000). *La palmicultura colombiana de cara al 2020*. PALMAS - Vol. 21 No. Especial, Tomo 2, 12.
- META, G. (2016). *ficha municipal san carlos de guaroa, META*.
- MONTOYA, E. Z. (1991). *Aspectos básicos de creación y manejo de plantaciones de palma de aceite*. Revista Palmas, Vol. 12, 49.

- CIFUENTES.P.M.G. (2006). *Instalación , Administración, Operación y Mantenimiento, Proyectos de Irigacion a Pequeña Escala*. NEIVA, HUILA: INGENIERIA DE RIEGO Y OBRAS CIVILES LTDA.
- PALMERABLOG. (22 de Junio de 2008). *PALMERABLOG*. Recuperado el 18 de Septiembre de 2016, de PALMERABLOG: <http://urabapalmerablog.blogspot.com.co/2008/06/unidad-2-siembra-de-la-palma-de-aceite.html>
- HORMAZA M.P, D. C. (2010). *Fenología de la palma de aceite africana (Elaeis guineensis Jacq.)*. Bogota, colombia.: CENIPALMA.
- SIAHAAN, D. (2010). *La industria del aceite de palma en Indonesia: una travesía de diez y seis décadas*. *PALMAS Vol. 31 No. Especial, Tomo II*, , 222.
- TORRES.A.E. (2015). *Comportamiento del hibrido interespecifico (oxg)coarí x laméen palmeras del ecuador*. XVIII CONFERENCIA INTERNACIONAL DE PALMA DE ACEITE.

