

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

Neiva, 11 de Febrero del 2015

Señores

CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Ciudad

El (Los) suscrito(s):

YEISON ALEXANDER SANCHEZ RODRIGUEZ, con C.C. No. 1.075.239.255 de Neiva (Huila) _____,

autor(es) de la tesis y/o trabajo de grado titulado PROCESOS DE ADECUACIÓN DE TIERRAS

PARA RIEGO Y DRENAJE EN EL CULTIVO DE PALMA DE ACEITE (*Elaeis Guineensis*), EN LA

PLANTACIÓN PRADERA, MUNICIPIO DE ARACATACA – MAGDALENA

presentado y aprobado en el año 2016 como requisito para optar al título de

INGENIERO AGRICOLA _____;

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.

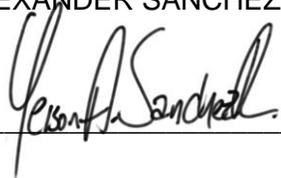
De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, “Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores”, los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

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

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

YEISON ALEXANDER SANCHEZ RODRIGUEZ

Firma: _____



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

TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO: PROCESOS DE ADECUACION DE TIERRAS PARA RIEGO Y DRENAJE EN CULTIVO DE PALMA DE ACEITE (*Elaeis Guineensis*), EN LA PLANTACION PRADERA, MUNICIPIO DE ARACATACA - MAGDALENA.

AUTOR O AUTORES:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
SANCHEZ RODRIGUEZ	YEISON ALEXANDER

DIRECTOR Y CODIRECTOR TESIS:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
PACHÓN BEJARANO	RODRIGO

ASESOR (ES):

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
QUIMBAYA LASSO	FELIPE ANDRÉS
GUZMÁN LÓPEZ	HELMER ALEXIS

PARA OPTAR AL TÍTULO DE: INGENIERO AGRICOLA

FACULTAD: INGENERIA

PROGRAMA O POSGRADO: AGRICOLA

CIUDAD: NEIVA

AÑO DE PRESENTACIÓN: 2016 **NÚMERO DE PÁGINAS:** 80

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

TIPO DE ILUSTRACIONES (Marcar con una X):

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

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

MATERIAL ANEXO:

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

PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS:

<u>Español</u>	<u>Inglés</u>
1. <u>Palma de Aceite</u>	<u>Oil Palm</u>
2. <u>Adecuación de Tierras</u>	<u>Land Development</u>
3. <u>Déficit Hídrico</u>	<u>Water Deficit</u>
4. <u>Riego</u>	<u>Irrigation</u>
5. <u>Drenaje</u>	<u>Drainage</u>

RESUMEN DEL CONTENIDO: (Máximo 250 palabras)

En la Compañía Fernando A García & CIA SCA, se iniciaron trabajos relacionados con los procesos de adecuación de tierras para riego y drenaje en las plantaciones de palma de Aceite (*Elaeis Guineensis*), para llegar a brindar condiciones óptimas para el normal crecimiento, desarrollo y productividad del cultivo.

Uno de los factores limitantes para la producción en el cultivo de la palma de aceite es el agua. Los déficits y excesos hídricos afectan el crecimiento vegetativo, la fisiología, la producción de racimos y la tasa de extracción de aceite. Experimentos desarrollados en Malasia, Nigeria, Costa de Marfil, Ecuador, entre otros, han permitido establecer los beneficios del riego para incrementar la producción y mitigar los efectos de sequía.

En la Zona Norte de Colombia en las áreas sembradas en palma de aceite, no se desarrollan actividades de adecuación y diseño inicial de los terrenos, lo cual implica condiciones difíciles para desarrollar métodos de

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

riego y sistemas de drenaje, dada la necesidad de identificar y reconocer los procesos de adecuación de tierras en el cultivo de palma de aceite, se considera necesario adelantar el siguiente trabajo en el cual se crea una metodología que permita abordar debidamente los Procesos de Adecuación de Tierras para Riego y Drenaje en el Cultivo de Palma de Aceite (*Elaeis Guineensis*), el cual pretende generar beneficios para la plantación, pues permite encontrar puntos por mejorar que no son fácilmente identificados cuando se lleva operando el mismo esquema de trabajo por un tiempo considerable.

ABSTRACT: (Máximo 250 palabras)

In the Company Fernando A Garcia & CIA SCA, related processes suitability of land for irrigation and drainage in oil palm plantations (*Elaeis guineensis*) work began to reach provide optimal conditions for normal growth, development and crop productivity.

One of the limiting factors for production in the cultivation of oil palm is water. Water deficits and surpluses affect vegetative growth, physiology, bunch production and oil extraction rate. Experiments conducted in Malaysia, Nigeria, Ivory Coast, Ecuador, among others, have established the benefits of irrigation to increase production and mitigate the effects of drought.

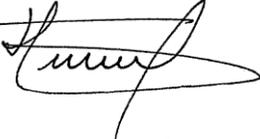
In the Northern Zone of Colombia in the areas planted in oil palm, no adaptation activities and initial design of the land is developed, the involves difficult conditions to develop methods of irrigation and drainage systems, given the need to identify and recognize processes of preparing the land for the cultivation of palm oil, it is necessary to advance the next job in which a methodology to adequately address Land Development Process Irrigation and Drainage in the cultivation of oil palm (*Elaeis guineensis*), which aims to generate profits for planting, because to find areas for improvement that are not easily identified when it has been operating the same scheme of work for a considerable time.

APROBACION DE LA TESIS

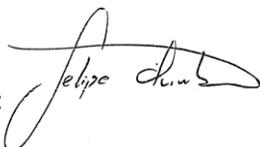
Nombre Presidente Jurado: **Rodrigo Pachón Bejarano**

Firma: 

Nombre Jurado: **Helmer Alexis Guzmán López**

Firma: 

Nombre Jurado: **Felipe Andrés Quimbaya**

Firma: 

**PROCESOS DE ADECUACION DE TIERRAS PARA RIEGO Y DRENAJE EN
CULTIVO DE PALMA DE ACEITE (*Elaeis Guineensis*), EN LA PLANTACION
PRADERA, MUNICIPIO DE ARACATACA - MAGDALENA.**

YEISON ALEXANDER SANCHEZ RODRIGUEZ



**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERIA AGRICOLA
NEIVA (HUILA)
2016**

**PROCESOS DE ADECUACION DE TIERRAS PARA RIEGO Y DRENAJE EN
CULTIVO DE PALMA DE ACEITE (*Elaeis Guineensis*), EN LA PLANTACION
PRADERA, MUNICIPIO DE ARACATACA - MAGDALENA.**

YEISON ALEXANDER SANCHEZ RODRIGUEZ

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

**Director:
ING. MsC. RODRIGO PACHÓN**



**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERIA AGRICOLA
NEIVA
2016**

Nota de Aceptación

Felipe Andres Quimbaya
Firma del Jurado
Ingeniero Agricola

Helmer Alexis Guzman
Firma del Jurado
Ingeniero Agricola

Rodrigo Pachón Bejarano
Director
Profesor

Neiva, Febrero de 2016

DEDICATORIA

YEISON ALEXANDER SANCHEZ RODRIGUEZ

Dedico este trabajo a:

Dios, ya que gracias a Él he logrado una nueva etapa, por enseñarme el camino correcto de la vida, guiándome y fortaleciéndome cada día.

A mi familia quienes por ellos soy lo que soy. Para mi Padre Luis Heli Sánchez y mi Madre Deyanira Rodríguez quien desde el cielo ilumina mi camino, Gracias por su apoyo, consejos, comprensión, amor, ayuda en los momentos difíciles, y por ayudarme con los recursos necesarios para estudiar. Me han dado todo lo que soy como persona, mis valores, mis principios, mi carácter, mi empeño, mi perseverancia, mi coraje para conseguir mis objetivos.

A mi hija María Paula, que es el motivo y la razón que me ha llevado a seguir superándome día a día, para alcanzar mis más apreciados ideales de superación.

A Mónica, que ha estado a mi lado dándome cariño, confianza y apoyo incondicional para seguir adelante para cumplir otra etapa en mi vida.

AGRADECIMIENTOS

Expreso mis agradecimientos a:

Agradezco a la empresa Fernando A Garcia & CIA SCA, en cabeza del Señor Luis Fernando García, por darme la oportunidad de aplicar todos mis conocimientos adquiridos durante mi carrera como ingeniero agrícola, y enfrentarme a una realidad llena de oportunidad y muchos éxitos.

Agradezco a Dios por tenerme con salud y brindarme la sabiduría incondicional para culminar este proceso dentro mi formación como profesional, ser mi mayor inspiración frente a este gran logro.

Agradezco con todo mi corazón a mi padre Luis Heli Sánchez por apoyarme y a mi madre Deyanira Rodríguez quien desde el cielo me acompañó durante mi proceso como profesional.

A los ingenieros Wilber Castro y Milciades Pizarro, por el apoyo incondicional en la finalización de mi carrera.

Al profesor Rodrigo Pachon, por los valiosos aportes que realizó a este trabajo y el apoyo brindado para que este trabajo finalizara con mucho compromiso y un excelente esfuerzo.

A todo mis compañeros y amigos, por su apoyo, compañía y amistad durante mi formación como profesional.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	9
1. INTRODUCCIÓN.....	10
2. MARCO CONCEPTUAL.....	11
2.1. GENERALIDADES PALMA DE ACEITE.....	11
2.1.1. Introduccion.....	11
2.1.2. Clasificacion.....	12
2.1.3. Variedades.....	13
2.1.4. Botánica y taxonomía.....	13
2.2. LA AGROINDUSTRIA Y LA ADECUACION DE TIERRAS: EL CASO DE LA PALMA AFRICANA (Guerra, 1988).....	14
2.3. ESTABLECIMIENTO DE UNA PLANTACIÓN DE PALMA (Quesada, 1997).....	16
2.4. DESCRIPCIÓN DE PROCESOS AGRICOLAS DE LA AGROINDUSTRIA PALMERA (FEDEPALMA, 2011).....	18
METODOLOGÍA.....	22
2.5. Localizacion.....	22
2.6. Desarrollo metodológico.....	22
2.6.1. Revisión de información disponible relacionada con la plantación.....	22
2.7. Oferta y demanda ambiental de la Zona.....	22
2.8. Procesos de Adecuacion de Tierras.....	23
2.9. Demanda de tecnología en áreas agrícolas.....	23
2.10. Costos de adecuacion de tierras para riego y drenaje en proyectos de Palma de aceite. 23	
2.11. Metodologia de adecuación de tierras para riego y drenaje en proyectos de palma de aceite.....	23
3. RESULTADOS.....	24
1.1. Localizacion.....	24
1.2. Revision de información disponible relacionada con la plantación.....	24
1.3. Oferta y demanda ambiental de la zona.....	25
1.3.1. Oferta de precipitación.....	25
1.3.2. Demanda ambiental.....	27
1.3.3. Oferta Vs demanda.....	28
1.3.4. Necesidades netas.....	28
1.3.5. Precipitaciones para Diseño de Drenaje.....	29
1.3.5.1. Determinación del periodo de retorno.....	29
1.3.5.2. Drenaje superficial.....	30
1.3.5.2.1. Infiltracion Potencial (Metodo Curva Numero).....	30

1.3.5.2.2.	Calculo de la Escorrentia.....	33
1.3.5.2.3.	Coeficiente de drenaje.	33
1.3.5.2.4.	Caudal de Diseño.....	33
1.4.	Procesos de Adecuacion de Tierras.	34
1.4.1.	Procesos de Adecuación de Tierras para riego y drenaje Tradicionales en la zona para el cultivo de palma de aceite.....	34
1.4.2.	Procesos de Adecuación de Tierras para riego y drenaje Tecnicado en el Cultivo de Palma de Aceite.....	37
1.5.	Requerimientos de Maquinaria y Tecnología que Demanda el Área Agrícola Del Cultivo de Palma.	51
1.5.1.	Tractor Agrícola.	51
4.5.2.	Máquinas acopladas al tractor para laboreo de suelos.....	51
4.5.2.1.	Cinceles rígidos.....	51
4.5.2.2.	Rastras de discos.....	52
4.5.2.3.	Arado de disco	53
4.5.2.4.	Ahoyador mecánico.....	54
4.5.2.5.	Zanjadoras y Caballoneadores.....	54
4.5.2.5.1.	Zanjadora rotativa	54
4.5.2.5.2.	Zanjadora de vertedera	55
4.5.2.6.	Caballoneador.....	56
4.5.2.7.	La taipa.	57
4.5.3.	Máquinas acopladas al tractor para otras labores.	58
4.5.3.1.	Abonadoras.....	58
4.5.3.2.	Abonadoras horizontales.....	58
4.5.3.3.	Abonadoras centrifugas	59
4.5.4.	Cortamalezas.....	60
4.5.5.	Rolo liso	61
4.5.6.	Retroexcavadora.....	61
4.6.	Metodología de adecuación de tierras para riego y drenaje en proyectos de palma de aceite.....	64
4.7.	Costos de adecuacion de tierras para riego y drenaje en proyectos de Palma de aceite.....	65
5.	CONCLUSIONES.	66
6.	BIBLIOGRAFIA.....	68

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Informacion Disponible de la Plantacion.....	24
Tabla 2. Cálculo para la determinación de la frecuencia y periodo de retorno.....	29
Tabla 3. Clasificacion Hidrologica de los suelos en A, B, C y D de acuerdo al potencial de escorrentia.	31
Tabla 4. Valores de Curva Numero S.C.S.....	32
Tabla 5. Dimensiones de drenes en Palma Africana.	43
Tabla 6. Requerimiento de Caudal según sistema de Riego.	45

LISTADO DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Género Elaeis.	12
Ilustración 2. Variedades De Palma Africana.	13
Ilustración 3. Diagrama de flujo del proceso de adecuación de tierras	19
Ilustración 4. Perimetro Plantación Pradera.	24
Ilustración 5. Precipitación anual multianual Aracataca – Magdalena.	25
Ilustración 6. Comparación de la Precipitación mensual y la efectiva con probabilidad del 75% en Aracataca - Magdalena.	26
Ilustración 7. Demanda de evapotranspiración mensual en Aracataca - Magdalena según la Evaporación de la Zona y un Kc de 0,8.....	27
Ilustración 8. Requerimiento de riego Aracataca - Magdalena según un balance hídrico con datos de ET y una precipitación con probabilidad del 75%.	28
Ilustración 9. Red de Drenaje.....	34
Ilustración 10. Figura. Red de Riego.....	35
Ilustración 11. Vías de Acceso.	36
Ilustración 12. Delimitacion de Lotes.....	36
Ilustración 13. Limpieza con Cortamalezas.	37
Ilustración 14. Desmonte con Buldozer.	38
Ilustración 15. Troceo.....	38
Ilustración 16. Levantamiento Topografico.....	39
Ilustración 17. Nivelacion del Terreno.	40
Ilustración 18. Arado de Discos.....	41
Ilustración 19. Aplicacion de Enmiendas.	41
Ilustración 20. Trazado y orientacion de la Siembra.....	42
Ilustración 21. Uso de Herramientas de Dibujo para Georeferenciacion de Palmas.....	42
Ilustración 22. Red de Drenaje.....	43
Ilustración 23. Diagrama del recorrido realizado para cosechar en cultivos de Palma de aceite.	44
Ilustración 24. Diagrama de la distribución de canales de drenaje en un lote de cultivo.....	44
Ilustración 25. Vías de Acceso	45
Ilustración 26. Red de Riego por Gravedad.	46
Ilustración 27. Red de Riego Presurizado.	46
Ilustración 28. Delimitacion de Lotes.....	47
Ilustración 29. Clasificacion Textural de Suelos.	48
Ilustración 30. Velocidad de Infiltracion.	48
Ilustración 31. Conductividad Hidraulica.....	49
Ilustración 32. Isobatas.	50
Ilustración 33. Isohypsas.....	50
Ilustración 34. Cincel Rigido.....	52
Ilustración 35. Rastra de Discos.....	52
Ilustración 36. Arado de Discos.....	53
Ilustración 37. Ahoyador Mecanico.	54
Ilustración 38. Zanjadora Rotativa.....	55
Ilustración 39. Zanjadora de Vertedera.	56
Ilustración 40. Caballoneador.....	56
Ilustración 41. Taipa.....	57
Ilustración 42. Abonadora Horizontal.	59
Ilustración 43. Abonadora Centrifuga.	59
Ilustración 44. Cortamalezas.....	60
Ilustración 45. Rolo.	61

Ilustración 46. Retroexcavadora.....61

LISTADO DE ANEXOS

Anexo 1. Registro de Informacion Disponible.....	71
Anexo 2. Construccion de Canales de Drenaje.	72
Anexo 3. Construccion Vias de Acceso.....	72
Anexo 4. Levante para la Construccion de los Canales de Riego.	73
Anexo 5. Riego Por Melgas Rectangulares.....	73
Anexo 6. Construccion de Vias.	74
Anexo 7. Construccion Riego por Melgas.	74
Anexo 8. Problemas de Drenaje en Cultivo de Palma de Aceite.	75
Anexo 9. Pruebas de Infiltracion.	75
Anexo 10. Medicion del nivel freatico.	76
Anexo 11. Lotes Con falta de Canales de Drenaje (Antes y Despues).....	76
Anexo 12. Sistema de Riego Presurizado.	77
Anexo 13. Toma de Muestras de Suelo.	77

RESUMEN.

En la Compañía Fernando A García & CIA SCA, se iniciaron trabajos relacionados con los procesos de adecuación de tierras para riego y drenaje en las plantaciones de palma de Aceite (*Elaeis Guineensis*), para llegar a brindar condiciones óptimas para el normal crecimiento, desarrollo y productividad del cultivo.

Uno de los factores limitantes para la producción en el cultivo de la palma de aceite es el agua. Los déficits y excesos hídricos afectan el crecimiento vegetativo, la fisiología, la producción de racimos y la tasa de extracción de aceite. Experimentos desarrollados en Malasia, Nigeria, Costa de Marfil, Ecuador, entre otros, han permitido establecer los beneficios del riego para incrementar la producción y mitigar los efectos de sequía.

En la Zona Norte de Colombia en las áreas sembradas en palma de aceite, no se desarrollan actividades de adecuación y diseño inicial de los terrenos, lo cual implica condiciones difíciles para desarrollar métodos de riego y sistemas de drenaje, dada la necesidad de identificar y reconocer los procesos de adecuación de tierras en el cultivo de palma de aceite, se considera necesario adelantar el siguiente trabajo en el cual se crea una metodología que permita abordar debidamente los Procesos de Adecuación de Tierras para Riego y Drenaje en el Cultivo de Palma de Aceite (*Elaeis Guineensis*), el cual pretende generar beneficios para la plantación, pues permite encontrar puntos por mejorar que no son fácilmente identificados cuando se lleva operando el mismo esquema de trabajo por un tiempo considerable.

Palabras Claves: Palma de Aceite, Adecuación de Tierras, Déficit Hídrico, Riego, Drenaje.

ABSTRACT.

In the Company Fernando A Garcia & CIA SCA, related processes suitability of land for irrigation and drainage in oil palm plantations (*Elaeis guineensis*) work began to reach provide optimal conditions for normal growth, development and crop productivity.

One of the limiting factors for production in the cultivation of oil palm is water. Water deficits and surpluses affect vegetative growth, physiology, bunch production and oil extraction rate. Experiments conducted in Malaysia, Nigeria, Ivory Coast, Ecuador, among others, have established the benefits of irrigation to increase production and mitigate the effects of drought.

In the Northern Zone of Colombia in the areas planted in oil palm, no adaptation activities and initial design of the land is developed, the involves difficult conditions to develop methods of irrigation and drainage systems, given the need to identify and recognize processes of preparing the land for the cultivation of palm oil, it is necessary to advance the next job in which a methodology to adequately address Land Development Process Irrigation and Drainage in the cultivation of oil palm (*Elaeis guineensis*), which aims to generate profits for planting, because to find areas for improvement that are not easily identified when it has been operating the same scheme of work for a considerable time.

Keywords: Oil Palm, Land Development, Water Deficit, Irrigation, Drainage.

1. INTRODUCCIÓN.

La Palma de Aceite, como cultivo de clima cálido húmedo y de carácter perenne, requiere de terrenos con buenas condiciones topográficas y agroecológicas para su normal crecimiento, desarrollo y productividad del cultivo.

Con base en las características geomorfológicas, los levantamientos topográficos y los planos, se desarrollan las actividades de preparación de tierras, que en términos generales, incluye: Estudios de Suelos, limpieza de los lotes, preferiblemente con maquinaria liviana, mecanización, nivelación, adecuación de canales para el sistema de riego y drenaje, ahoyado, construcción de vías, etc. El material vegetal de los lotes no debe ser quemado, por que aumentan los niveles de fragilidad de estos suelos tropicales, afecta la biótica del suelo y contribuye a los problemas de contaminación del aire, sino que se debe colocar en paleras para que inicie su proceso de descomposición y en forma gradual se va incorporando la materia orgánica y los minerales al suelo.

En la Zona Norte de Colombia, existen alrededor de 140.000 Ha sembradas en palma de aceite (Fedepalma, 2013), áreas heredadas de otras actividades tradicionales de la zona, como el cultivo de arroz, algodón, banano y actividades de ganadería, las cuales debido a la falta de adecuación y diseño inicial de los terrenos, implica condiciones difíciles para desarrollar métodos de riego y sistemas de drenaje, cerca del 95% del total de esta área, posee métodos de riego superficial, estos métodos, por las condiciones en las cuales se emplea, y especialmente debido a la falta de adecuación de tierras, implican una aplicación de grandes cantidades de agua, las cuales a pesar de su magnitud no aseguran una distribución uniforme de la humedad.

Además, en la zona se presenta un periodo seco entre los meses de diciembre y abril que hace necesario la aplicación de riego, se ha venido presentando que por la disminución en la oferta de las fuentes durante estos meses de sequía, y la ineficiente utilización del recurso hídrico, este no está siendo suficiente para satisfacer los requerimientos de las nuevas plantaciones y las ya existentes.

Dada la necesidad de identificar y reconocer los procesos de adecuación de tierras en el cultivo de palma de aceite, de la zona norte de Colombia, se considera necesario Crear metodología que permita abordar debidamente los Procesos de Adecuación de Tierras para Riego y Drenaje en el Cultivo de Palma de Aceite (*Elaeis Guineensis*), el cual brindara buenas condiciones para el normal crecimiento, desarrollo y productividad del cultivo.

2. MARCO CONCEPTUAL

Se presenta a continuación el planteamiento que tiene como propósito dar a conocer los conceptos y definiciones básicas que se utilizan en el transcurso del presente Trabajo.

2.1. GENERALIDADES PALMA DE ACEITE.

2.1.1. Introducción.

La palma de aceite se ha constituido en uno de los cultivos más importantes en Colombia y el mundo. Su alta productividad, unida a su naturaleza perenne, ha llevado a una expansión acelerada de las áreas sembradas en el mundo.

De esta manera, la agroindustria de la palma de aceite tiene el potencial de impactar en las áreas económicas, sociales y ambientales del país, en regiones, por lo general, alejadas de centros urbanos mayores y tradicionalmente deprimidos o de economía precaria.

La palma de aceite alcanzó un área total de producción mundial cercana a los 14.2 millones de hectáreas en 2012, de las cuales Colombia participó con 452,435 Ha, distribuidas en cuatro regiones productoras. El país es el quinto en el mundo con mayor rendimiento de aceite de palma con 3.2 ton / Ha. (Fedepalma, 2012)

Su introducción a la América tropical es atribuida a los colonizadores y comerciantes de esclavos los portugueses, era usado como parte de la dieta alimenticia de los esclavos en Brasil. En 1932, Florentino Claes es quien introduce la Palma africana de aceite en Colombia, quien hizo que se plantaran algunas palmeras de aceite con fines ornamentales en la Estación Agrícola de Palmira (Valle del Cauca). Pero fue hasta comienzos de 1945 cuando la United Fruit Company. Estableció una plantación en la zona bananera del departamento del Magdalena y fue así que se empezó a comercializar el cultivo. Para mediados de la década de 1960 existían 18.000 hectáreas en producción que en el 2006 habían alcanzado la cifra de 300.142 hectáreas en el territorio nacional, distribuidos en 4 zonas productivas:

Norte - Magdalena, Norte Del Cesar, Atlántico, Guajira.

Central - Santander, Norte de Santander, sur del Cesar, Bolívar.

Oriental - Meta, Cundinamarca, Casanare, Caquetá.

Occidental – Nariño

Los departamentos que poseen mayor área sembrada en Palma de aceite son en su orden: Meta, Cesar, Santander, Magdalena, Nariño, Casanare, Bolívar, Cundinamarca y Norte de Santander

Colombia es el primer productor de Palma de aceite en América Latina y el quinto en el mundo. Una de sus características es que cuenta con una sólida organización gremial de cultivadores la Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite creada en 1962 (Fedepalma, 2014).

Dentro del cultivo de palma de aceite, el género *Elaeis Guineensis*, uno de los cultivos más representativos para la Compañía Fernando A García & CIA SCA. Al año 2014 la Compañía cuenta con un área sembrada de 1379 Ha, distribuidas en la Hacienda Pradera 118 Ha, la Plantación Jerusalén 500 Ha, la Plantación Manzanares 280 Ha y la Plantación Experiencia 481 Ha.

2.1.2. Clasificación.

La Palma de aceite pertenece al orden Arecales y la familia Arecaceae, una de las más grandes de monocotiledoneas, con más de 190 géneros y 2364 especies (Govaerts & Dransfield, 2005). Actualmente, esta familia está dividida en las siguientes cinco subfamilias: Calamoidae, Nipoideae, Coriophoidae, Ceroxyloideae y Arecoideae (Dransfield & Uhl, 2008); dentro de esta última se encuentra la tribu Cocoseae, y la subtribu Elaeidinae a la que pertenece el género *Elaeis* compuesto por las especies *Elaeis guineensis* Jacq. (Palma Africana) y *Elaeis oleifera* (Kunt) Cortes (Palma Americana), siendo *E. guineensis* la más utilizada comercialmente en el mundo y, por tanto, la más estudiada (Corley & Tinker, 2003). Esta especie es nativa de las áreas más húmedas de África tropical y se encuentra en estado natural en márgenes de bosques húmedos y a lo largo de cursos de agua en áreas secas. Mientras que la Palma Americana *E. oleifera* es nativa de Centroamérica y Suramérica y se encuentra en suelos pobremente drenados, arcillosos o en las llanuras (Dransfield & Uhl, 2008).

El género *Elaeis* (Ilustración 1) posee una apariencia de un árbol esbelto, cuyo tallo llega a los 25 m. de altura y está coronado por hojas largas y arqueadas.

Ilustración 1. Género *Elaeis*.



Fuente: Autor

Este género posee dos especies de importancia económica en la agroindustria de la Palma de aceite en el mundo: la *Elaeis guineensis*, originaria del centro y occidente del continente africano, y la *E. oleifera*, originaria del norte de Suramérica y Centroamérica. Los cultivos comerciales, en su mayoría, se encuentran sembrados con materiales genéticos africanos.

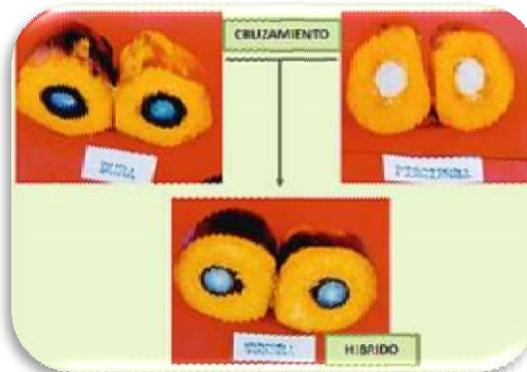
Sin embargo, algunos cultivos comerciales de Colombia y Ecuador cuentan con híbridos interespecíficos (OxG), obtenidos del cruzamiento entre madres *E. oleifera* y padres *E. guineensis*. Dichos híbridos exhiben características intermedias entre los dos parentales y presentan vigor híbrido para algunas características (Rey, Gomez, Ayala, Delgado, Rocha, 2004).

2.1.3. Variedades.

Se distinguen tres variedades de Palma Africana (Ilustración 2), por su favorable porcentaje de extracción y su elevada productividad de fruta. Entre las variedades se encuentran:

- **Dura (DD):** Se caracteriza por que su fruto posee cáscara gruesa, superior a los 2 mm, cuesco (endocarpio) grueso que protege a una, dos o tres almendras y poco mesocarpio (20- 65%), con fibras dispersas en la pulpa. Debido al poco mesocarpio o área aceitosa muy delgada, se obtiene una extracción de aceite baja.
- **Pisífera (PP):** Se caracteriza por poseer un fruto sin cáscara y almendras pequeñas. Presentando mayor cantidad de pulpa y por consiguiente mayor extracción, debido a esto su uso no es comercial, ya que los racimos no siempre alcanzan su madurez.
- **Tenera (DP):** Híbrido intervarietal el cual se obtiene por medio del cruzamiento artificial controlado entre palmas de la variedad Dura (usadas como madres) con polen de palmas de la variedad Pisífera (usadas como padres). Esta se caracteriza por que su fruto posee una cáscara delgada y más mesocarpio que la Dura (60 -96%). Tiene un potencial de rendimiento de aceite de 4 a 6 TM por hectárea por año, debido a que el mesocarpio (pulpa) es muy aceitoso y su semilla está constituida de un endocarpio (cáscara) duro y negro; el endosperma (almendra) y un embrión.

Ilustración 2. Variedades De Palma Africana.



Fuente: http://www.infoagro.com/herbaceos/oleaginosas/palma_aceite2.htm

2.1.4. Botánica y taxonomía

El científico Hutchinson clasificó La Palma aceitera (*Elaeis guineensis Jacq*) de la siguiente manera:

División: Fanerógama
Tipo: Angiosperma
Clase: Monocotiledónea
Orden: Palmales
Familia: Palmaceae
Tribu: Coccoinea
Género: *Elaeis*

Elaeis viene Del griego “elaia”, que significa aceite. El género *Elaeis* comprende tres especies: *E. guineensis* y *E. oleifera* (antes llamada *E. melanococca*) son respectivamente la palma africana y La Palma Americana. La tercera especie era conocida como *Barcella odora* pero actualmente se la conoce como *Elaeis odora* (Wessels-Boer, 1965). No se cultiva y poco se sabe de ella.

Beccari (1914), describió a *E. madagascariensis* Becc. Como una especie a parte de *E. guineensis*, ya que se distingue en las características de sus flores y frutos, pero en vista de sus pequeñas diferencias en caracteres menores, se duda que sea correcto dividir las en dos especies (Corley y Tinker, 2003).

En la especie *Guineensis* se pueden encontrar tres variedades: dura, tenera y pisífera, de las cuales, la variedad tenera es la que se utiliza con fines comerciales para la producción de aceite y resulta del cruce entre las dos restantes variedades (Quesada, 1997). Sin embargo, Surre y Ziller (1969) sostienen que, además de las tres variedades mencionadas, se puede nombrar una cuarta variedad, llamada *Macrocarpus*, que tiene una cáscara más gruesa que las mencionadas anteriormente.

La Palma africana es perenne y posee una alta productividad de aceite (10 veces más que el rendimiento de otros cultivos oleaginosos). Esto ha hecho que haya aumentado su producción en los últimos años en los países del trópico.

2.2. LA AGROINDUSTRIA Y LA ADECUACION DE TIERRAS: EL CASO DE LA PALMA AFRICANA (Guerra, 1988)

En materia de adecuación de tierras, en el país prácticamente todo está por hacer. Aquí nueva mente hay que hacer énfasis en lo que hemos sostenido los dirigentes gremiales, de que al sector agropecuario se le ha relegado a un tercer plano y se ha discriminado en contra de él, en los últimos lustros. Para sólo mencionar algo a título de ejemplo, en 1985 la inversión pública en el sector eléctrico fue 10 veces la del sector agrícola; la frontera agrícola del país se ha reducido antes que expandirse, y la rehabilitación e incorporación de tierras al grueso de la producción se da a pasos lentos e inseguros, que bien pueden poner en entredicho la seguridad alimentaria del país en futuro no lejano. El rápido crecimiento del cultivo de palma en el país ha tenido en cuenta la adecuación de tierras. Es más, aún siendo la palma africana un árbol rústico y fuerte, exige terrenos adecuados para su desarrollo. En este sentido quiero afirmar que la palma es un árbol agradecido en términos de productividad, cuando se satisfacen sus exigencias.

El Ingeniero Agrícola como profesional especializado, tiene a su cargo el manejo en una forma técnica los recursos, suelos y agua. Profesionalmente debe a su vez, aplicar los fundamentos y principios de la ingeniería en la búsqueda de las soluciones a los problemas de la agricultura e industria, identificados ellos en el concepto de agroindustria. Le cabe también al Ingeniero Agrícola, la capacidad de analisis y toma de decisiones en la elección y correcta utilización de la maquinaria agrícola.

Al entender los objetivos que persigue la Ingeniería Agrícola de dar respuesta a los problemas agropecuarios, procurando la conservación potencial de la tierra, puedo mostrar un amplio espectro de la aplicación de esta ciencia en el cultivo de la palma africana.

- El estudio de suelos nos da información sobre el estatus nutritivo, alcalinidad o acidez, presencia de elementos tóxicos, humedad aprovechable, profundidad del suelo, textura, pedregosidad, drenaje, susceptibilidad a erosión, riesgo a las inundaciones, etc. Cada uno de estos factores nos dan de antemano la capacidad de programar las principales actividades para lograr las condiciones óptimas de crecimiento de las palmas.
- Las labores de adecuación del terreno persiguen que la siembra de la palma y su cobertura se hagan a costos mínimos, preservando las condiciones físicas del suelo.
- La delimitación de bloques, como diseño de una plantación, se hace partiendo del plano de la finca.
- El establecimiento y construcción de carreteras, forman parte de las labores esenciales a realizar, en la que tiene una alta participación el profesional de la ingeniería.
- En el estudio del sistema de riego y/o drenaje, le cabe al Ingeniero Agrícola la responsabilidad de programar y dirigir dicho sistema así como la regulación de aguas.
- En el diseño y levantamiento de construcciones dentro de la plantación.
- El Ingeniero Agrícola tiene la posibilidad de diseñar, seleccionar y administrar la maquinaria e implementos agrícolas.
- Le compete así mismo la responsabilidad de instalar equipos mecánicos y eléctricos en labores de siembra, fumigación y recolección de los frutos.
- El diseño y administración de sistemas de manejo, almacenamiento y conservación de productos. Decía en alguna parte, que la actividad de la palma africana ha logrado niveles bastante altos en materia técnico-científica en el país. Más aún, estamos ubicados a un nivel aceptable frente a Malasia, país líder en investigación. A continuación me permito enunciar los principales aportes técnicos en el campo de la ingeniería agrícola que han hecho los palmicultores a la ciencia y a la tecnología:
 - a. Nivelación de suelos con rayos láser. Es una técnica de aplicación relativamente nueva en el sector, que se puso en práctica en los Llanos Orientales. — Se introdujo el sistema de riego por goteo, que luego de su perfeccionamiento ha permitido su establecimiento comercial, con el fin de compensar el déficit hídrico. Es lo que denominamos el mejoramiento de los sistemas de aplicación de aguas.
 - b. Establecimiento de diversas formas de transporte del fruto dentro de la plantación, con el fin de obtener mayor eficiencia en el proceso y disminuir los riesgos de acidificación.
 - c. Mejoramiento de la técnica de subsolación, a fin de disminuir la compactación de los suelos.
 - d. En materia de drenajes, también se ha progresado. Con el fin de evacuar niveles de aguas profundas y superficiales, se han tomado medidas para corregir estos problemas, mediante la intensificación de redes freaticas y hechura de canales. Sin duda alguna el Ingeniero Agrícola puede abrirse campo profesionalmente en la actividad de la palma africana, pero su necesidad para la agricultura colombiana es incuestionable. El papel a

desempeñar en el sector por este profesional es hoy más importante que nunca y yo lo entiendo así por dos razones:

1. La agricultura del país debe dar de una vez por todo el salto a la agricultura moderna o explotación empresarial, como gusto en llamarla. Nada tiene que hacer el Ingeniero Agrícola en la explotación tradicional. En la mentalidad del nuevo empresario agricultor, el servicio de profesionales es una inversión en términos de conocimientos y productividad y un gasto en términos contables.
2. La inminente e inaplazable necesidad que tiene el país de adelantar significativos programas de adecuación de tierras, que permitan aumentar la frontera agrícola, para que vía mayor productividad y área sembrada, garanticemos la seguridad alimentaria de los colombianos de hoy y de los próximos años que bien pueden ser nuestros hijos y nietos.

2.3. ESTABLECIMIENTO DE UNA PLANTACIÓN DE PALMA (Quesada, 1997)

- **Tamaño de la plantación:** Por regla general se estima que el punto de equilibrio para justificar el montaje de una planta extractora de aceite de palma está alrededor de 500 has. Pero la mejor alternativa será en definitiva dada por un buen estudio de factibilidad.
- **Limpieza para renovación o para nuevas plantaciones:** La palma de aceite es una oleaginosa perenne, con inicio de producción a los 18 meses después de la siembra, alcanzando su potencial máximo progresivamente dentro de los 3 a 5 años siguientes, según las condiciones ecológicas de la región. Por su producción de aceite, que procede de un tratamiento inmediato de los frutos (6,5 ton. de aceite total / ha para los cultivos seleccionados). Es una de las oleaginosas tropicales más interesantes, sin embargo, considerando la importancia de las necesidades de inversiones totales/ha para la plantación y la fábrica, los cultivadores deben estudiar de una manera precisa todos los factores de rentabilidad. Entre dichos factores se tendrá especial cuidado en las operaciones de desmonte o para derribar las viejas palmas y acordonamiento, ya que suelen representar de 28 a 35 % de los gastos de inversiones agrícolas y de 1 a 15 % del conjunto de inversiones como promedio.

Es conocido que una potencia insuficiente en el equipo lleva a un aumento notable de los tiempos de operaciones, por lo tanto los elementos de estimación que se dan a continuación para la renovación de una plantación de palma se refiere a vehículos de por lo menos 235 HP (se suele utilizar la misma potencia tanto para tumbar como para barrer).

Para secar las palmas y así evitar la propagación de las enfermedades, por lo menos 30 días antes de tumbar las palmas éstas deben ser inyectadas con 50 o 75 cc un arboricida como Roundop (Glifosato) o 100 a 150 cc de monoarseniato monosódico (MSMA) para secar las palmas y evitar la propagación de enfermedades y plagas. Una persona puede envenenar hasta 300 palmas por hora.

Es conocido que una potencia insuficiente en el equipo lleva un aumento notable en los tiempos de operaciones por lo tanto los elementos de estimación que se dan a continuación para la renovación de una plantación de más de veinte años de edad se refieren a un vehículo de por lo menos 235 H P (se suele utilizar la misma potencia

para tumbar y barrer u acondicionar). La duración para arrancar todos los árboles es más o menos de 3 hrs./ha, y 2 horas para la barrida.

Después de tumbar las palmas secas éstas son ordenadas en cordones (apiles) a distancias que pueden ser múltiplos de 7.80 mts como se explica e ilustra en el siguiente punto.

- **Disposición de la Plantación:** Se puede afirmar que el desmonte mecánico es el único método que permite iniciar importantes programas anuales de incremento de este cultivo.

Las hileras de palmas siempre están orientadas de norte a sur, para facilitar lo más posible la insolación. Los acordonamientos después del corte se hacen de manera que queden paralelas a las mismas por lo tanto la distancia entre los ejes de los cordones es un múltiplo de la distancia entre las hileras de palmas (por lo general cada dos hileras). Así es como la separación mínima es de 15.60 m (7.8 x 2). Esta distancia depende de la densidad de la vegetación.

Una vez despejadas las interlíneas (7.80 a 15.60m de ancho) para facilitar el paso posterior de los trabajadores y a las máquinas agrícolas de explotación. Se debe sembrar en estas interlíneas una planta leguminosa de cobertura como el kudzú (P. phaseoloides) o Desmodium para conservar las cualidades del suelo y facilitar el mantenimiento. Estas plantas leguminosas pueden fijar biológicamente hasta 100 kg/ha/año de nitrógeno.

Después de la estacada y en el momento de la ahoyadura o de la siembra, se debe efectuar una operación limitada de nivelación sobre 1 metro de radio alrededor de la ubicación de cada palma y además se debe restablecer el drenaje limitado a las zonas de depresión.

Para una mayor probabilidad de reactivación de las palmas se debe efectuar el trasplante al principio de la época de lluvias. Esta operación requiere de mano de obra adiestrada para obtener una siembra uniforme.

La palmera de aceite es un árbol de crecimiento simétrico que exige una insolación máxima; por lo tanto es de mucha importancia el tener en cuenta estas dos características para distribuir acertadamente los árboles en el campo.

Se consigue una insolación máxima con el dispositivo de plantación "en triángulo equilátero", en el cual en cada hilera se desfazan los árboles en media distancia relativamente a los árboles de las dos hileras situadas de cada lado; así es como cada árbol resulta a la misma distancia de los seis árboles que lo rodean.

En buenas condiciones promedios de lluvias, insolación y suelo, la densidad óptima con el dispositivo en triángulo equilátero es de 143 palmas E. guineensis por ha., lo que corresponde a un triángulo de 9 m de lado; por lo tanto la distancia entre las líneas es de 7.80 m y la distancia entre las palmas es de 9 m.

- **Drenajes:** No se deben sembrar terrenos con menos de 3 m.s.n.m. Primero se debe hacer un estudio de nivelación (curvas de nivel) para fijar el curso de los drenajes principales y el sistema de subdrenajes podría seguir un curso de acuerdo al sistema de

transporte para minimizar el número de puentes. Los drenajes terciarios a construir son estimados en 100 mts/ha.

- **Red de Caminos:** La calidad de la red de carreteras en los palmerales es sumamente importante, por el tonelaje de racimos a transportar (de 25 a 30 ton/ha o más) y por la frecuencia de vueltas (cada 8 a 10 días), cualquiera que sea la estación, también hay que aplicar gran cantidad de insumos.

El trazado estándar con la red de caminos llamada kilométrica, es la que ofrece la mayor facilidad para la realización y los controles de los trabajos de explotación: comprende caminos norte - sur y este - oeste, cada kilómetro que limitan bloques de 100 ha. y tres carreteras de cosecha intermediarias este – oeste cada 252 m que delimitan parcelas de 25 ha.

Por último, la topografía no siempre permite implantar una red kilométrica sistemática. Para estimar la mejor implantación de la red de caminos, se debe esperar a que el desmonte esté acabado porque solo se puede tener una apreciación exacta de la topografía a partir de este momento. Para las carreteras de norte a sur, se quitan dos líneas de estacas y para los caminos de este - oeste dos estacas por línea. Para los caminos secundarias de este a oeste se quita una sola estaca por línea.

2.4. DESCRIPCIÓN DE PROCESOS AGRICOLAS DE LA AGROINDUSTRIA PALMERA (FEDEPALMA, 2011)

Etapas y actividades

- Actividades preliminares:** El proceso de implementación de una plantación de palma parte de la ubicación y adquisición de la finca o propiedad donde se piensa establecer el cultivo. Esta ubicación incluye una descripción geográfica y localización político administrativa (coordenadas geográficas y planas, departamento, municipio, corregimientos o inspecciones, veredas, distancia a los centros poblados más cercanos, etc). Una vez se tiene la localización de la finca o propiedad, es conveniente tener un referente del entorno físico, biológico y social.
- Adecuación de tierras La palma de aceite:** como cultivo de carácter perenne, requiere de terrenos con buenas condiciones topográficas y agroecológicas para su normal crecimiento, desarrollo y productividad. Con base en las características geomorfológicas, los levantamientos topográficos y los planos, se desarrollan las actividades de preparación de las tierras, que en términos generales, incluye:
 - limpieza de los lotes, preparación del terreno, nivelación, adecuación de canales para el sistema de riego y drenaje, ahoyado y construcción de vías (Ilustración 3).

Ilustración 3. Diagrama de flujo del proceso de adecuación de tierras



- C. **Estudios de Suelos:** La realización del estudio o levantamiento de los suelos de la finca es imprescindible y en particular de las unidades productivas, con el fin de establecer las zonas con mayor aptitud e identificar aquellas con limitantes por aspectos físicos, morfológicos y químicos, que requieran una mayor atención o adecuación.
- D. **Levantamiento Topográfico:** De igual manera, se requiere de un levantamiento topográfico de planimetría y altimetría. Este levantamiento contribuye en el diseño de la plantación, así como en el manejo del agua y la biodiversidad.
- E. **Limpieza del Terreno:** De acuerdo al estado de la finca, se requiere de una limpieza de los lotes, donde se recoja el material vegetal que funciona como maleza y se proteja las especies arbóreas o arbustivas que pueden estar en peligro, amenazadas, endémicas o que sirva de hábitat o alimento para otras especies.
- F. **Labores de Labranza:** La preparación del terreno se realiza de acuerdo a las condiciones naturales o actuales de los suelos. En varias ocasiones, se parte de un suelo ya trabajado y disturbado. Si el suelo se encuentra con problemas de compactación o sellamiento superficial, se deberá propender por una adecuación de las características físicas y morfológicas, a través de cinceles o subsolador.
- G. **Infraestructura Vial:** Al diseñar las plantaciones se define toda la infraestructura vial. Las vías son importantes para garantizar la circulación y poder llevar hacia los cultivos los insumos, subproductos como la tusa o raquis y, desde aquí, los racimos cosechados a las plantas de beneficio. Las vías internas se deben mantener en las mejores condiciones para garantizar el normal desarrollo de todas las actividades de campo.
- H. **Alistamiento del Area:** Finalmente se realiza el ahoyado o adecuación del sitio específico donde se va a sembrar cada una de las palmas. El ahoyado puede variar de acuerdo a las características de los suelos: en suelos arcillosos de deberá realizar un

hueco más amplio y profundo y acondicionar un espacio más aireado, en suelos francos el hueco estará en proporción al material vegetal de siembra.

- I. **Riego y drenajes:** El agua es un elemento fundamental para el crecimiento, desarrollo y producción de la palma de aceite. La palma requiere en promedio de 5 mm de agua/día, lo cual puede variar dependiendo de su disponibilidad, del tipo de suelo y de la época del año. En las zonas palmeras del país, la oferta hídrica cambia debido, en gran medida, a la posición geográfica y a la dinámica atmosférica regional que varía en el tiempo y en el espacio para presentar, en algunos casos, situaciones extremas de sequía o de inundaciones que pueden saturar los suelos, por lo cual deben estar en buenas condiciones de funcionamiento los sistemas de riego y drenajes. La zona de menor disponibilidad hídrica es la Zona Norte, con precipitaciones inferiores a los 1.000 mm por año, situación que se agrava por los procesos de deforestación y uso indebido del suelo en las partes alta y media de las cuencas hidrográficas en la Sierra Nevada de Santa Marta y la Serranía del Perijá.

En la Zona Oriental, a pesar de los altos índices de precipitación, se presentan momentos críticos en el período de verano que deben ser compensados con agua de riego, y el recurso comienza a ser escaso o deficitario por los mismos problemas de deforestación y uso indebido de los suelos en las partes alta y media de las cuencas que drenan hacia el río Meta. La Zona Central y la Zona Occidental presentan una disponibilidad más regular y generalmente no requieren de riego. No obstante, en todos los casos es importante tener y llevar información confiable, hacer balances hídricos para manejar racionalmente este recurso, empleando las alternativas más apropiadas para su disponibilidad, uso y regulación. Los sistemas de riego y drenaje se diseñan y ejecutan en el momento de la adecuación de los lotes. En general, la infraestructura de canales es de 450 m/ha, en promedio, y puede servir para riego y drenaje. La frecuencia de riego oscila entre 10 y 30 días, dependiendo del tipo de suelo. El requerimiento hídrico se establece según los balances que arroje los datos de monitoreo.

METODOLOGÍA.

2.5. Localizacion.

Se ubicó el área del proyecto identificando el sitio, Municipio y Departamento para luego ubicar geográficamente la longitud y latitud del área del proyecto. Así mismo se describió de manera breve algunas características del área de estudio.

2.6. Desarrollo metodológico

2.6.1. Revisión de información disponible relacionada con la plantación

Metodologia.

- Se recopiló por medio de un formato (Anexo A), toda la información relacionada con la plantación, para determinar las herramientas necesarias desarrollar el trabajo. Información relacionada con planos o mapas de Levantamiento Planímetro y Altimétrico de la Plantación, Análisis o estudios de Suelos, Características del Cultivo de Palma Establecido (Área, Variedad, Año Siembra, Densidad de Siembra, Producción Tn/Ha).

2.7. Oferta y demanda ambiental de la Zona.

Metodología

Se obtuvieron Datos de Precipitación y Evaporación de la Estación Climatológica más cercana a la plantación. Y se desarrollaron los siguientes análisis:

1. Se realizó un análisis de la Oferta y demanda ambiental de la zona.
2. Se efectuó un análisis de precipitación Anual Multianual, el cual nos indica cuan seca o húmeda puede llegar a ser dicha zona
3. Se determinó la demanda ambiental, tomando los valores de evapotranspiración (ET) que se presentan bajo condiciones normales en la plantación. La magnitud de la evapotranspiración depende principalmente del cultivo, del contenido de humedad en el suelo y del clima.
4. Se permitió un análisis de Oferta VS Demanda, este análisis contempla realizar un balance entre la oferta y la demanda ambiental para las condiciones de la Plantación, para determinar los meses del año donde se hace necesaria la aplicación de riego para complementar la precipitación.
5. Se conoció los requerimientos hídricos de la plantación, teniendo en cuenta el mes más crítico de la Zona, para determinar el suministro de agua con el que se debe contar.
6. Se estableció periodos de Recarga por Precipitaciones, Precipitaciones de Diseño para drenaje y Niveles Freáticos altos o Flujos Subsuperficiales.

2.8. Procesos de Adecuacion de Tierras.

Metodología

1. Se Identifico los Procesos de Adecuación de Tierras para riego y drenaje Tradicionales los cuales se llevan a cabo en la zona para el cultivo de palma de aceite.
2. Se establecio y recomiendo Métodos o Procesos de Adecuación de Tierras para riego y drenaje Tecnificado en Busca de Productividad, Calidad y eficiencia en el Cultivo de Palma de Aceite.

2.9. Demanda de tecnología en áreas agrícolas.

Metodología.

1. Se Determino las Operaciones, Actividades y requerimientos tecnológicos que demandan las áreas agrícolas del cultivo de palma de aceite.

2.10. Costos de adecuacion de tierras para riego y drenaje en proyectos de Palma de aceite.

Metodologia.

1. Se crea una matriz de costos de Adecuacion de tierras, que puede servir a los cultivadores de Palma de aceite del Municipio de Aracataca – Magdalena.

2.11. Metodologia de adecuación de tierras para riego y drenaje en proyectos de palma de aceite.

Metodología.

1. Se Desarrollo una Metodología para abordar debidamente los procesos de adecuación de tierras para riego y drenaje en proyectos de palma de aceite.

3. RESULTADOS.

1.1. Localizacion.

El trabajo se realizó en la Plantacion Pradera, en el Municipio de Aracataca, Departamento del Magdalena, Plantacion perteneciente a la empresa Fernando A García & CIA SCA, con una altitud promedio de 30 msnm, y temperatura media de 28 °C, Posición Geográfica: 10°37'56.32"N 74°11'48.56"O. La Plantacion Pradera Cuenta con un área de 118.67 Ha dedicadas al cultivo de palma de aceite (Ilustración 4).

Ilustración 4. Perimetro Plantación Pradera.



Fuente: Imagen Satelital Tomada de Google Earth

1.2. Revision de información disponible relacionada con la plantación.

Tabla 1. Informacion Disponible de la Plantacion.

FINCA LA PRADERA									
LOTE	# PALMAS	DIST. SIEMBRA	MATERIAL	AÑO DE SIEMBRA	HAS	PRODUCCION TON 2010 - 2013			
						2010	2011	2012	2013
						Ton/Ha/Año	Ton/Ha/Año	Ton/Ha/Año	Ton/Ha/Año
Pradera 1-03	500	9 X 9	GOLDEN HOOK	2003	3.50	22.08	24.93	31.86	23.53
La Grama	915	9 X 9	GOLDEN HOOK	2003	6.40	17.33	19.91	23.2	20.97
13-3	4150	9 X 9	MALASIA	2005	29.02	19.52	16.45	19.3	19.07
13-1-05	901	9 X 9	MALASIA	2005	6.30	18.51	19.81	20.53	22.93
13-2	4480	8 X 8	COMPACTA X NIGERIA	2008	28.00	0.00	0.23	5.33	12.25
13-1-08	1282	8 X 8	COMPACTA X NIGERIA	2008	8.01	0.00	2.08	4.25	13.8
Salero	1040	8 X 8	COMPACTA X NIGERIA	2008	6.50	0	1	3.11	18.16
El Roble 1	987	9 X 9	COMPACTA X NIGERIA	2010	6.90	0	0	0	0
13-4	2880	8 X 8	COMPACTA X NIGERIA	2011	18.00	---	0	0	0

La tabla 1, muestra la información disponible en la plantación, de acuerdo a los registros llevados por administración, Se puede concluir que la plantación no cuenta con planos topográficos, ni posee estudios de características físicas de suelos.

1.3. Oferta y demanda ambiental de la zona.

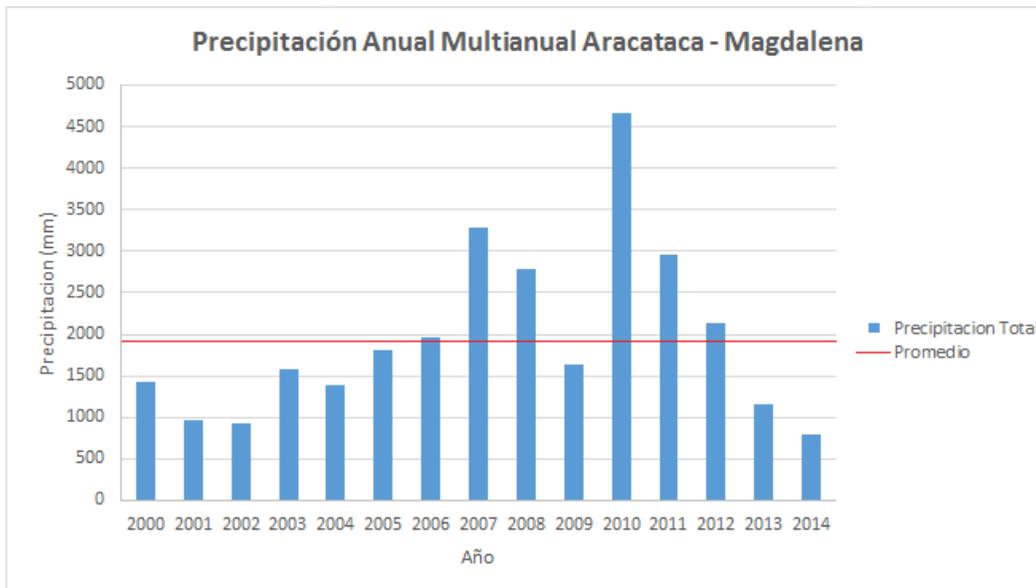
El régimen de lluvias es el principal modelador del clima de una región y este tiene un efecto directo sobre la producción agrícola, por esto su análisis es importante para conocer el comportamiento del clima y de esta manera, al integrarlo con otros parámetros climáticos como temperatura, evaporación, humedad relativa, etc., permite estimar las necesidades hídricas “críticas” de una determinada zona. Esto es posible mediante el análisis estadístico de los registros multianuales de cada una de estas variables.

En el caso de Aracataca - Magdalena, se cuenta con registros pluviométricos de la Estación Climatológica El Carmen desde 2000 – 2014 (15 años). Esta serie de datos se considera suficiente para determinar el comportamiento del clima, y estimar las necesidades hídricas de un cultivo agrícola basadas en el balance de oferta y demanda climática. A continuación se presentan los análisis realizados para este fin.

1.3.1. Oferta de precipitación

La precipitación anual para un análisis de tiempo considerable, indica como característica climática de una zona, simplemente la cantidad de milímetros de lluvia que normalmente cae sobre esta. Al ser un dato tan general, su análisis solamente indica cuan seca o húmeda puede llegar a ser dicha zona (Ilustración 5).

Ilustración 5. Precipitación anual multianual Aracataca – Magdalena.

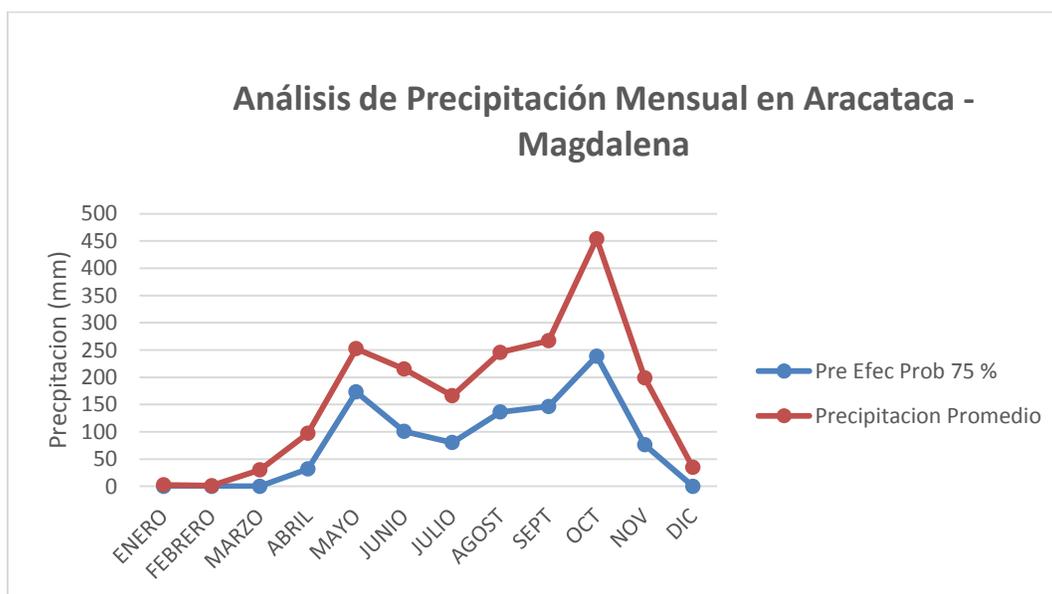


Fuente: Autor

Como se observa en la Ilustración 26, el factor precipitación como variable climática del Municipio de Aracataca - Magdalena, muestra una zona seca con valores promedios cercanos a los 1965 mm/año y con años tan críticos como 2014, en donde la precipitación no alcanzó los 800 mm. Se puede comentar que en la mayoría de los años la precipitación es inferior a los 2000 mm.

Sin embargo con fines agrícolas, un valor promedio de precipitación, aunque se cuente 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: (Ilustración 6). La metodología utilizada es la desarrollada por Fuentes Yague, 1996.

Ilustración 6. Comparación de la Precipitación mensual y la efectiva con probabilidad del 75% en Aracataca - Magdalena.



Fuente: Autor

El análisis realizado contempla la serie histórica de datos desde 2000 hasta el año 2014.

La precipitación efectiva indica para este tipo de análisis que de la precipitación presentada durante cierto mes, parte de esta es interceptada por la cobertura y parte se pierde por escorrentía y percolación profunda. Además, el análisis de probabilidad de precipitación, indica las condiciones mínimas que se presentarían en el 75% de los casos. Para este caso indica lo que sucede en tres de cada cuatro años.

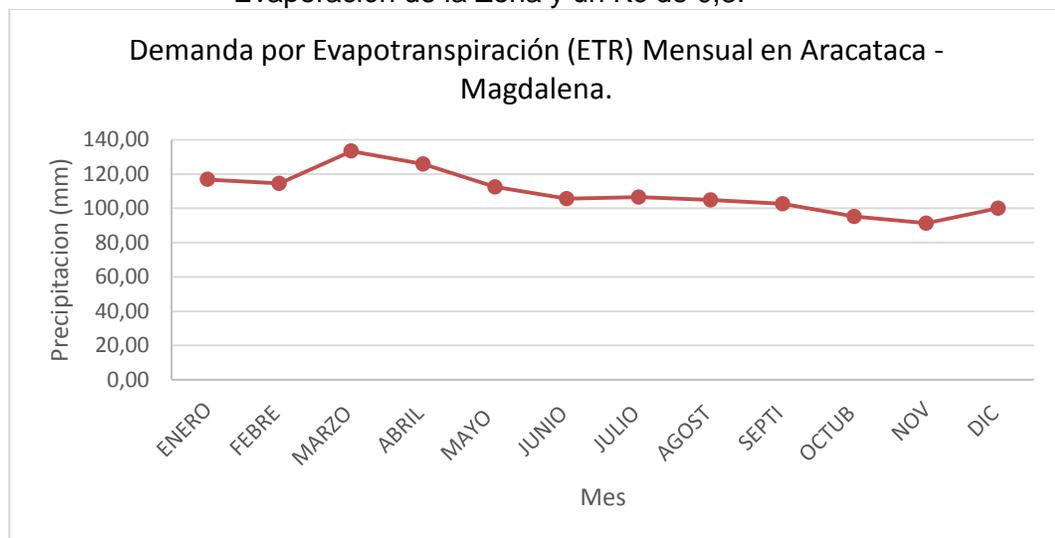
De la gráfica se observa que con una probabilidad del 75% la precipitación efectiva (P_e) para los meses de diciembre a marzo es de cero. Es decir, que en tres de cada cuatro años, la precipitación en estos meses es tan baja que en su mayoría es interceptada por el follaje y la cobertura. Además la gráfica muestra que bajo este mismo análisis, en los meses de alta precipitación los valores efectivos no superan los 250 mm y por lo tanto un valor anual de precipitación efectiva con una probabilidad del 75% es de 1335 mm. De la misma manera se realizó el análisis para una probabilidad del 50%, es decir lo que ocurriría en dos de cuatro años, obteniéndose una precipitación efectiva de 1720 mm.

1.3.2. Demanda ambiental

El análisis de demanda ambiental contempla determinar 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 y del clima. Para el caso de la palma de aceite aún no se ha determinado con certeza un coeficiente K_c que relacione las condiciones potenciales de evapotranspiración (ET) o la evaporación (EV) con las reales, sin embargo para efectos de análisis se desarrollarán los cálculos, determinando la evapotranspiración del cultivo, teniendo en cuenta la evaporación de la zona, medida por la estación Climatológica de El Carmen.

Igualmente se asumirá un valor K_c de 0.8. Es decir, que se trabajará la demanda ambiental del cultivo ETR como un 80% de la EV ($ETR = 0.8 \cdot EV$).

Ilustración 7. Demanda de evapotranspiración mensual en Aracataca - Magdalena según la Evaporación de la Zona y un K_c de 0,8.



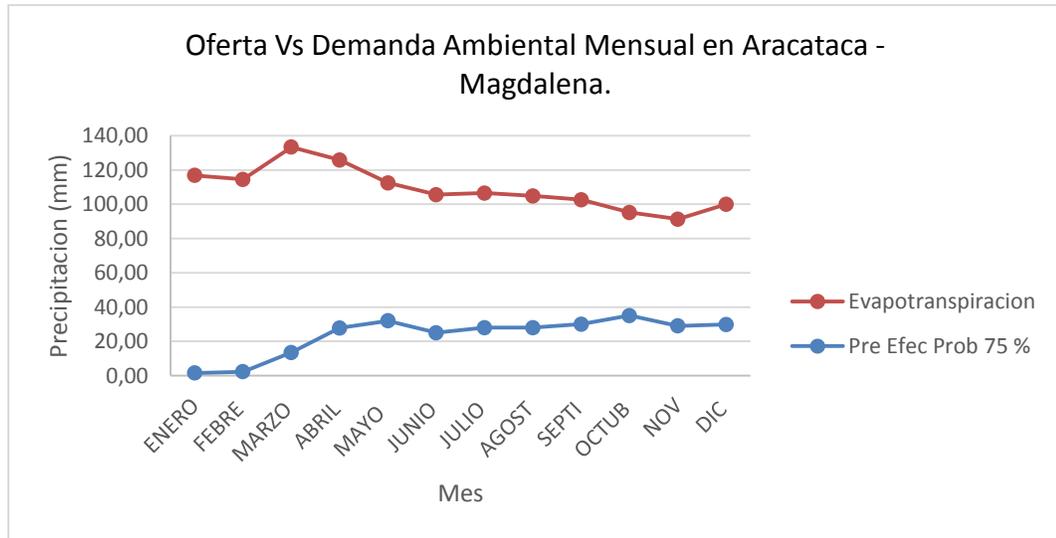
Fuente: Autor

La Ilustración 7, muestra un comportamiento decreciente de la ET a través del año opuesto a la precipitación. Presentándose valores medios cercanos a los 110 mm y un máximo de 133 mm en el mes de marzo que es donde normalmente se presentan las más bajas precipitaciones y las más altas temperaturas. El valor de evapotranspiración anual, calculada de esta manera es de 1309 mm.

1.3.3. Oferta Vs demanda

Este análisis contempla realizar un balance entre la oferta y la demanda ambiental para las condiciones de Aracataca – Magdalena (Ilustración 8).

Ilustración 8. Requerimiento de riego Aracataca - Magdalena según un balance hídrico con datos de ET y una precipitación con probabilidad del 75%.



Fuente: Autor

Como se observa, con una probabilidad del 75%, en todos los meses del año se hace necesaria la aplicación de riego para complementar la precipitación, siendo más crítico el mes de marzo en donde el déficit alcanza los 120 mm. El déficit acumulado correspondiente a este análisis de probabilidad es de aproximadamente 1027 mm/año, siendo este el valor que debe tratar reponerse mediante la aplicación de riego.

En términos generales se comenta que el análisis realizado pretende dar una idea cercana a la realidad de los verdaderos requerimientos de agua que se presentan en el Municipio de Aracataca –Magdalena durante la mayor parte de los años.

1.3.4. Necesidades netas

El valor de 120 mm/mes, es el valor que determina el caudal máximo requerido por el cultivo de palma en la zona. Su forma de cálculo es Como sigue:

$$Nn = \frac{120 \text{ mm}}{\text{mes}} * \frac{10 \frac{\text{m}^3}{\text{ha}}}{1 \text{ mm}} * \frac{1 \text{ mes}}{30 \text{ dias}} * \frac{1 \text{ dia}}{24 \text{ hr}} * \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}} * \frac{1000 \text{ l}}{1 \text{ m}^3}$$

$$Nn = 0.46 \text{ l/s/ha}$$

Es decir que para satisfacer los requerimientos hídricos de las 1 Ha en el mes más crítico, se debe contar con suministro neto permanente de 0.46 l/s/ha. Este valor al ser neto, no contempla la eficiencia del sistema e indica un suministro las 24 horas del día.

1.3.5. Precipitaciones para Diseño de Drenaje.

1.3.5.1. Determinación del periodo de retorno.

El análisis de frecuencia de eventos de lluvia es una herramienta utilizada para predecir el comportamiento futuro de los caudales en un sitio de interés, a partir de la información histórica de las lluvias ocurridas en un periodo dado. Su confiabilidad depende de la longitud y calidad de la serie histórica (Pizarro 1978).

Para La Determinación del Periodo de Retorno en La Hacienda Pradera se hizo un análisis de frecuencia de lluvias de 2000 a 2014 registradas en la estación climatológica de El Carmen del IDEAM ubicada en el Municipio de Aracataca en 1967, esta zona presenta datos de precipitación desde enero de 2000, los cuales fueron tomados con el pluviómetro CM, ubicado adyacente a la casa del auxiliar de campo.

Según (Pizarro, 1978) La recarga se establece por el método de la lluvia critica, para la lluvia que se repita más de cinco veces al año.

Tabla 2. Cálculo para la determinación de la frecuencia y periodo de retorno.

I	$a_i < p_i < b_i$	N_i	$f_i = (N_i / \sum N_i)$	$F_i = (M_i / \sum N_i)$	$1 - (*5)$	$1 / (*5)$	$(*7) / 365$	$365 / (*7)$
*1	*2	*3	*4	*5	*6	*7	*8	*9
1	0	4522	0.83	1.00	0.00	1.00	0.00	365.00
2	0 - 5	156	0.03	0.17	0.83	5.75	0.02	63.53
3	5 - 10	139	0.03	0.15	0.85	6.87	0.02	53.13
4	10 - 15	89	0.02	0.12	0.88	8.32	0.02	43.87
5	15 - 20	70	0.01	0.10	0.90	9.62	0.03	37.93
6	20 - 25	64	0.01	0.09	0.91	10.97	0.03	33.27
7	25 -30	65	0.01	0.08	0.92	12.59	0.03	29.00
8	30-35	42	0.01	0.07	0.93	14.80	0.04	24.67
9	35-40	47	0.01	0.06	0.94	16.69	0.05	21.87
10	40-45	38	0.01	0.05	0.95	19.48	0.05	18.73
11	45-50	36	0.01	0.04	0.96	22.53	0.06	16.20
12	50-55	32	0.01	0.04	0.96	26.45	0.07	13.80
13	55-60	23	0.00	0.03	0.97	31.29	0.09	11.67
14	60-65	15	0.00	0.03	0.97	36.02	0.10	10.13
15	65-70	15	0.00	0.03	0.97	39.96	0.11	9.13
16	70-75	10	0.00	0.02	0.98	44.88	0.12	8.13
17	75-80	11	0.00	0.02	0.98	48.88	0.13	7.47
18	80-85	18	0.00	0.02	0.98	54.21	0.15	6.73
19	85-90	9	0.00	0.02	0.98	65.96	0.18	5.53
20	90-95	10	0.00	0.01	0.99	73.99	0.20	4.93
21	95-100	30	0.01	0.01	0.99	85.55	0.23	4.27
22	100-105	4	0.00	0.01	0.99	161.03	0.44	2.27
23	105-110	2	0.00	0.01	0.99	182.50	0.50	2.00
24	110-115	3	0.00	0.01	0.99	195.54	0.54	1.87
25	115-120	4	0.00	0.00	1.00	219.00	0.60	1.67

26	120-125	14	0.00	0.00	1.00	260.71	0.71	1.40
27	125-130	6	0.00	0.00	1.00	782.14	2.14	0.47
28	130-135	0	0.00	0.00	1.00	5475.00	15.00	0.07
29	135-140	0	0.00	0.00	1.00	5475.00	15.00	0.07
30	140-145	0	0.00	0.00	1.00	5475.00	15.00	0.07
31	145-150	0	0.00	0.00	1.00	5475.00	15.00	0.07
32	150-155	0	0.00	0.00	1.00	5475.00	15.00	0.07
33	155-160	0	0.00	0.00	1.00	5475.00	15.00	0.07
34	160-165	0	0.00	0.00	1.00	5475.00	15.00	0.07
35	165-170	0	0.00	0.00	1.00	5475.00	15.00	0.07
36	170-175	0	0.00	0.00	1.00	5475.00	15.00	0.07
37	175-180	0	0.00	0.00	1.00	5475.00	15.00	0.07
38	180-185	1	0.00	0.00	1.00	5475.00	15.00	0.07

Fuente: Autor

*1 = Número de Orden (i)

*2 = Intervalo de Precipitación (mm) (Pi)

*3= Número de Observaciones (n)

*4 = Frecuencia de la Precipitación (Ni) = n/3064

*5 = Frecuencia Como es Igualada o Superada la Precipitación (Mi) = 1-Ni

*6 = Frecuencia de las precipitaciones inferiores a Mi

*7 = Periodo de Retorno en Días

*8 = Periodo de Retorno en Años

*9 = Número de Veces por Año en que la Lluvia Supera Pi

Mi = Suma del número de observaciones *3 de la precipitaciones de orden igual o superior a (i)

Sumatoria Ni = 3,650 días en 10 años.

En base a la tabla 2, se establece por el método de la lluvia critica, para una precipitación que se repita más de cinco veces al año con un periodo de retorno de 5 años, la precipitación de diseño de 95 mm para el caso de esta zona de Aracacata – Magdalena.

1.3.5.2. Drenaje superficial

1.3.5.2.1. Infiltracion Potencial (Metodo Curva Numero).

$$S = \frac{25400}{CN} - 254$$

$$S = \frac{25400}{86} - 254 = 41.3 \text{ mm}$$

Los valores de CN para diferentes prácticas agrícolas y condiciones hidrológicas de los suelos, se representan en la tabla siguiente, al cual se debe entrar buscando las condiciones hidrológicas que se refieren al grado de cobertura vegetal.

Tabla 3. Clasificación Hidrológica de los suelos en A, B, C y D de acuerdo al potencial de escorrentía.

Tipo de suelo	Descripción	Infiltración final
A	Bajo Potencial de escorrentía. Posee la mayor infiltración, son suelos de gran permeabilidad, incluso cuando están saturados, comprendiendo los terrenos profundos, sueltos con predominio de arenas o gravas, y muy poco limo o arcilla. Incluyen loes profundos.	8-12
B	Moderadamente bajo potencial de escorrentía. Incluye suelos con infiltración moderada, cuando están saturados pero presentan moderada permeabilidad. Comprenden terrenos arenosos menos profundos que los anteriores, y a aquellos de textura franco arenosa, y a los francos profundos. Incluyen loes poco profundos.	4-8
C	Moderadamente alto potencial de escorrentía. Incluye suelos que ofrecen poca permeabilidad cuando están saturados, porque presentan un estrato impermeable que dificulta la infiltración; o porque se textura es franco arcillosa o arcillo-limosa.	1-4
D	Alto potencial de escorrentía. Son suelos que presentan gran impermeabilidad cuando están saturados, porque presentan un estrato impermeable, o arcilloso, relativamente cerca de la superficie.	<1

Fuente: Razuri, 2004.

Con el grupo hidrológico descrito en la tabla 3, se busca el número de curva (CN) de escorrentía de acuerdo al complejo hidrológico suelo-cobertura, práctica de cultivo y condiciones hidrológicas para las condiciones que se tengan de humedad antecedente.

Según las características de clasificación hidrológica el tipo de suelo que se ajustan es el tipo **B**. ya escogido el tipo de suelo se entra a la tabla 4 en donde se toma según el uso de la tierra (Rastrojo), la practica agrícola (Hileras Rectas) y el grupo de suelos (Grupo B), se escoge el **CN**, que para las condiciones anteriores es de 86.

Tabla 4. Valores de Curva Numero S.C.S.

Cobertura			Grupo de suelos			
Uso de la tierra	Práctica agrícola	Condición hidrológica	A	B	C	D
			Número de Curva			
Rastrojo	Hileras rectas	--	77	86	91	94
Cultivo en hileras	Hileras rectas * *	Mala	71	81	88	91
		Buena	67	78	85	89
	En curvas de nivel * *	Mala	70	79	84	88
		Buena	65	75	82	86
	En curvas y terrazas * *	Mala	66	74	80	82
		Buena	62	71	78	81
Cultivo en hileras estrechas	Hileras rectas * *	Mala	65	76	84	88
		Buena	63	75	83	87
	En curvas de nivel * *	Mala	63	74	82	85
		Buena	61	73	81	84
	En curvas y terrazas * *	Mala	61	72	79	82
		Buena	59	70	78	81
Leguminosas en hileras estrechas, o forraje de rotación ¹	Hileras rectas * *	Mala	66	77	85	89
		Buena	58	72	81	85
	En curvas de nivel * *	Mala	64	75	83	85
		Buena	55	69	78	83
	En curvas y terrazas * *	Mala	63	73	80	83
		Buena	51	67	76	80
Pasto de pastoreo	--	Mala	68	79	86	89
	--	Regular	49	69	79	84
	--	Buena	39	61	74	80
	curvas de nivel	Mala	47	67	81	88
	* *	Regular	25	59	75	83
	* *	Buena	6	35	70	79
Hortalizas, Huertas ²	Cultivos intensivos	--	45	66	77	83
Caña de azúcar ²	Con quema de residuos, HR	--	43	65	77	82
	Sin quema, Hileras rectas	--	45	66	78	83
Pasto de corte	--	Buena	30	58	71	78
Patios	--	--	59	74	82	86

¹ Siembra tupida o al voleo

² Valores obtenidos en Puerto Rico

Fuente: Razuri, 2004

1.3.5.2.2. Calculo de la Escorrentia.

La Escorrentía Superficial es la precipitación que no se infiltra en ningún momento y llega a la red de drenaje moviéndose sobre la superficie del terreno por la acción de la gravedad. La escorrentía se calcula de la siguiente forma:

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

E = Escorrentía (mm)

P = Precipitación de diseño (mm); (para drenaje superficial se sugiere para 1 día de duración y período de retorno de 5 – 10 años)

$$E = \frac{95 - 0,2 * 41,3^2}{95 + 0,8(41,3)} = 58.76 \text{ mm}$$

1.3.5.2.3. Coeficiente de drenaje.

El coeficiente de Drenaje es equivalente al exceso de agua de escorrentia que se debe remover por unidad de tiempo. Y lo podemos expresar como caudal por unidad de area. Se calcula de la siguiente forma:

$$C_d = 4,573 + 0,162 * E$$

$$C_d = 4,573 + 0,162 * 58.76 = 14.1$$

1.3.5.2.4. Caudal de Diseño.

El caudal de Diseño se refiere a la cantidad de agua que se debe evacuar de determinada area. Su forma de calculo es la siguiente:

$$Q^1_s = C_d * A^5_6$$

$$Q^1_s = 14.1 * A^5_6$$

1.4. Procesos de Adecuacion de Tierras.

1.4.1. Procesos de Adecuación de Tierras para riego y drenaje Tradicionales en la zona para el cultivo de palma de aceite.

- A. **Actividades preliminares:** Referencia de la ubicación y establecimiento de la propiedad donde se pretende cultivar La Palma.
- B. **Labores en rastrojeras o pastos:** Realizar el corte de pastos en mezcla con rastrojo, la limpieza se realiza con ayuda de un Tractor con su respectivo cortamalezas.
- C. **Labores en un bosque menor de 20 cm de diametro (socola):** para el desmonte se dispone de un bulldozer, se realiza la limpieza amontonando los palos en arrumes longitudinales, retirados del area donde se piensa establecer el cultivo.
- D. **Labores en un bosque de arboles grandes:** en estas areas se hace el demonte con ayuda de una motosierra, se cortan en toletes, para poder darles otro uso.
- E. **Labranza del suelo:** se basa en el uso del arado de discos como implementos de la labranza primaria e incluye varios pases de rastrillos de discos o de rastras. Y una labranza reducida realizada con cinceles o subsolador.
- F. **Alistamiento del área:** Las densidades más frecuentes para la siembra de palma en el campo son entre 145 y 160 palmas por hectárea y la mejor distribución para el trazado es la del triángulo equilátero, con lados iguales, con la cual todas las palmas quedan equidistantes entre si.
- G. **Red de drenaje:** Consiste en la construccion de canales para la evacuación del agua libre (Ilustración 9), de la superficie del terreno, proveniente de lluvias o riego muy intensa y frecuente, la construccion se realiza sin tener encuesta el suelo, topografía, capacidad hidraulica de los canales, precipitación, frecuencia de inundaciones, etc.

Ilustración 9. Red de Drenaje.

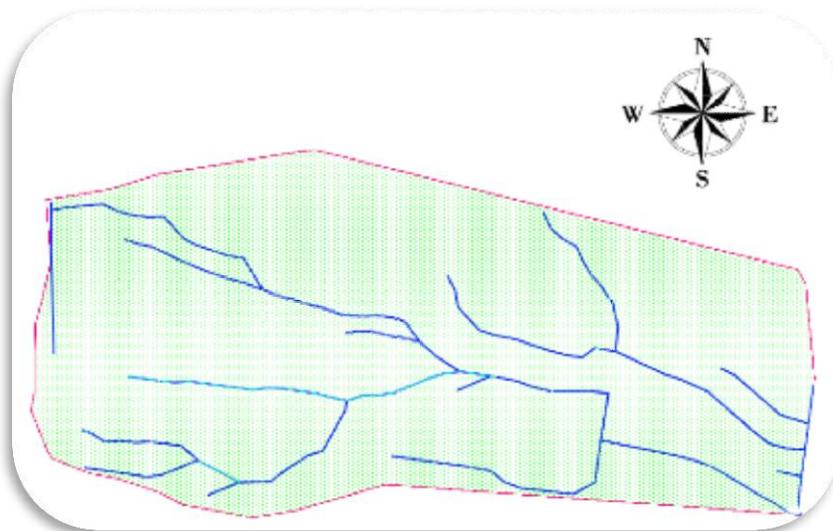


Fuente: Autor

H. Red de Riego: Consiste en la construcción de canales para la conducción de agua para riego (Ilustración 10), en la mayoría de los casos los canales de riego son excavados (bajo el nivel del suelo), la construcción se realiza sin tener en cuenta el suelo, topografía, capacidad hidráulica de los canales. No existe un levantamiento Topográfico detallado de la plantación, para llegar a concluir si la orientación de los lotes es la adecuada para favorecer el riego por superficie y si el trazado de los canales se realizaron por las zonas altas del lote.

En el Sistema de Riego por gravedad establecidos se evidencia que debido a la topografía irregular del terreno, existen zonas en las cuales el regador, para poder humedecer el suelo deba permitir la acumulación de grandes cantidades de agua en las partes bajas del terreno y realizar bordas a través del lote para direccionar el flujo del agua. Este hecho también ocasiona que el regador defina no humedecer ciertas zonas, pues su dificultad ocasiona bajo rendimiento.

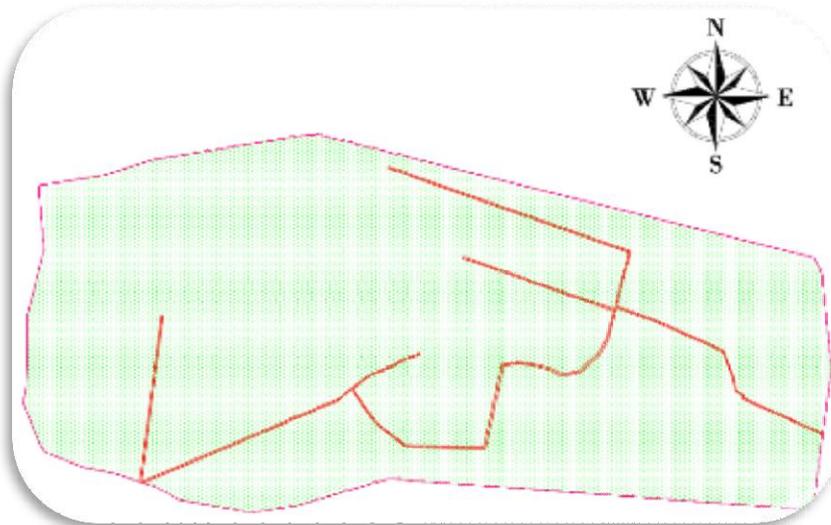
Ilustración 10. Figura. Red de Riego.



Fuente: Autor

I. Vías de Acceso: La construcción de la red de vías de comunicación se realizan después del establecimiento de la plantación (Ilustración 11), cuando esta ya se dispone para la primera cosecha del cultivo. En el terreno se trazan con un ancho de Seis (6) metros. la construcción se realiza sin tener en cuenta el suelo y topografía del terreno, no se dispone de un diseño inicial, en muchas ocasiones son definidas por el paso del tractor.

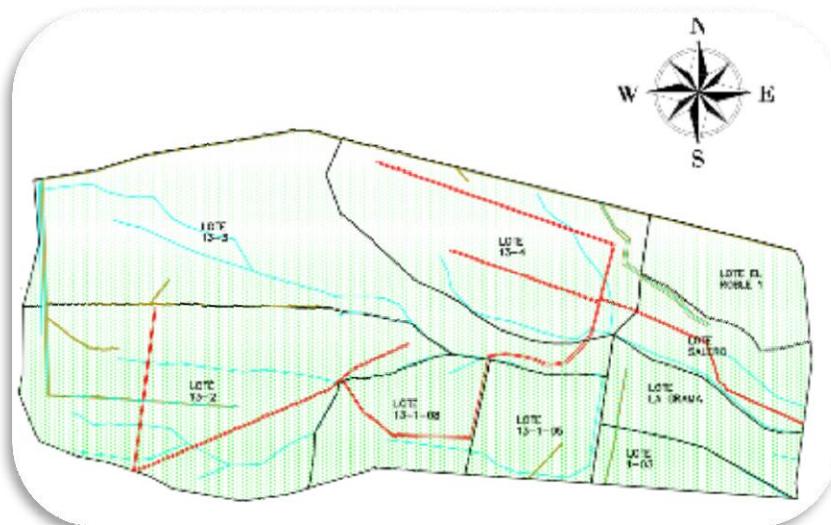
Ilustración 11. Vías de Acceso.



Fuente: Autor

- J. Delimitación de Bloques o Lotes:** Hechos los caminos, red de drenaje y riego, se procede a delimitar los bloques con su área determinada, el área de cada lote esta limitado por las vías, canales de riego y drenaje (Ilustración 12).

Ilustración 12. Delimitación de Lotes.



Fuente: Autor

- K. Aplicación de Agua de Riego:** La aplicación del riego es de forma superficial. Consiste en desbordar agua desde canales de riego y por acción de la gravedad, el agua humedece la totalidad del terreno al circular a través de la pendiente. No se tiene en cuenta la Topografía del terreno, para llegar la orientación de los lotes que favorezca el riego por superficie. Las Propiedades del suelo como lo son la textura y capacidad de almacenamiento del mismo, No son incluidas en la programación y asignación de caudales para cada sector de riego, La labor de riego termina cuando el regador humedece toda el área del lote, esto se determina el tiempo de riego. La finalidad del

riego es humedecer toda el área del lote, sin importar si existen zonas de “fácil” o “difícil riego”, por la irregularidades de la topografía del terreno. La Frecuencia de riego es secuencial, cuando se termina de aplicar agua a toda la plantacion, se inicia nuevamente a regar.

1.4.2. Procesos de Adecuación de Tierras para riego y drenaje Tecnificado en el Cultivo de Palma de Aceite.

- A. Actividades preliminares:** Referencia de la ubicación y establecimiento de la propiedad donde se pretende cultivar La Palma.
- B. Estudio de aptitud de tierras para el cultivo de Palma:** Los estudios de aptitud de las tierras consisten en la evaluación de los diferentes tipos de suelo y de las condiciones climáticas de una región. Su objetivo es facilitar la definición de políticas de expansión sostenible de un cultivo y aprovechar al máximo los recursos naturales disponibles. Tales factores pueden ser por ejemplo: más de 4.000 mm de lluvia o menos de 2.200 mm, profundidad efectiva del suelo inferior a 70 cm, veranos muy prolongados.

Para quienes tienen sus cultivos establecidos fuera de las áreas identificadas como aptas, los estudios de aptitud de tierras les permiten conocer cuáles son sus limitaciones y con tal información les será más sencillo entrar a solucionar los limitantes para alcanzar altos niveles de producción.

- C. Aspectos Legales:** Se deben tramitar aspectos legales relacionados con concesiones de aguas superficiales o subterráneas, aprovechamientos forestales, estudios de impactos ambientales, requisitos de cambio de cultivos o cobertura, y toda la documentación exigida por las corporaciones ambientales y corporaciones que rigen nuevos proyectos para cultivos de palma de aceite.
- D. Labores en rastrojeras o pastos:** Realizar el corte de pastos en mezcla con rastrojo, la limpieza se realiza con ayuda de un Tractor con su respectivo cortamalezas (Ilustración 13).

Ilustración 13. Limpieza con Cortamalezas.



Fuente: Autor

- E. Labores en un bosque menor de 20 cm de diametro (socola):** para el desmonte se dispone de un bulldozer, se realiza la limpieza amontonando los palos en arrumes longitudinales y orientados norte sur, retirados del area donde se piensa establecer el cultivo (Ilustración 14).

Ilustración 14. Desmonte con Bulldozer.



Fuente: Autor

- F. Labores en un bosque de arboles grandes:** en estas areas se hace el demonte con ayuda de una motosierra, se cortan en toletes, para poder darles otro uso (Ilustración 15).

Ilustración 15. Troceo



Fuente: Autor

- G. Levantamiento Planimetrico y Altimetrico:** Los estudios topográficos son realizados por especialistas en topografía o ingeniería agrícola que determinan la planimetría y altimetría de un terreno. La planimetría consiste en la delimitación e ilustración gráfica de los linderos, las áreas con restricción de tipo ambiental para la siembra, localización de accidentes geográficos como ríos, quebradas, nacederos, vías, vivienda, redes eléctricas y oleoductos, entre otros. La altimetría registra e ilustra las variaciones en el relieve del terreno e identifica y delimita los sectores bajos y altos.

La buena práctica consiste en ordenar los estudios topográficos después de haber verificado que las tierras destinadas para el nuevo proyecto de palma cumplen con los requisitos básicos para el cultivo y no afectan las reservas naturales o los humedales. Los estudios topográficos se realizan antes de los trabajos de adecuación de terrenos.

Se recomienda realizar un levantamiento planimétrico y altimétrico, utilizando una cuadrícula sobre el terreno de 25 x 25 metros, con ayuda de un equipo topográfico, se generan curvas a nivel cada 0.25 m (Ilustración 16).

Ilustración 16. Levantamiento Topográfico.



Fuente: Autor

H. Estudios de caracterización de suelos: El estudio de caracterización de suelos es realizado por profesionales de la edafología o la agronomía, con amplia experiencia en el área de suelos, con el propósito de identificar y delimitar espacialmente las áreas del terreno que son homogéneas, según su tipo de suelo.

Como producto de este tipo de estudios se obtiene un mapa detallado en donde se delimitan los tipos de suelo de un terreno.

Cada tipo de suelo delimitado se identifica de acuerdo con sus propiedades físicas y químicas y, una vez establecido el cultivo, recibe un manejo agronómico diferente al de otro tipo de suelo con el mismo cultivo. El objetivo principal es hacer un manejo nutricional acorde con las características específicas de cada suelo. Un área con el mismo tipo de suelo, material de siembra y edad del cultivo, se denomina Unidad de manejo Agronómico (UMA).

El diseño o mapeo de las UMA es el primer paso hacia la agricultura de precisión. Entre otros beneficios, permite el uso eficiente de los recursos: suelo, planta y ambiente, con el propósito de alcanzar el máximo de potencial de producción de La Palma.

La mejor práctica es ordenar los estudios de caracterización de suelos, por lo menos seis meses antes de la siembra del nuevo cultivo. En cultivos establecidos también es posible realizar la caracterización. El resultado es la delimitación de los diferentes tipos de suelo y luego la agrupación de los cultivos de una misma edad y material genético que existen sobre un mismo de suelo. De esta forma también se obtiene el mapa de las UMA. Cada UMA puede ser solo una parte de un lote, un lote o un grupo de lotes.

- I. **Nivelacion del Terreno:** De acuerdo a la microtopografía se debe realizar una nivelacion limitada del terreno, con ayuda de un bulldozer (Ilustración 17), con cortes minimos en las partes altas y rellenos en las partes bajas, en sentido de la pendiente natural del terreno.

Ilustración 17. Nivelacion del Terreno.



Fuente: Autor

- J. **Labranza del suelo:** se basa en el uso del arado de discos como implementos de la labranza primaria e incluye varios pases de rastrillos de discos o de rastras (Ilustración 18), para romper la superficie del suelo y facilitar la penetración de otros implementos como el cincel o el subsolador. El número de operaciones realizadas en esta labranza varía de acuerdo a la necesidad del suelo.

Seguido de una labranza reducida realizada con cinceles o subsolador, es un buen sistema para el suelo que requiere incrementar el contenido de materia orgánica de la capa superior, y permite romper capas endurecidas presentes en el perfil del suelo, para así fomentar el desarrollo de raíces del cultivo.

Ilustración 18. Arado de Discos.



Fuente: Autor.

- K. Enmiendas:** Aplicación de enmiendas para corregir posibles problemas de salinidad o acidez del suelo. También se aplican Fuentes de fósforo de lenta liberación cuando el suelo tiene contenidos muy bajos del elemento de acuerdo a los análisis de suelos realizados. Se realiza Incorporación mecánica de las enmiendas (Ilustración 19).

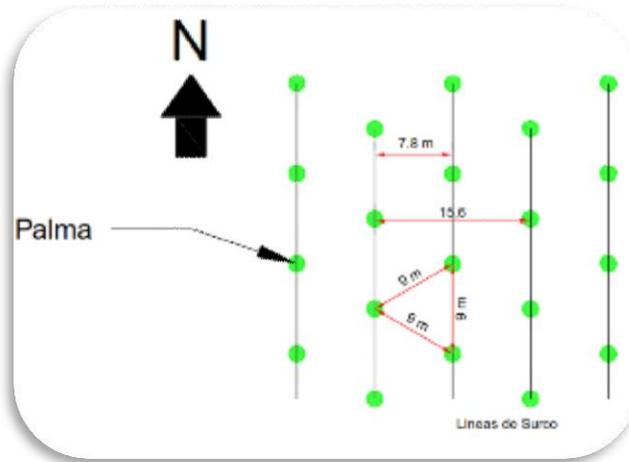
Ilustración 19. Aplicacion de Enmiendas.



Fuente: Autor

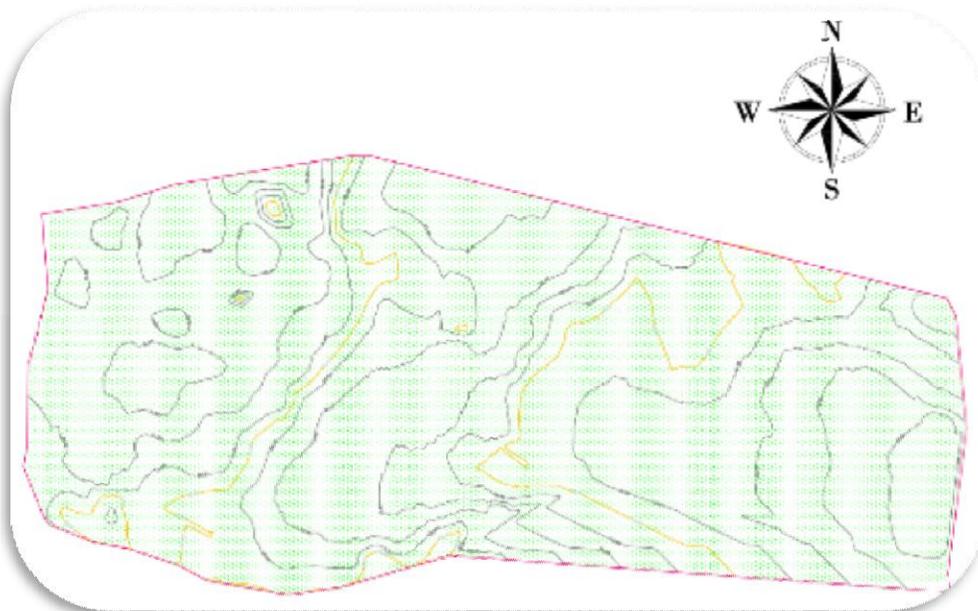
- L. Alistamiento del área:** Las densidades más frecuentes para la siembra de palma en el campo son entre 145 y 160 palmas por hectárea y la mejor distribución para el trazado es la del triángulo equilátero, con lados iguales, con la cual todas las palmas quedan equidistantes entre si (Ilustración 20). Las líneas de surco esta orientadas rumbo norte – sur, para evitar efecto de sombra, para el alistamiento del area require el uso de herramientas de dibujo para localizar las palma en el plano georeferenciado (Ilustración 21).

Ilustración 20. Trazado y orientación de la Siembra.



Fuente: Autor

Ilustración 21. Uso de Herramientas de Dibujo para Georeferenciación de Palmas.

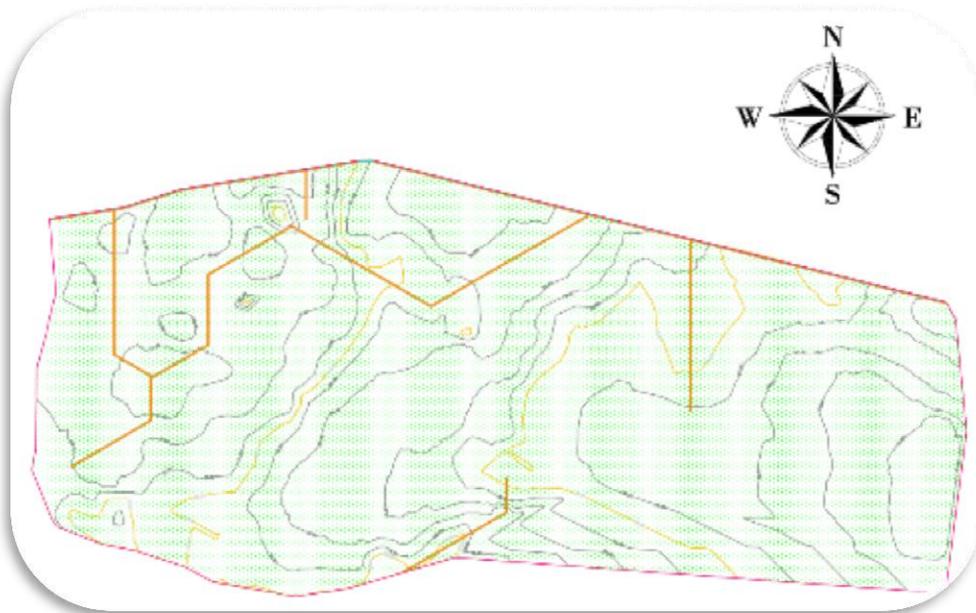


Fuente: Autor

M. Diseño de Plantación. Red de drenaje: Consiste en la construcción de canales para la evacuación del agua libre de la superficie del terreno, proveniente de lluvias o riego muy intensa y frecuente, la construcción se realiza en definición de unidades topográficas, determinando las pendientes de terreno predominantes e localizando las líneas de rumbo de los bajos las zonas (Ilustración 22).

Las dimensiones de los drenes y capacidad hidráulica de los canales para la zona, se deben calcular teniendo en cuenta el caudal de diseño especificado en el numeral 4.3.5.2. "Drenaje superficial" de este documento.

Ilustración 22. Red de Drenaje.



Fuente: Autor

En la generalidad de los suelos el espaciamiento de los drenes colectores oscila entre 700-800 metros, drenes primarios entre 250-350 metros y drenes secundarios entre 70-110 metros.

Para la red de canales abiertos en una finca de Palma se ha calculado dimensiones de drenes. La tabla 5 muestra las dimensiones de drenes según su tipo.

Tabla 5. Dimensiones de drenes en Palma Africana.

DESCRIPCION (Metros)	COLECTOR	PRIMARIO	SECUNDARIO
Profundidad	1.80	1.50	1.00
Boca	5.0	2.50	2.40
Base	0.60	0.60	0.40
Talud	1.5:1	1.5:1	1:1
Pendiente (mm)	0.001	0.001	0.001/0.005

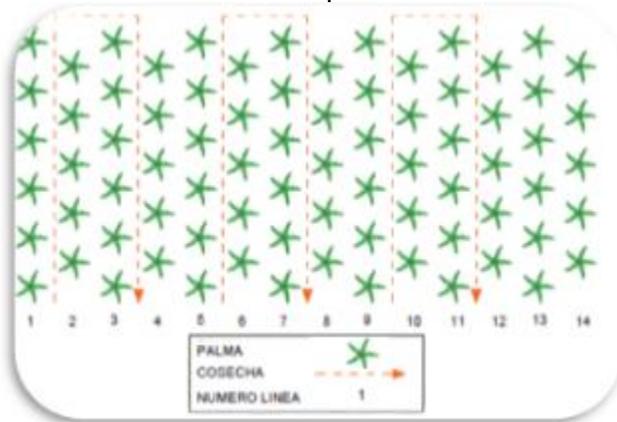
Fuente: Autor.

Debido a que en los cultivos de Palma de aceite la mayoría de drenajes son abiertos, su diseño corresponde y armoniza con el tipo de actividades o labores que allí se realizan. Sin embargo, otra corriente de técnicos diseña los lotes teniendo en cuenta, en primer lugar, la logística de la cosecha, para luego complementarlo con las consideraciones de topografía de las áreas de cultivo y la distribución de canales de riego o drenaje.

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

patrón como muestra la Ilustración 23, en la que el equipo de cosecha se desplaza trabajando en dos líneas simultáneamente.

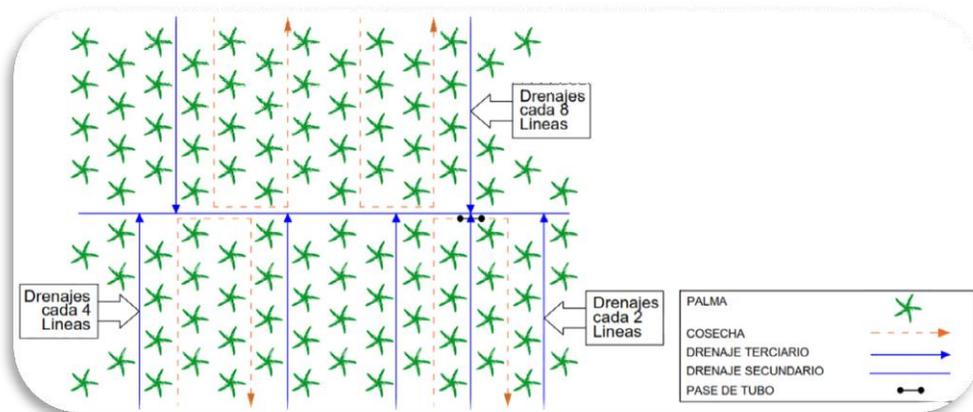
Ilustración 23. Diagrama del recorrido realizado para cosechar en cultivos de Palma de aceite.



Fuente: Autor.

Este tipo de recorrido identifica un parámetro de diseño importante, en el que los drenajes se deben construir preferiblemente cada dos, cuatro, seis u ocho líneas. A manera de ilustración, y sin olvidar que los lotes pueden tener formas y tamaños variados, la Ilustración 24 muestra el diagrama de un lote de palma en el cual hay tres tipos de frecuencia de canales de drenaje, cada dos, cada cuatro y cada ocho líneas; también se observan los recorridos para realizar la cosecha en cada uno de estos tres arreglos. En el caso de los drenajes cada dos líneas, es necesario construir puentes o pasos con tubos, para permitir el giro de los equipos de transporte dentro de los lotes.

Ilustración 24. Diagrama de la distribución de canales de drenaje en un lote de cultivo.



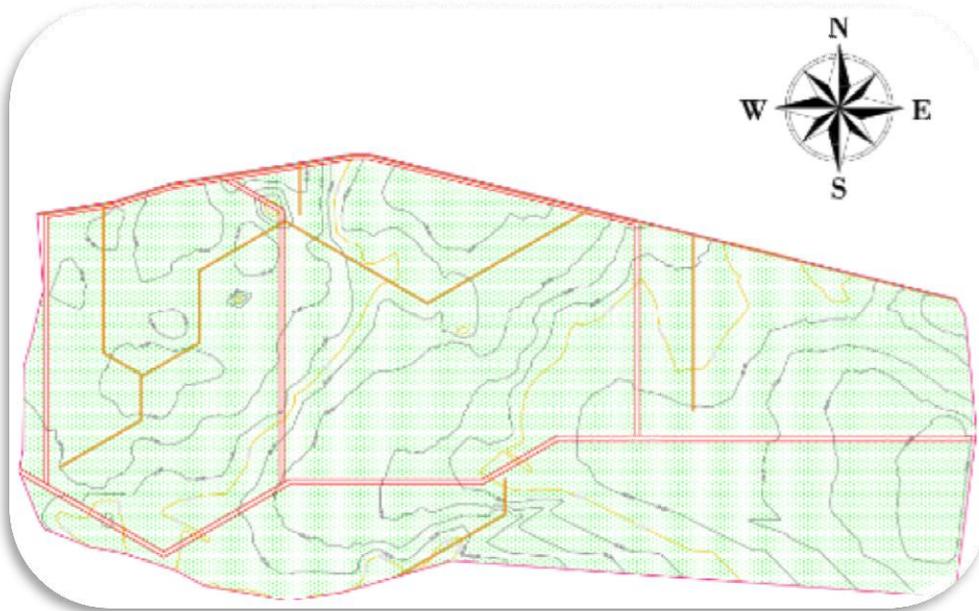
Fuente: Autor.

Además de los requerimientos para la cosecha, la frecuencia de los canales también está relacionada con las características físicas e hidráulicas del suelo, mientras que la orientación de los canales está más relacionada con la pendiente del terreno y la forma de los lotes.

N. Diseño de la Plantación: Vías de Acceso: La construcción de la red de vías de comunicación se realizan antes del establecimiento de la plantación, de acuerdo a la topografía, en el terreno se trazan con un ancho de 6 a 10 metros, identificando las

zonas altas, en sentido oriente – occidente y elevadas respecto al nivel natural de terreno (Ilustración 25).

Ilustración 25. Vías de Acceso



Fuente: Autor

Diseño de Plantacion: Red de Riego: Consiste en la construcción de canales para la conducción de agua para riego por gravedad (Ilustración 26) o la instalación de tubería para riego presurizado (Ilustración 27). Para la determinación del sistema de riego se debe tener en cuenta el caudal neto de 0.46l/s/ha requerido, expuesto en el numeral 4.3. “Oferta y demanda ambiental de la zona” de este documento. Y se determina de acuerdo al caudal con el que cuenta la plantacion, se debe tener en cuenta la siguiente tabla:

Tabla 6. Requerimiento de Caudal según sistema de Riego.

Metodo de Riego	Eficiencia de Aplicación	Requerimiento Hidrico de Caudal (l/s/Ha)		
		Turno Riego de 8 hr/dia	Turno Riego de 12 hr/dia	Turno Riego de 24 hr/dia
Riego por Gravedad Tecnificado.	40%	3.47	2.31	1.16
Riego Presurizado.	85%	1.63	1.09	0.54

Fuente: Autor

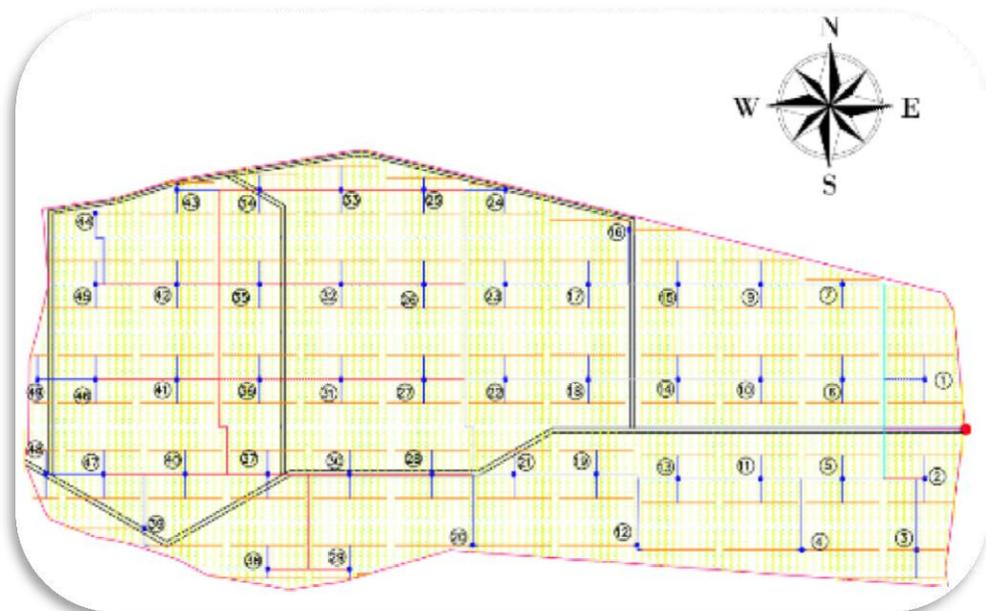
Los datos de caudal necesario para riego expresados en la tabla anterior, están afectados por la eficiencia de aplicación del sistema de riego y la jornada de riego diario. Este caudal se debe comparar con el caudal que cuenta la plantacion, para conocer cual es el sistema mas viable en cuanto a necesidades hidricas del cultivo.

Ilustración 26. Red de Riego por Gravedad.



Fuente: Autor

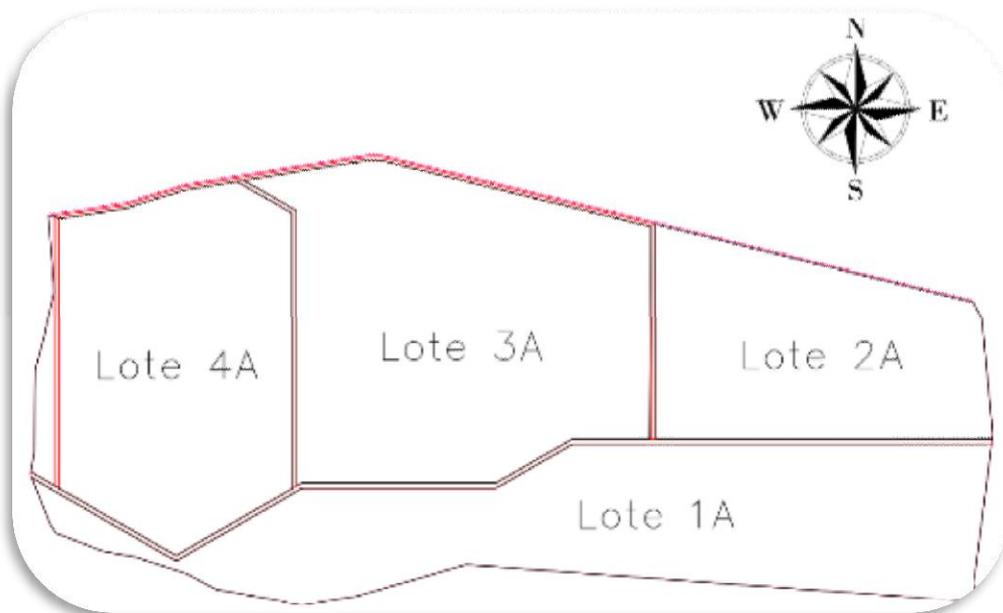
Ilustración 27. Red de Riego Presurizado.



Fuente: Autor

- O. Delimitación de Bloques o Lotes:** Después de realizado el diseño de la plantación, se procede a delimitar los bloques con su área determinada (Ilustración 28), el área de cada lote se puede delimitar por las vías, se recomienda no exceder de 25 Hectareas el área de cada lote.

Ilustración 28. Delimitación de Lotes.

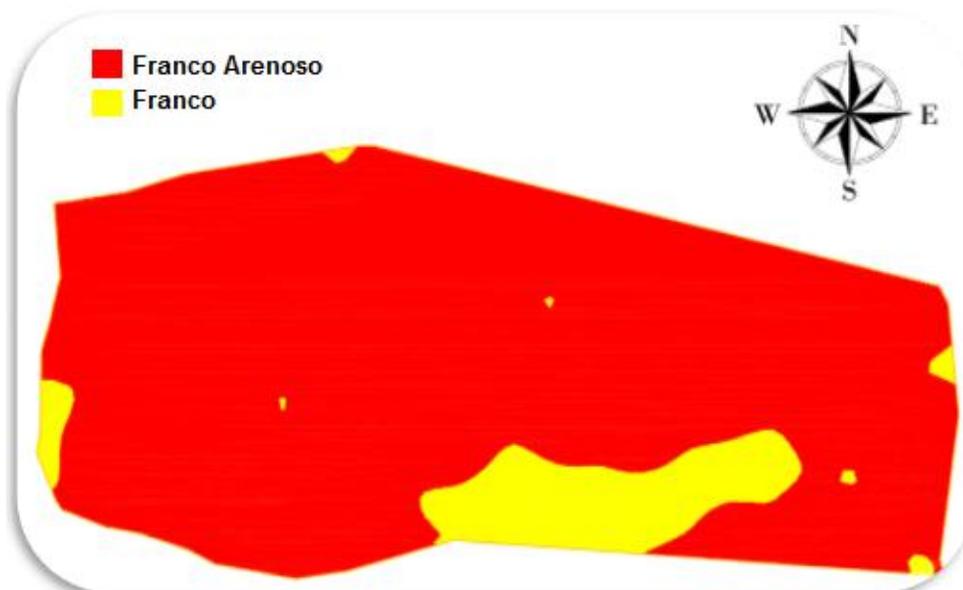


Fuente: Autor

- P. Criterios de Programación de Riego:** Para la programación de Riego se recomienda realizar un diseño agronomico, teniendo en cuenta los siguientes parametros hidrofisicos del suelo:
- Caracteristica textural (Ilustración 29).
 - Densidad Aparente.
 - Curva de Humedad.
 - Velocidad de Infiltracion (Ilustración 30).

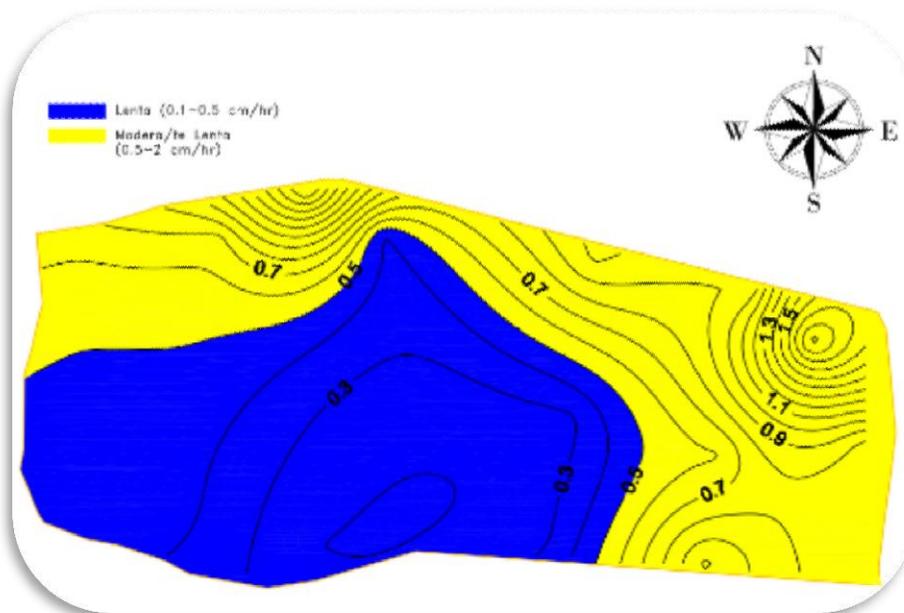
La programación de riego debe ser un verdadero plan maestro que incluya los balances entre oferta y la demanda de agua, suficientes para calcular su deficit o exceso en el area. Debe contener los proyectos de requisitos para operación del sistema de riego, numero aproximado de riegos por temporada, intervalos entre riegos, volumenes de agua por riego, tiempos de operación, caudal equivalente o modulo de riego operativo, caudales de entrega y programación de riegos.

Ilustración 29. Clasificación Textural de Suelos.



Fuente: Autor.

Ilustración 30. Velocidad de Infiltración.



Fuente: Autor.

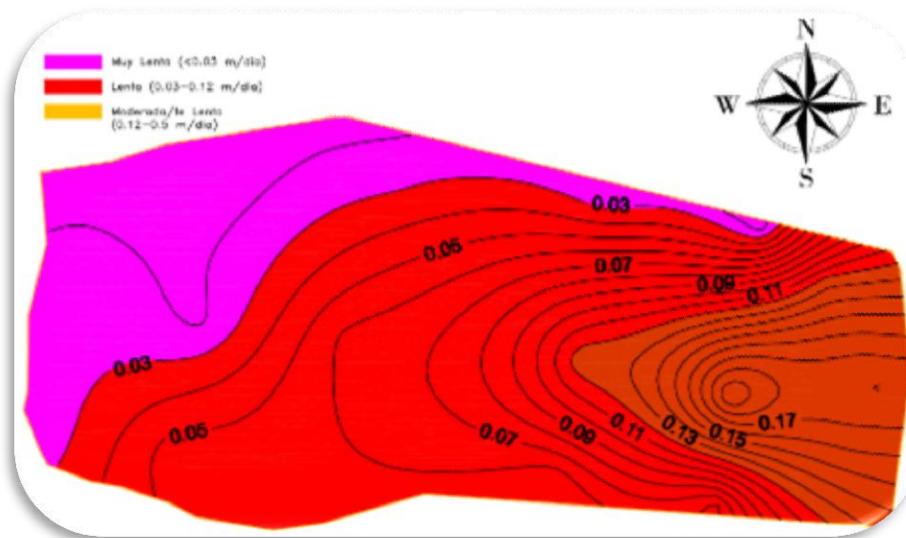
- Q. Criterio de Drenaje:** se deben crear herramientas, las cuales permitan tomar decisiones relacionadas con el trazado y diseño de nuevos canales de drenaje en caso de ser necesarios. Para realizar un diagnostico previo, se requiere de implementar y realizar las siguientes actividades:
- Pozos de Observación (1 pozo por cada 5 Hectareas).
 - Conductividad Hidraulica (Ilustración 31).

El estudio del nivel freático es de gran relevancia para conocer las causas y dimensiones de los problemas de drenaje, y los resultados se utilizan para estimar las condiciones de su presencia. Para un tratamiento adecuado de problemas de drenaje subterráneo es necesario conocer la profundidad del nivel freático en el espacio y en el tiempo. Este conocimiento se puede lograr mediante lecturas periodicas de los niveles de agua en pozos de observación.

Una vez obtenidos los registros de Nivel de agua freática, se construye un plano del área en estudio, en donde se localizan los puntos con las profundidades de los niveles del agua con respecto a la superficie del suelo, conocido como plano de isobatas (Ilustracion 32), el cual debe incluir las zonas con diferentes niveles freáticos, área donde el NF está a menos de 2 metros y áreas con problemas de drenaje. En esos planos se puede observar la fluctuación del nivel freático.

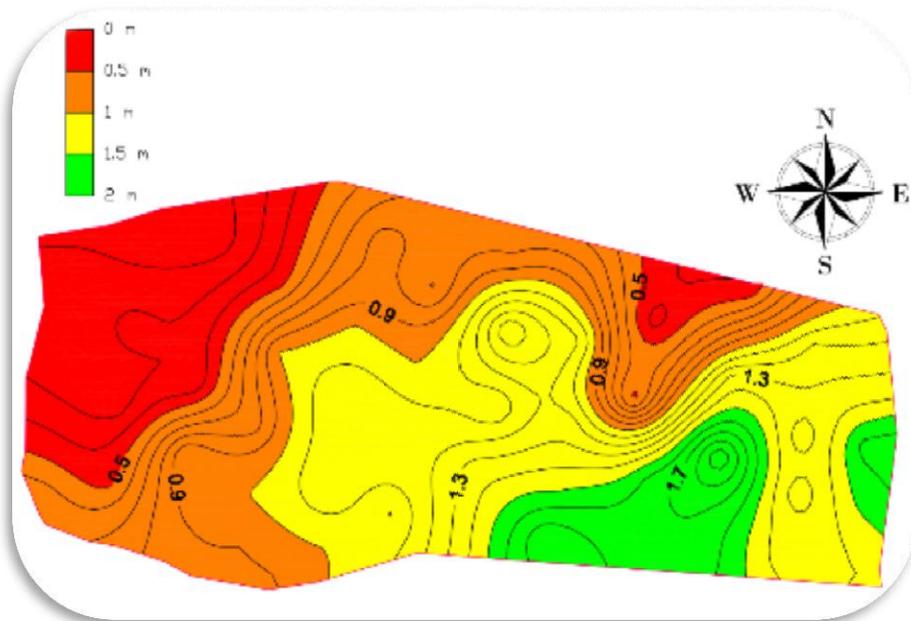
También se construye un plano de niveles freáticos con respecto al nivel del mar, conocido como plano de isohipsas (Ilustración 33), que sirve para conocer el recorrido de las líneas de corrientes de agua, desde las zonas de recarga a las de descarga, sus fuentes de alimentación, etc. Este Plano es importante para conocer la direccion de los canales de drenaje interceptores.

Ilustración 31. Conductividad Hidraulica.



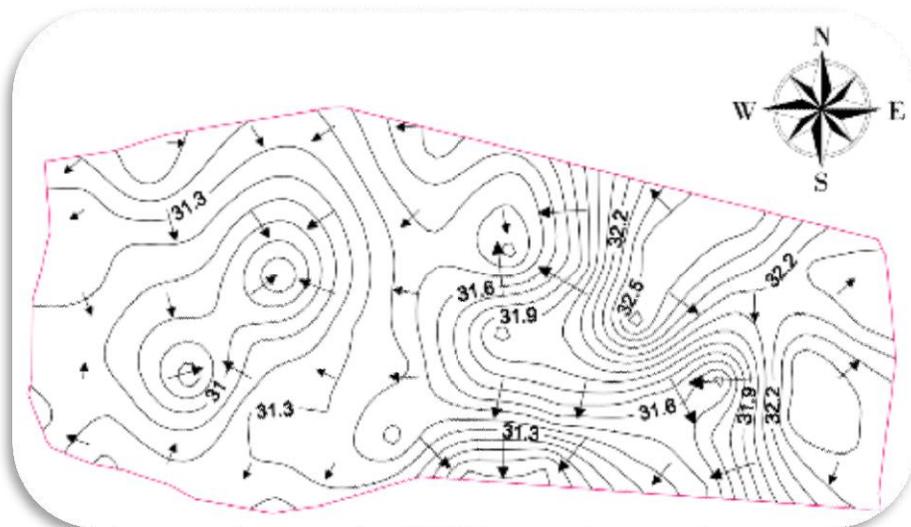
Fuente: Autor.

Ilustración 32. Isobatas.



Fuente: Autor.

Ilustración 33. Isohypsas.



Fuente: Autor.

1.5. Requerimientos de Maquinaria y Tecnología que Demanda el Área Agrícola Del Cultivo de Palma.

El alistamiento y manejo de herramientas en el cultivo de la Palma de aceite es un factor clave que se debe tener en cuenta en el manejo de las plantaciones. En ello radica la oportunidad de realizar las labores de acuerdo con los requerimientos que exige el cultivo. La falta de capacitación y conocimiento ha originado problemas en la logística. Estos afectan la calidad en las labores de campo, y por consiguiente, ocasionan altos costos de mantenimiento que inciden de manera significativa en el balance económico de la producción de la palma de aceite

Los equipos que se demandan son los siguientes:

- Para la preparación del terreno: el tractor agrícola, cinceles rígidos, rastras y arados de discos.
- Para la aplicación de fertilizantes: abonadora horizontal y abonadora centrífuga.
- Equipos utilizados en el riego y el drenaje: Retroexcavadora, zanjadora rotativa, zanjadora de vertedera y caballoneador.
- Equipos para el control de malezas: cortamalezas.

1.5.1. Tractor Agrícola.

Se define como una máquina generadora de energía empleada para diferentes labores agrícolas, como el transporte de insumos y productos, y para las operaciones de campo, como el alistamiento de los suelos, las labores culturales y la cosecha de cultivos.

Clasificación de los tractores agrícolas
Los tractores se clasifican de acuerdo con la potencia del motor, la construcción, el tipo de rodadura y la tracción.

Potencia del motor. Se clasifican en motocultores (menos de 18 hp), de baja potencia (menor de 60 hp), mediana potencia (entre 60 y 100 hp) y alta potencia (mayor a 100 hp).

Construcción. Se clasifican en tractores rígidos y articulados; estos últimos se caracterizan por ser de alta potencia: son utilizados principalmente en labores de labranza para grandes áreas.

Tipo de rodadura. Se clasifican en tractores de oruga y enllantados.

Tracción. Se clasifican como de doble transmisión, cuando la tracción la hacen las cuatro ruedas, y sencillo, cuando la hacen las ruedas traseras.

4.5.2. Máquinas acopladas al tractor para laboreo de suelos

4.5.2.1. Cinceles rígidos

Este tipo de equipos de labranza se utiliza para romper capas endurecidas sin invertir el perfil del suelo; es apropiado para esponjar, creando un ambiente adecuado para el crecimiento de las raíces del cultivo.

El cincel rígido se debe trabajar en condiciones de humedad óptima porque, si el suelo está muy húmedo, no produce el estallamiento requerido, y en condiciones secas se elevan los

requerimientos de potencia y se generan altos consumos de combustible, sin que se logre descompactar el suelo.

Según su construcción, el cincel rígido (Ilustración 34) puede trabajar a profundidades que oscilan entre los 25 y los 40 centímetros y se puede operar a velocidades entre 4 y 7 kilómetros por hora (km/h).

Ilustración 34. Cincel Rígido.



Fuente: <http://platina.inia.cl/>

4.5.2.2. Rastras de discos

Están compuestos por un conjunto de discos cóncavos montados sobre cuatro ejes que giran libremente (Ilustración 35), soportados por rodamientos o cojinetes de fricción, que van inclinados en relación con la dirección de avance y que giran solidariamente sobre su propio eje.

Las rastras de discos se utilizan principalmente para incorporar y triturar residuos vegetales y para incorporar enmiendas, como cales y rocas fosfóricas, para la corrección química de los suelos.

Los discos tienen la forma de un casquete esférico y suelen ser de borde liso o dentados; estos últimos tienen mayor capacidad de penetración que los lisos.

Ilustración 35. Rastra de Discos.



Fuente: Autor

De acuerdo con el peso que soporta cada disco, las rastras se clasifican así:

- Pesadas: más de 60 kilogramos por disco
- Semipesado: entre 50 y 60 kilogramos por disco
- Livianas: menos de 60 kilogramos por disco

Las rastras pesadas se usan para romper e invertir el suelo como labor primaria, y las livianas para disminuir el tamaño del terrón. Éstas últimas son muy importantes para la siembra de la cobertura vegetal en el caso del cultivo de la palma de aceite.

Por lo general, las rastras pesadas utilizan discos con diámetros mayores a 24 pulgadas, y las livianas, con diámetros menores a 24 pulgadas. Las rastras que utilizan discos mayores a 28 pulgadas se denominan de tipo Rome.

La profundidad de trabajo de la rastra está ligada al ángulo de corte, a la velocidad de operación, al peso de la rastra y a la concavidad de los discos. Entre mayor sea el ángulo de corte de los discos, mayor será la capacidad que tienen de penetrar el suelo; a menor velocidad de operación, mayor será su capacidad de penetración; y entre más pesados, trabajan a una profundidad mayor que los livianos. Sin embargo, la máxima capacidad de penetración de un disco es un tercio de su diámetro.

4.5.2.3. Arado de disco

Este implemento es utilizado para la construcción de bancales (elevaciones del terreno para aislar la planta de la zona saturada de agua), especialmente en terrenos con problemas de drenaje. Este tipo de prácticas ha dado buenos resultados en algunas plantaciones del país, principalmente porque las raíces encuentran condiciones de buena aireación y se genera un ambiente adecuado para el desarrollo del cultivo.

El arado de discos es un implemento cuya función es cortar e incorporar los residuos vegetales con inversión del suelo por acción del movimiento y la concavidad de los discos (Ilustración 36).

Ilustración 36. Arado de Discos.



Fuente: <https://www.deere.com.mx>

Las regulaciones están dirigidas a graduar la profundidad de corte, el ancho de trabajo, el ángulo de corte del disco, la posición de la rueda guía, para que quede alineada con el eje del tractor, y la posición de los ralladores, que debe quedar distante entre 4 a 5 milímetros del disco.

El arado de discos se puede operar a velocidades que oscilan entre 4 y 8 km/h. En el mercado se encuentran de dos, tres, cuatro o más discos. En el caso del cultivo de la palma, para la construcción de bancales, se utilizan arados 2 y 3 discos, con diámetros entre 26 y 28 pulgadas.

4.5.2.4. Ahoyador mecánico

Como indica su nombre, el ahoyador mecánico es una máquina cuya función es abrir huecos de diferentes diámetros y profundidades (Ilustración 37). Para el caso de la palma de aceite, se requieren hoyos de 35 a 40 centímetros de diámetro y 40 centímetros de profundidad.

Ilustración 37. Ahoyador Mecanico.



Fuente: palmaara.com

Para utilizar el ahoyador se requiere realizar el estaquillado de la palma con antelación, para señalar el centro del hoyo; luego se procede a enganchar el implemento al tractor, siguiendo el procedimiento para los implementos de enganche integral, y después, a conectar el cardan a la TDF del tractor. Según el tipo de terreno, se puede hacer el hoyo de un sola vez o sacando el barreno de vez en cuando, para limpiarle la tierra.

4.5.2.5. Zanjadoras y Caballoneadores.

4.5.2.5.1. Zanjadora rotativa

Es un implemento agrícola utilizado en el cultivo de la palma de aceite, en la fase de adecuación de terrenos, para construir de zanjas de riego y drenaje (Ilustración 38). En otras palabras, en los terrenos con problemas de drenaje es empleado para la construcción de

canales interlineales que ayudan a abatir el nivel freático cuando éste se encuentre cercano a las raíces.

Ilustración 38. Zanjadora Rotativa.



Fuente: www.tractocentrocolumbia.com

Las velocidades de operación de la zanjadora rotativa están en el rango de 200 a 500 metros por hora (m/h), por lo que se requiere de un tractor con súper reductor (Creeper) que garantice tales velocidades.

Básicamente, la zanjadora está dotada de un chasis donde se apoyan las ruedas de corte –con cuchillas aceradas resistentes a la fricción, que hacen el trabajo de cortar el suelo–, una tapa que se encarga de conformar el talud de la zanja, una transmisión, que se acopla al TDF del tractor y se encarga de transmitir el movimiento a las ruedas de corte, y un enganche para acoplar el implemento a los dos puntos inferiores del enganche integral.

De acuerdo con su diseño, las zanjadoras son de dos ruedas de corte (bi-rueda) o de una (mono-rueda). La primera se utiliza para zanjas profundas y la otra para zanjas más superficiales. Los requerimientos de potencia oscilan entre 90 y 140 hp.

4.5.2.5.2. Zanjadora de vertedera

También es empleada en la apertura de zanjas para riego y drenaje, así como en la limpieza y rectificación de las mismas (Ilustración 39). Se compone de una reja o punta de penetración al cual se ajustan dos vertederas y de un enganche que por lo general se acopla a los tres puntos del tractor.

Las regulaciones que se deben hacer en el campo se basan en el ajuste del ángulo de inclinación, para que la punta penetre fácilmente, alargando o acortando el tercer punto del tractor.

Para enganchar el equipo, se debe seguir el procedimiento para implementos acoplados al tercer punto del tractor.

Ilustración 39. Zanjadora de Vertedera.



Fuente:<http://www.soto.com.co/>

4.5.2.6. Caballoneador

Este implemento se utiliza para hacer canales de riego y para la conformación de melgas cuando se riega por gravedad (Ilustración 40).

Ilustración 40. Caballoneador.



Fuente:<http://www.soto.com.co/>

El implemento está compuesto básicamente de un enganche (se acopla al enganche en tres del tractor), una barra portaherramientas, dos portadiscos y dos discos de corte de 26 a 28 pulgadas de diámetro colocados opuestamente. Su funcionamiento es sencillo y sus regulaciones se basan en ajustar el ángulo de inclinación del disco respecto de la vertical, la distancia entre discos y la velocidad de operación. Entre mayor sea el ángulo de inclinación, el caballón queda más alto.

4.5.2.7. La taipa.

La taipa es un elemento indispensable para el manejo del agua (Ilustración 41). Este equipo tiene como función inicial compactar por forma y peso los caballones trazados por los discos del caballoneador. Sin embargo, sus beneficios van más allá de los referidos a la simple compactación del caballón, debido a que la implementación de esta práctica facilita la aplicación de otras, que sumadas causan un impacto positivo en lotes de cultivos.

Este implemento tiene su origen en las zonas arroceras del Brasil donde es ampliamente utilizado. A Colombia llegó hace aproximadamente 30 años; sin embargo, su adopción ha sido baja debido a diferentes factores entre los cuales se destaca la baja oferta de estos equipos en el mercado, también las primeras taipas que llegaron eran de gran tamaño y peso que hacían un tanto difícil su manipulación, en zonas lluviosas del país o en la temporada de invierno su uso se ve limitado. En los últimos años este equipo ha cobrado importancia, como complemento a la utilización de las sembradoras de precisión, que encuentran el caballoneo con taipa su mejor aliado al ganar eficiencia en la siembra, debido a que pueden sembrar sobre los caballones sin ningún inconveniente, así mismo la cosecha se hace más eficiente al transitar la máquina cosechadora por el lote con mayor facilidad.

Ilustración 41. Taipa.



Fuente: Autor

4.5.3. Máquinas acopladas al tractor para otras labores.

4.5.3.1. Abonadoras

4.5.3.2. Abonadoras horizontales.

Está equipada de una tolva colocada a lo largo de la máquina (Ilustración 42). El ancho de distribución o de trabajo es igual al ancho de la tolva, que distribuye el fertilizante en bandas sobre la superficie del suelo, para luego ser incorporada al mismo mediante rastras de discos o arados.

La abonadora tipo estándar está compuesta de las siguientes partes:

- Tolva: almacena el fertilizante y al mismo tiempo es el chasis de la máquina.
- Fondo de tolva: está compuesto por aberturas, que ajustan la salida de los fertilizantes por medio de compuertas.
- Ajuste de dosificación de fertilizantes: es un mecanismo que mueve transversalmente las compuertas y gradúa el tamaño de las aberturas del fondo de la tolva; de esta forma se dosifica la salida del fertilizante.
- Eje de alimentación: está compuesto por agitadores y alimentadores, que sirven para romper fertilizantes aglutinados y reciben el movimiento directamente de las ruedas.
- Agitadores: mueven el fertilizante hacia los alimentadores.
- Alimentadores: están ubicados sobre las aberturas y empujan el fertilizante hacia ellas.

Ilustración 42. Abonadora Horizontal.



4.5.3.3. Abonadoras centrifugas

La distribución del fertilizante se efectúa por medio de la fuerza centrífuga de uno o dos discos rotativos que lo esparcen sobre la superficie del suelo (Ilustración 43). Dependiendo del diseño del mecanismo de distribución, la aplicación del fertilizante tiene un patrón diferente. Por lo general, en las abonadoras de doble disco, la distribución es de forma triangular, concentrando el fertilizante en el centro del eje de aplicación; en cambio, las abonadoras de disco simple esparcen el fertilizante hacia un lado con relación del mismo eje.

El disco centrífugo está construido con unas paletas graduables que lanzan el fertilizante, garantizando que el trabajo cubra hasta 30 metros de ancho, lo cual hace que la labor sea rápida y eficiente.

Ilustración 43. Abonadora Centrifuga.



Fuente: Autor

La dosis de fertilizante se regula variando la abertura de los orificios de salidas y la velocidad de avance de la máquina, con el ajuste previo del ancho de trabajo, que depende principalmente del tipo de fertilizante.

El equipo puede operar a velocidades entre 5 y 10 kilómetros por hora (km/h) con requerimientos de potencia que varían entre los 40 y los 90 hp.

4.5.4. Cortamalezas

Es un implemento acoplado al tractor que se usa para cortar la cobertura en las calles de la palma (ilustración 44). El mecanismo de corte opera por medio de unas cuchillas giratorias con filo doble o sencillo que cortan el material vegetal por impacto. Comercialmente, este implemento se consigue para ser enganchado a la barra de tiro del tractor o con enganche en tres puntos, para anchos de trabajo entre 1 y 2,8 metros.

El cortamalezas se compone de las siguientes partes:

- Transmisión: a través de engranajes transmite movimiento del TDF del tractor al portacuchillas.
- Portacuchillas: es el elemento que soporta las cuchillas y transmite su inercia para facilitar el trabajo de corte.
- Cuchillas: son los elementos que al entrar en movimiento producen la acción de corte.
- Rueda de transporte: facilita el traslado del implemento y gradúa la altura de corte.
- Patines: facilitan el deslizamiento del implemento contra el piso para proteger la estructura inferior.

Ilustración 44. Cortamalezas.



Fuente: Autor

El cortamalezas puede operar a velocidades entre los 4 y 8 km/h. La velocidad depende de la dificultad que opone la cobertura al corte, por lo que a mayor dificultad al corte se debe operar a más baja velocidad.

4.5.5. Rolo.

Este implemento se utiliza para acostar la cobertura vegetal en las calles de la palma (Ilustración 45), con el fin de facilitar la cosecha y otras labores agronómicas que requiere el cultivo.

El rolo liso constituido por un cilindro, que suele ser hueco para ser relleno con agua o con arena (que aumentan su peso), por un bastidor con puntos de apoyo para el eje del cilindro y por un enganche a la barra de tiro del tractor.

Ilustración 45. Rolo.



Fuente: Autor

4.5.6. Retroexcavadora.

La retroexcavadora es una máquina que se utiliza para realizar excavaciones en terrenos (Ilustración 46). En Cultivos de palma de aceite se utiliza habitualmente para el movimiento de tierras, para realizar canales de riego y drenaje, o erradicar palma.

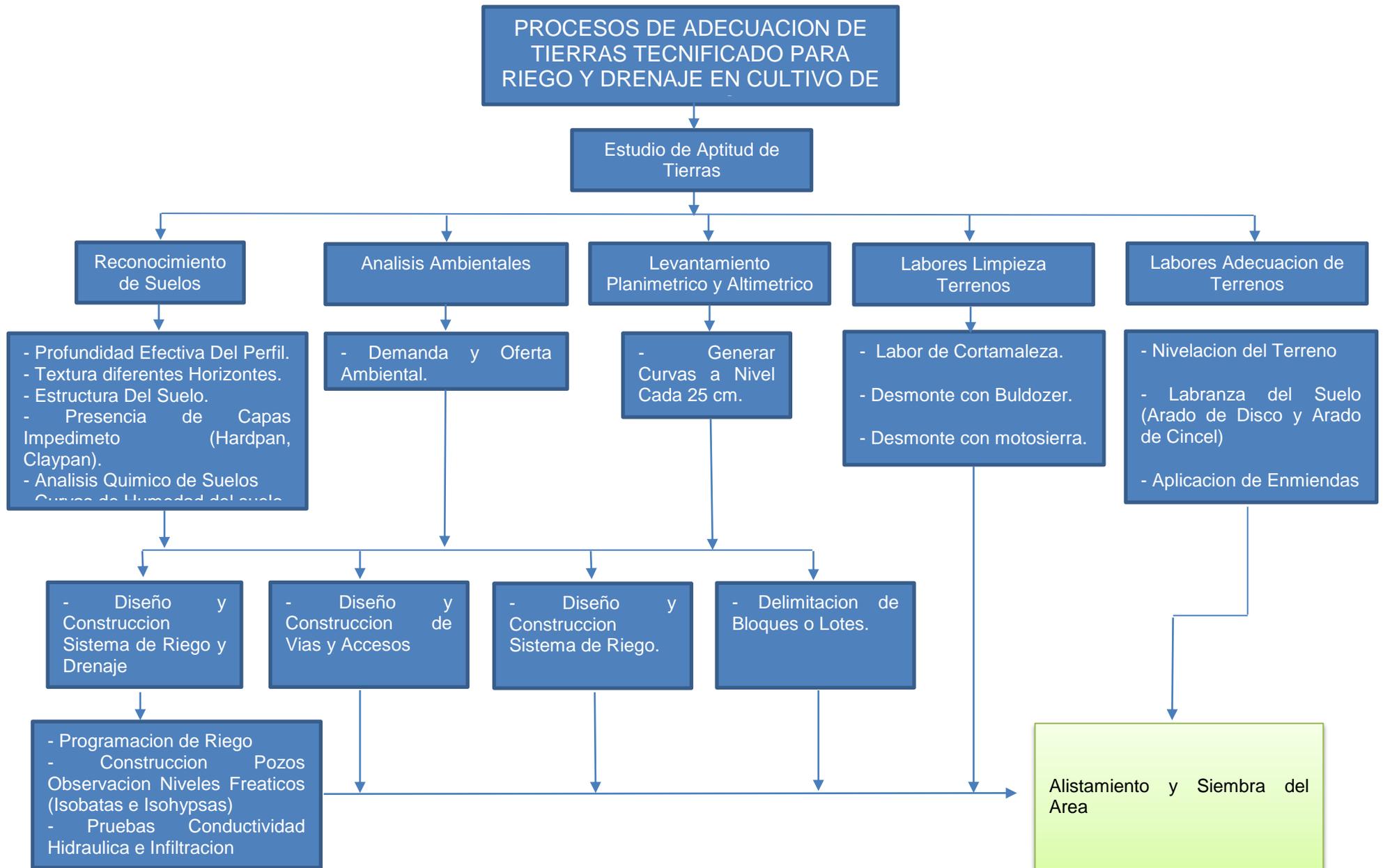
La máquina hunde sobre el terreno una cuchara con la que arranca los materiales que arrastra y deposita en su interior. Para labores en palma de aceite la cuchara mas usada es la de sección trapecoidal.

Ilustración 46. Retroexcavadora.



Fuente: Autor.

4.6. Metodología de Adecuación de Tierras Tecnificadas para Riego y Drenaje en Proyectos de Palma de Aceite.



4.7. Costos de Adecuacion de Tierras Tecnificado para Riego y Drenaje en Proyectos de Palma de Aaceite.

A continuacion se incluye una matriz que puede servir a los cultivadores de Palma de aceite del Municipio de Aracataca – Magdalena, para determinar los costos de adecuación de tierras:

1. Topografia (Levantamiento Planimetrico y Altimetrico) (\$/Ha) 30,000
2. Estudio Detallado de Suelos (\$/Ha) 25,000
3. Labores generales:

LABOR	MAQUINA	UNIDA D	RENDIMIENTO Hr/Unidad	COSTO (Hr)	COSTO UNIDAD
Limpieza de Terreno	Tractor Con llantas, entre 90 y 120 Hp + Inplemento Cortamaleza	Ha	1.54	\$45,000	\$69,300
Socola (desmonte bosque menor 20 cm)	Buldozer	Ha	0.56	\$140,000	\$78,400
Nivelacion del Terreno	Buldozer	Ha	0.2 - 0.5	\$140,000	\$28,000 - \$70,000
Labranza de Suelo	Tractor Con llantas, entre 90 y 120 Hp + Inplemento Arado de Discos de 10 x 26"	Ha	2	\$45,000	\$90,000
Labranza de Suelo	Tractor Con llantas, entre 90 y 120 Hp + Inplemento Arado de Cincel de 2	Ha	2.5	\$45,000	\$112,500
Aplicación de Enmienda	Tractor Con llantas, entre 90 y 120 Hp + Inplemento Abonadora Horizontal	Ha	1.67	\$45,000	\$75,150
Costruccion Canales	Retroexcavador a de orugas con capacidad entre 0.5 y 0.76 m3.	ml	0.035	\$17,500	\$613
Costruccion Vias	Motoniveladora	ml	0.017	\$200,000	\$3,400
Costruccion Sistema de Riego Gravedad Tecnificado	Tractor Con llantas, entre 90 y 120 Hp + Inplemento Taipa	Ha	2	\$45,000	\$90,000
Costruccion Sistema de Riego Presurizado a Todo Costo	NA	Ha	NA	NA	\$7,500,000
4. Diseño de Plantacion (Drenaje, Vias, Lotes y Riego por Gravedad Tecnificado) (\$/Ha)					18,000
5. Diseño de Plantacion (Drenaje, Vias, Lotes y Riego Presurizado)					55,000

6. Costos de Estudios Freaticos (\$/Ha)

25,000

5. CONCLUSIONES.

La Metodología de adecuación de tierras para riego y drenaje en proyectos de palma de aceite, es de gran importancia para brindar condiciones óptimas para el normal crecimiento, desarrollo y productividad del cultivo.

Los Procesos de adecuación de tierras para riego y drenaje en proyectos de palma de aceite, es una de las labores más importantes en el cultivo; por una parte, demanda una alta inversión inicial, y por otra, con ella es posible: (1) suministrar agua para riego y drenar los excesos de esta en el suelo. (2) Mejorar la eficiencia del riego, de los equipos y del personal involucrado en las labores de campo. (3) Incrementar la productividad del cultivo. (5) Acondicionar las vías para el transporte rápido y seguro del racimo de fruta de la palma hasta la fábrica de extracción. Por las razones anteriores, esta labor se considera básica para la producción y, por lo tanto, debe ser planeada, diseñada y ejecutada por un equipo de personas especializadas.

Es importante articular un esquema de trabajo que permita integrar todos los sistemas tecnológicos con que cuenta la plantación; para elaborar herramientas prácticas y oportunas de toma de decisiones relacionadas con los procesos de adecuación de tierras para riego y drenaje en palma de aceite.

Los Excesos o déficits de humedad, constituyen uno de los factores más importantes que afectan los rendimientos de la palma de aceite, conducen a un crecimiento deficiente y un bajo rendimiento.

Los Diseños de la red vial es la línea de vida de una plantación de palma de aceite. Un sistema vial adecuado para todas las condiciones climáticas es vital para una mecanización efectiva.

Los procesos de adecuación de tierras para riego en palma de aceite, presentan un reto importante en la búsqueda de la optimización del recurso hídrico. Por un lado es evidente que las condiciones actuales de eficiencia no permiten garantizar la reposición de los requerimientos ambientales del cultivo y por otro, del agua en la zona, la tendencia histórica muestra un horizonte un tanto difícil en cuanto a las posibilidades de incrementar la disponibilidad de sus fuentes principales. Por lo tanto, es de vital importancia iniciar acciones en la búsqueda de alternativas que permitan disminuir la brecha entre los requerimientos hídricos y los realmente disponibles.

Los procesos de adecuación de tierras para drenaje en palma de aceite, son de gran importancia en la evacuación de excesos de agua almacenados en el interior de un lote, después de un evento de lluvia o riego. Estas prácticas además de mejorar las condiciones físicas del suelo, mejoran la productividad en la plantación de Palma de aceite, y disminuyen los problemas sanitarios y efectos fisiológicos.

Por la magnitud de las acciones planteadas en el proceso de adecuación de tierras para riego y drenaje en cultivos de Palma de aceite y la importancia estratégica que representan para una plantación, es conveniente que un programa de establecimiento de cultivo de palma, cuente en su equipo de trabajo con un profesional con formación en ingeniería agrícola que complemente la amplia capacidad técnica y experiencia que poseen las personas encargadas del manejo de estos procesos.

En consecuencia, la adecuación de los suelos para el drenaje y el riego eficiente es un aspecto cuya importancia debe resaltarse en programas futuros de establecimiento de cultivos de palma de aceite en el país.

Es indispensable adoptar buenas prácticas de manejo del suelo y de aguas y técnicas apropiadas de desmonte y preparación, drenaje y conservación de la fertilidad del suelo, con el fin de optimizar las relaciones suelo/agua, conservar la materia orgánica del suelo y mejorar los problemas de estructura del suelo durante las etapas de establecimiento del cultivo.

La producción sostenible y rentable de palma de aceite depende en gran medida de las prácticas agronómicas estándar aplicados especialmente al manejo del suelo. Se debe dar mayor importancia a la conservación y el mejoramiento del suelo y en el sostenimiento de la producción del cultivo que involucra el proceso biológico y la conservación de los recursos naturales con un efecto no nocivo al medio ambiente.

Al igual que todas las practicas Agricola realizadas antes, durante y despues del ciclo de crecimiento y desarrollo del cultivo de palma de aceite, la preparacion de suelos juega un rol primordial en el exito economico a lograr por el palmicultor. Si bien es cierto que las labores como fertilizacion y riego normalmente provocan una reaccion inmediata de las palmas cultivadas, la cual se manifiesta en mejores follajes, en el peso del fruto y, en definitiva, mejores rendimientos; la preparacion del suelo, constituye la base para que los efectos positivos de las labores mencionadas, y otras tambien muy importantes, se maximicen, y con ellos, las utilidades del palmicultor.

6. BIBLIOGRAFIA

ALVARADO, A; STERLING, F. (1993). "Evaluación del patrón de distribución del sistema radical de la palma aceitera (*elaeis guineensis*)". *Agronomía Costarricense*, 17(1): 41-48

BECCARI, O. (1914). "Palme Del Madagascar", Florencia.

BULGARELLI, J et al. (2002). "Curvas de crecimiento vegetativo en un cruce comercial de Deli x AVROS". *ASD Oil Palm Papers*, No 24. p. 30-31.

CORLEY, R.H.V; TINKER, P.B (2003). "The Oil Palm". *World Agriculture series*. Ed. Blackwell Science. 4ª Edición. Reino Unido.

CORLEY, R.H., & TINKER, P (2003). *The oil palm* (Fourth edi. p.562). Oxford: Blackwell Science Ltd.

CHAN K. W. (1977). "A rapid method for studying the root distribution of oil palm and its application. In: *International developments in oil palm* (Ed. By D.A Earp % W. Newall), pp 131 – 151, *Incorp. Soc. Planters*, Kuala Lumpur.

DRANSFIELD, J., & UHL, N. (2008). *Genera Palmarum. The evolution and classification of palms* (Second edi., p. 732). Kew Publishing.

FERDERACION NACIONAL DE CULTIVADORES DE PALMA DE ACEITE (FEDEPALMA). (2011). *Guía Ambiental de la Agroindustria de la Palma de Aceite en Colombia*. [Archivo .Pdf Disponible en Web]. <<http://www.ambientalex.info/guias/Guiambagpalaceco.pdf>> [consulta: 10 de Enero de 2016].

FERDERACION NACIONAL DE CULTIVADORES DE PALMA DE ACEITE (FEDEPALMA). (2012). *Boletín Económico*. Bogotá D.C.

FEDERACIÓN NACIONAL DE CULTIVADORES DE PALMA DE ACEITE (FEDEPALMA). (2013). *Cálculos de Fedepalma a partir de la información de Censo Nacional de Palma de Aceite 1994/2013*. [Archivo .Xlsx Disponible en Web]. <<http://www.agronet.gov.co/www/htm3b/public/boletines/SIOA/Fedepalma.xlsx>> [consulta: 10 de Septiembre de 2015].

FEDERACIÓN NACIONAL DE CULTIVADORES DE PALMA DE ACEITE. *La Palma de aceite. Historia*. [En línea]. <<http://www.fedepalma.org/palma.htm>> [consulta: 03 de Noviembre de 2015].

FUENTES YAGUE, J. (1996). *Iniciación a la meteorología agrícola*. Mundi Prensa Libros S.A. ISBN 84-491-0245-6.

GARCIA, LUIS. (2006). *Generalidades de la Palma*. Presentación digital.

GOVAERTS, R., & DRANSFIELD, J. (2005). *World Checklist of Palms* (p.240). Royal Botanic Gardens Kew.

GUROVICH, L. (1999) Riego Superficial Tecnificado. Ediciones Universidad Católica de Chile. Santiago, Chile.

HARTLEY, C.W.S. (1983). "La palma de aceite". México. Editorial Continental. pp.958.

JAQUEMARD, J.C. (1979). "Contribution to the study of the height growth of the stems of *Elaeis guineensis* Jacq. Study of the L2T \times D10D cross. *Oleagineux*, 34, 492-497.

JOURDAN C; REY H. (1997). "Modelling and Simulation of the architecture and development of the oil palm *Elaeis guineensis* Jacq) root system". 1. The model. *Pl. Soil*, 190, 217-233.

JOURDAN C; REY H. (1997). "Modelling and Simulation of the architecture and development of the oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq) root system". 2. Estimation of root parameters using the RACINES postprocessor. *Pl. Soil*, 190, 235-246.

JOURDAN, C; REY, H. (1997). "Architecture and development of the oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq) root system". *Pl. Soil*, 189, 33-48.

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y GANADERIA, INTA. p.42.

PALM PLANTATIONS OF AUSTRALIA. PALMA DE ACEITE. [En línea]<
www.palimplantations.com > [consulta: 02 de Noviembre de 2015].

PIZARRO, F. (1978). Drenaje agrícola y recuperación de suelos salinos. Ed. Agrícola Española. Madrid.

PURVIS, C. (1956). "The root system of the oil palm: its distribution, morphology and anatomy". *J.W. Afr. Inst. Oil Palm Resarch*, 1 (4), 61-82.

QUESADA, G. (1997). "Cultivo e industria de la palma de aceite (*Elaeis guineensis*)" Ministerio de Agricultura y Ganadería, INTA. p.42

RAZURI, L. (2000). Modulo de Drenaje Subsuperficial. CIDIAT – ULA.

RAYGADA, R. (2005). "Manual Técnico para el cultivo de la palma aceitera". Comisión Nacional para el Desarrollo y Vida sin Drogas (DEVIDA); Proyecto de Desarrollo Alternativo Tocache-Uchiza (PRODATU). p. 27-80.

REY, LUIS. GÓMEZ, PEDRO. AYALA, LUIS. DELGADO, WILSON. ROCHA, PABLO. PALMAS - Vol. 25 No. Especial, Tomo II, 2004. p. 40

SURRE. C; ZILLER. R. (1969). "La palmera de aceite". Técnicas agrícolas y producciones tropicales. Ed. Blume, Barcelona. 1ª edición.

TAILLEZ, B. (1971). "The root system of the oil palm on the San Alberto plantation in Colombia". *Oléagineux*, 26, 435-448.

UNAD. Curso Riego en Palma de Aceite. [En línea]. <
http://datateca.unad.edu.co/contenidos/356010/MODULO%20REGULACION%20BALANCE%20HIDRICO/leccin_18_riego_por_gravedad.html> [consulta: 10 de Noviembre de 2015].

WESSELS-BOER, J.G. (1965). "The indigenous palms of Surinam". Tesis, Univ. Leiden, Leiden.

GUERRA DE LA ESPRIELLA, A. (1988). La Agroindustria y la Adecuacion de Tierras: el Caso de la Palma Africana. FEDEPALMA. [En línea]. <
<http://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/205>> [consulta: 10 de Enero de 2016].

Anexo 2. Construcción de Canales de Drenaje.



Fuente: Autor

Anexo 3. Construcción Vias de Acceso.



Fuente: Autor

Anexo 4. Levante para la Construcción de los Canales de Riego.



Fuente: Autor

Anexo 5. Riego Por Melgas Rectangulares.



Fuente: Autor

Anexo 6. Construcción de Vias.



Fuente: Autor

Anexo 7. Construcción Riego por Melgas.



Fuente: Autor

Anexo 8. Problemas de Drenaje en Cultivo de Palma de Aceite.



Fuente: Autor

Anexo 9. Pruebas de Infiltracion.



Fuente: Autor

Anexo 10. Medicion del nivel freatico.



Fuente: Autor

Anexo 11. Lotes Con falta de Canales de Drenaje (Antes y Despues)



Fuente: Autor

Anexo 12. Sistema de Riego Presurizado.



Fuente: Autor

Anexo 13. Toma de Muestras de Suelo.



Fuente: Autor