


	<b>GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS</b>					  	
	<b>CARTA DE AUTORIZACIÓN</b>						
<b>CÓDIGO</b>	<b>AP-BIB-FO-06</b>	<b>VERSIÓN</b>	<b>1</b>	<b>VIGENCIA</b>	<b>2014</b>	<b>PÁGINA</b>	<b>1 de 3</b>

Neiva, 16 de marzo de 2015

Señores

CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Ciudad

El (Los) suscrito(s):

Cristian Nicolás Ramírez Rojas, con C.C. No. 1075541398

\_\_\_\_\_, con C.C. No. \_\_\_\_\_,

\_\_\_\_\_, con C.C. No. \_\_\_\_\_,

\_\_\_\_\_, con C.C. No. \_\_\_\_\_,

autor(es) de la tesis y/o trabajo de grado o proyecto de pasantía

titulado evaluación de operación del sistema de riego en la plantación de palma de aceite (elaeis guineensis) El Castillo, Inversiones Padornelo S.A. Mpio Pueblo Viejo Departamento Magdalena

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

Ingeniero agrícola;

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

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

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



## GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS

### CARTA DE AUTORIZACIÓN



**CÓDIGO**

**AP-BIB-FO-06**

**VERSIÓN**

**1**

**VIGENCIA**

**2014**

**PÁGINA**

**2 de 3**

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

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

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma \_\_\_\_\_

EL AUTOR/ESTUDIANTE:





Firma: \_\_\_\_\_

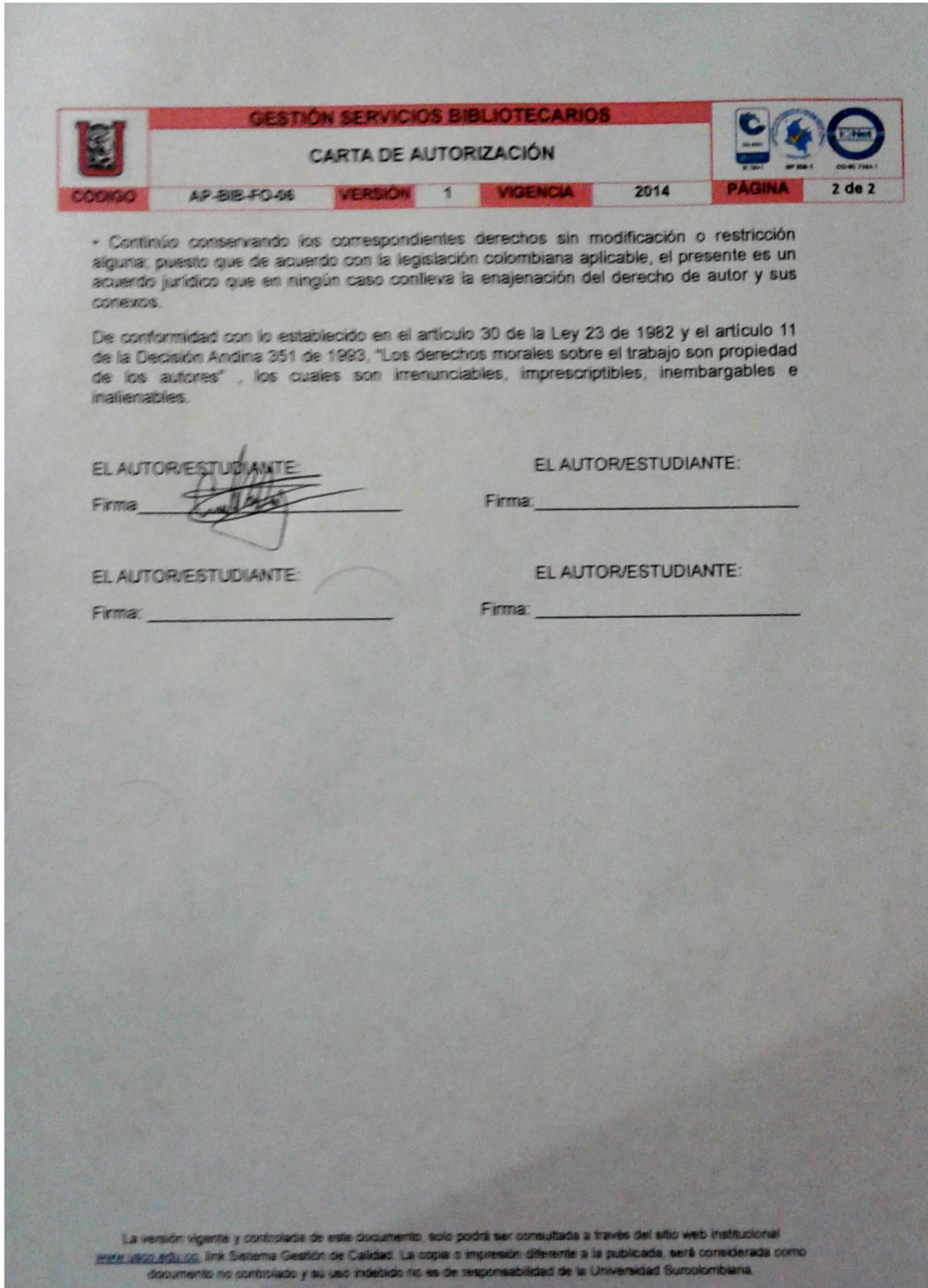
EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma: \_\_\_\_\_





EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma: \_\_\_\_\_

	<b>GESTIÓN SERVICIOS BIBLIOTECARIOS</b>					  	
	<b>CARTA DE AUTORIZACIÓN</b>						
<b>CÓDIGO</b>	<b>AP-BIB-FO-06</b>	<b>VERSIÓN</b>	<b>1</b>	<b>VIGENCIA</b>	<b>2014</b>	<b>PÁGINA</b>	<b>3 de 3</b>



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

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

**TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO:** Evaluación de operación del sistema de riego en la plantación de palma de aceite (*elaeis guineensis*) El Castillo, inversiones Padornelo S.A. mpio Pueblo viejo departamento Magdalena.

**AUTOR O AUTORES:**

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Ramírez Rojas	Cristian Nicolás

**DIRECTOR Y CODIRECTOR TESIS:**

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

**ASESOR (ES):**

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre

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

**FACULTAD:** Ingeniería





**PROGRAMA O POSGRADO:**

**CIUDAD:** Neiva (Huila)

**AÑO DE PRESENTACIÓN:** 2015 **NÚMERO DE PÁGINAS:** 86

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

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

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

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

Microsoft Word, Autocad 2014, adobe reader PDF

**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.	módulo	module
2.	melgas	beds
3.	eficiencia	efficiency
4.	hídrico	wáter
5.	presurizado	pressurized

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

Se realizó la evaluación del sistema de riego de la plantación de palma de aceite (*Elaeis guineensis*.), se recolectó y procesó información de climatología, estudio de suelos, de operación actual del sistema y se ajustó el sistema de coordenadas a MAGNA-SIRGAS, se realizó el balance hídrico y módulo de riego por cada lote y se revisó la nivelación de los canales de riego primarios. Se determinó la necesidad de aplicar riego desde mediados de noviembre hasta el mes de agosto. Se determinó la eficiencia del sistema de riego presentando bajas eficiencias debido a la inexistencia de estructuras hidráulicas y civiles para mantener caudal y el mantenimiento del sistema de melgas. En condiciones óptimas de conducción y aplicación el caudal captado arrojaría un módulo de riego de 2.3 L/s Ha es decir 99360 L/ha, suficiente para satisfacer las necesidades hídricas estimadas en bibliografía referenciada de 70000 L/Ha equivalente a 490 L/palma en una densidad de siembra de 143 palmas por hectárea y que además supliría el caudal captado de la hidrobomba, haciendo más económico la operación del sistema.

Como recomendaciones de mejora con criterios del uso racional del agua se propone el estudio y diseño de sistema de riego presurizado con captación por pozos profundos o adecuación del sistema actual como la construcción de compuertas, vertederos, desarenadores, revestimiento de talud y obras civiles de estabilidad para las estructuras, igualmente descompactar el suelo, establecer cobertura vegetal para conservación de humedad e implementar la programación de riego realizada.

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

**ABSTRACT:** (Máximo 250 palabras)

There was realized the Evaluation of the irrigation system of planting oil palm (*Elaeis guineensis*.) Was performed, was collected and processed climatology's information of the IDEAM, soil survey planting, current operating system and the coordinate system is adjusted to MAGNA-SIRGAS, water balance and irrigation module for each lot was performed and leveling primary irrigation channels were reviewed. The need for irrigation from mid-November until August was determined. The efficiency of the irrigation system featuring low efficiencies due to the lack of hydraulic and civil structures to maintain flow and system maintenance melgas determined. Under optimum driving conditions and application flow captured yield an irrigation module 2.3 L/s Ha is 99,360 L/Ha, enough to satisfy the water requirements referenced bibliography estimated 70,000 L/Ha equivalent to 490 L / palm on a planting density of 143 trees per hectare and also would supply the flow rate of the hydraulic pump captured, making system operation more economical. As recommendations for improvement criteria of rational water use study and design of pressurized irrigation system uptake by deep wells or adequacy of the current system as the construction of sluices, weirs, grit chambers, coating and civil works slope stability is proposed for structures, also loosen the soil, vegetation cover set for moisture conservation and implement irrigation scheduling performed.

**APROBACION DE LA TESIS**

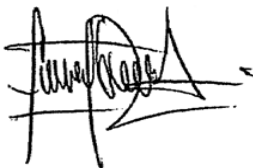
Nombre Presidente Jurado: Esp. Miguel German Cifuentes Perdomo

Firma:



Nombre Jurado: Ing. Fernando Gonzales Leiva

Firma:



Nombre Jurado:

Firma:



**EVALUACIÓN DE OPERACIÓN DEL SISTEMA DE RIEGO EN LA  
PLANTACIÓN DE PALMA DE ACEITE (*Elaeis guineensis*.) EL  
CASTILLO, INVERSIONES PADORNELO S.A. MUNICIPIO PUEBLO  
VIEJO DEPARTAMENTO DEL MAGDALENA**

**CRISTIAN NICOLAS RAMIREZ ROJAS**

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


**Director:**

**Esp. MIGUEL GERMAN CIFUENTES PERDOMO**



**UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
PROGRAMA DE INGENIERIA AGRICOLA  
NEIVA-HUILA  
2015**



\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
  
\_\_\_\_\_  
**RODRIGO PACHON BEJARANO.**  
Firma del Jurado  
Profesor

\_\_\_\_\_  
  
\_\_\_\_\_  
**FERNANDO GONZALEZ LEIVA**  
Firma del Jurado  
Profesor

\_\_\_\_\_  
  
\_\_\_\_\_  
**MIGUEL GERMAN CIFUENTES PERDOMO**  
Director  
Profesor

Neiva, Marzo de 2015



## CONTENIDO

1. RESUMEN.....	10
SUMMARY .....	11
2. INTRODUCCIÓN.....	12
3. OBJETIVOS.....	13
3.1 GENERAL: .....	13
3.2 ESPECIFICOS: .....	13
4. MARCO CONCEPTUAL .....	13
5. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	23
6. METODOLOGIA .....	23
6.1. LOCALIZACIÓN .....	23
6.2. CARACTERIZACION AGROCLIMATOLOGICA. ....	25
6.2.1 CLIMA AMBIENTAL.....	25
6.2.2 SUELOS .....	36
6.3. TOPOGRAFIA .....	47
6.3.1. GEORREFERENCIACIÓN DE LA ZONA .....	47
6.3.2. CANALES DE RIEGO.....	48
6.4. BALANCE HIDRICO .....	52
6.4.1. INFILTRACIÓN BASICA.....	52
6.4.2. LAMINA NETA DE RIEGO.....	58
6.4.3. LAMINA BRUTA DE RIEGO .....	59
6.4.4. FRECUENCIA DE RIEGO .....	60
6.4.5. MODULO DE RIEGO.....	60
6.5. EVALUACION DEL SISTEMA DE RIEGO .....	65
6.5.1. ESTRUCTURA DE CAPTACIÓN.....	65
6.5.2. SISTEMA DE CONDUCCION.....	67
6.5.3. SISTEMA DE APLICACIÓN.....	68
6.5.4. EFICIENCIA DEL SISTEMA DE RIEGO .....	68
7. CONCLUSIONES .....	70



Universidad  
Surcolombiana



Nit : 819.001.498-1

8. RECOMENDACIONES .....	71
8.1. MANEJO DE SUELOS .....	71
8.1.1. CONSOCIACIÓN CASTILLO.....	71
8.1.2. CONSOCIACION TIERRA NUEVA.....	71
8.1.3. CONSOCIACION CANTAGALLAL .....	71
8.2. SISTEMA DE RIEGO.....	72
8.2.1. INFRAESTRUCTURA DE CAPTACIÓN .....	72
8.2.2. SISTEMA DE CONDUCCIÓN.....	73
8.2.3. SISTEMA DE APLICACIÓN.....	73
9. BIBLIOGRAFIA.....	74

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Efectos del riego sobre el número y peso de los racimos en algunos experimentos.....	17
Tabla 2. Efectos sobre la producción en varios sistemas de riego en Colombia.....	20
Tabla 3. Localización estaciones climáticas y variables analizadas. ....	26
Tabla 4. Dimensiones canal de riego primario nivelado. Plantación El Castillo 2014 .....	49
Tabla 5. Textura, valor de S, CC y PMP para cada.....	52
Tabla 6. Clasificación de la velocidad de infiltración el castillo. Plantación EL Castillo 2014 .....	53
Tabla 7. Infiltración acumulada y velocidad de infiltración, unidad de suelo el castillo. Plantación EL Castillo 2014.....	54
Tabla 8. Infiltración acumulada y velocidad de infiltración, unidad de suelo Tierra nueva. Plantación El Castillo 2014 .....	55
Tabla 9. Infiltración acumulada y velocidad de infiltración, unidad de suelo Cantagallal. Plantación EL Castillo 2014 .....	57
Tabla 10. Lámina de agua aprovechable y rápidamente aprovechable para cada unidad.....	59
Tabla 11. Frecuencia y módulo de riego. Plantación el Castillo 2014.....	61
Tabla 12. Caudal a aplicar por jornada de riego para cada lote. Plantación el Castillo 2014 .....	62
Tabla 13. Programación de riego por lotes según demanda y oferta de caudal. Plantación el Castillo 2014 .....	64
Tabla 14. Caudal derivado en las captaciones. Plantación el Castillo 2014 .....	65
Tabla 15. Caudal captado estación bombeo caño el Uvito. ....	66
Tabla 16. Eficiencia en conducción de canales. Plantación el Castillo 2014 .....	67
Tabla 17. Volumen de agua aplicado por hectárea. Plantación el Castillo 2014.....	68

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Clase de aptitud de suelo. Cenipalma 2003 .....	14
Figura 2. Limitaciones de los suelos. Cenipalma 2003.....	15
Figura 3. Limitaciones de los suelo (2). Cenipalma 2003 .....	15
Figura 4. Fenómenos de entrada y salida de agua sobre el suelo .....	18
Figura 5. Localización general del área de estudio .....	24
Figura 6. Imagen satelital, Localización Finca El Castillo. ....	25
Figura 7. Imagen satelital. Localización estaciones climáticas consultadas. ....	26
Figura 8. Precipitación media anual en las estaciones Palo Alto y Padelma (1994- 2012) .....	27
Figura 9. Precipitación media mensual (mm), estaciones Palo Alto y Padelma (1994 a 2012)... ..	27
Figura 10. Número de días con lluvia anual, estaciones Palo Alto y Padelma periodo 1994 a 2012.....	28
Figura 11. Distribución media mensual del número de días con lluvia, estaciones Palo Alto y Padelma periodo 1994 a 2012. ....	28
Figura 12. Temperatura media anual, estación Padelma (periodo 1994 a 2012).....	29
Figura 13. Valores promedios, máximos y mínimos mensuales de temperatura (°C), estación Padelma (1994 a 2012).....	30
Figura 14. Temperatura máxima °C, valores promedios, máximos y mínimos mensuales, estación Padelma, periodo 1994 a 2012. ....	30
Figura 15. Evaporación total anual (mm) estación Prado Sevilla 1984 a 2005. ....	31
Figura 16. Evaporación media, mínima y máxima mensual (mm) en la estación Prado Sevilla periodo 1984 a 2005. ....	31
Figura 17. Relación entre la temperatura media (°C) y la evaporación (mm), estaciones Padelma y Prado Sevilla, periodo 1994 a 2015.....	32
Figura 18. Valores medios mensuales humedad relativa (%), estación Padelma, periodo 1994 a 2012.....	33
Figura 19. Relación entre la humedad relativa (%) y la evaporación (mm) para el periodo 1994 a 2015, estación Padelma.....	33
Figura 20. Valores totales anuales de Brillo Solar (h), estación Padelma (1994 a 2004).....	34
Figura 21. Valores medios, máximos y mínimos mensuales de Brillo Solar (h), estación Padelma (1994 a 2013).....	34
Figura 22. Correlación dinámica de los datos medios anuales de las variables evaporación, precipitación, brillo solar, humedad relativa y temperatura en la plantación El Castillo 2014.....	35
Figura 23. Características principales y tipo de suelos. Plantación el Castillo (Estudio de suelos y aptitud para palma de aceite, plantación el Castillo. 2013).....	37
Figura 24. Cubeta de decantación dentro del plano de inundación. Consociación Castillo. Plantación el Castillo (Estudio de suelos y aptitud para palma de aceite, plantación el Castillo. 2013) .....	38
Figura 25. Perfil de suelo. Consociación Castillo. (Estudio de suelos y aptitud para palma de aceite, plantación el Castillo. 2013).....	38

Figura 26. Distribución de macro y microporos en dos horizontes del perfil PA-5. Consociación Castillo. (Estudio de suelos y aptitud para palma de aceite, plantación el Castillo. 2013) .....	39
Figura 27. Almacenamiento de agua expresada como lámina de agua (cm) y por el espesor (cm) (izquierda), Curva de retención de humedad (derecha). Consociación Castillo. (Estudio de suelos y aptitud para palma de aceite, plantación el Castillo. 2013) .....	40
Figura 28. Cubetas de desborde dentro de la planicie. Consociación Tierra Nueva. (Estudio de suelos y aptitud para palma de aceite, plantación el Castillo. 2013).....	41
Figura 29. Perfil de suelo. Consociación Tierra nueva. (Estudio de suelos y aptitud para palma de aceite, plantación el Castillo. 2013).....	41
Figura 30. Contraste textural entre los horizontes Bw y C. Consociación Tierra nueva. (Estudio de suelos y aptitud para palma de aceite, plantación el Castillo. 2013).....	42
Figura 31. Distribución de macro y microporos en los dos primeros horizontes de suelo. Consociación Tierra nueva. (Estudio de suelos y aptitud para palma de aceite, plantación el Castillo. 2013).....	42
Figura 32. Capacidad de almacenamiento de agua en lámina de agua (cm) para los horizontes Ap, Bw y Bw2 del suelo PA-4 (izquierda y curvas de retención de humedad (derecha) (Estudio de suelos y aptitud para palma de aceite, plantación el Castillo. 2013).....	43
Figura 33. Rebordes de cubetas en planicie fluviolacustre. Consociación Cantagallal. (Estudio de suelos y aptitud para palma de aceite, plantación el Castillo. 2013).....	44
Figura 34. Perfil de suelo, consociación Cantagallal. (Estudio de suelos y aptitud para palma de aceite, plantación el Castillo. 2013).....	44
Figura 35. Contraste textural entre los horizontes Bw y C. Consociación Cantagallal. (Estudio de suelos y aptitud para palma de aceite, plantación el Castillo. 2013).....	45
Figura 36. Densidades aparente y real en los tres primeros horizontes del suelo. Consociación Cantagallal. (Estudio de suelos y aptitud para palma de aceite, plantación el Castillo. 2013) ....	46
Figura 37. Distribución de macro y microporos en los dos primeros horizontes del suelo. Consociación Cantagallal. (Estudio de suelos y aptitud para palma de aceite, plantación el Castillo. 2013).....	46
Figura 38. capacidad de almacenamiento de agua en lámina de agua (cm), horizontes Ap, Bw y Bw2 del suelo (izquierda) y curvas de retención de humedad (derecha). Consociación Cantagallal. (Estudio de suelos y aptitud para palma de aceite, plantación el Castillo. 2013) ....	47
Figura 39. Imagen satelital perímetro georreferenciado. Plantación el Castillo 2014.....	48
Figura 40. Canal principal de riego en operación. Plantación el Castillo 2014.....	49
Figura 41. Nivelación realizada canal de riego primario lote 12. Plantación el Castillo 2014 .....	50
Figura 42. Imagen satelital canales de riego primarios nivelados. Plantación el Castillo 2014 ...	51
Figura 43. Diagrama de instalación de anillos en campo. Plantación el Castillo 2014.....	53
Figura 44. Infiltración acumulada, unidad de suelo el castillo. Plantación EL Castillo 2014.....	54
Figura 45. Infiltración acumulada, unidad de suelo Tierra nueva. Plantación EL Castillo 2014...	56
Figura 46. Infiltración acumulada, unidad de suelo Cantagallal. Plantación EL Castillo 2014.....	57
Figura 47. Captación canal EL IGUANO. Plantación el Castillo 2014.....	65
Figura 48. Captación canal PALO ALTO. Plantación el Castillo 2014 .....	65
Figura 49. Imagen satelital puntos de captación para riego. Plantación el Castillo 2014.....	66
Figura 50. Hidrobomba motor ZETOR serie 83002 y cárcamo de succión caño Uvito. Plantación el Castillo 2014 .....	67

## DEDICATORIA

*En primer lugar, dedicar este nuevo logro al Dios todo poderoso que en los buenos y difíciles momentos me acompaño, a mi madre Lucelida siempre querida por sus consejos, apoyo, crianza, amor infinito que solo una madre sabe dar, y sus regaños adecuados que me hacen crecer como persona aun hoy. A mi padre por su apoyo en esta etapa, fortaleza y crianza que me permite afrontar el día a día. A mis hermanas Edna, Cleizis, Melissa que me apoyaron de diversas formas para cumplir las tareas de cada día pese a los obstáculos y carencias momentáneas, a mi abuela Bertilda por llevarme siempre en sus oraciones para que me fuera muy bien en la academia y salir bien librado de las dificultades y a mi familia en general que siempre estuvo pendiente de la formación profesional.*

## AGRADECIMIENTOS

*Agradecer a Dios por darme la dicha de vivir, a mi madre que más que agradecerle es dedicarle este nuevo logro por su infinito amor y todo lo que me dio y lo que no me pudo dar, a mis hermanas, a Esteban y Matías mis sobrinos que son una razón para esforzarme cada día, a mi abuela, tías, tíos, primos y mi familia en general por el apoyo brindado siempre que se necesitó.*

*Al parche de amigos de la universidad que son para la vida; Milena, Nini, Juan Carlos, Felipe, Víctor, Andrés, Javier Bonilla y a los demás compañeros que si los nombro no terminaría. Agradecerles infinitamente por los momentos vividos, anécdotas que causan risa al acordarnos de ellas y que nos hicieron crecer como personas y profesionales.*

*A los profesores; Rodrigo Pachón más que profesor amigo por su vital apoyo y pujanza en este proceso, Gonzales, Cifuentes, Izquierdo, Díaz, Reina y demás profesores del programa por sus conocimientos compartidos, sabiduría y paciencia para la formación integral como profesionales del agro. A “mama Gladys” por estar siempre pendiente de nosotros como estudiantes, su colaboración en toda la época universitaria, apoyo y paciencia.*

*Agradecer inmensamente a Inversiones Padornelo S.A. por la oportunidad brindada para el desarrollo del proyecto, por el acompañamiento, apoyo y experiencia compartida para mi crecimiento profesional y personal. Agradecer a todos aquellos que de una u otra manera colaboraron para lograr el objetivo.*

## 1. RESUMEN

En la actualidad la agroindustria de la palma de aceite en Colombia ha presentado un crecimiento económico importante generando desarrollo para las regiones y en el Departamento del Magdalena ha sustituido otros cultivos por sus ventajas y rentabilidad. En el ámbito del cambio climático global se hace necesario revisar y ajustar el uso del agua para fines agrícolas y la operación de los sistemas de riego de las plantaciones buscando el manejo más adecuado y máximo aprovechamiento de los caudales más aun con el aumento del área cultivada significando mayor demanda de agua.

El proyecto en modalidad de pasantía descrito se realizó en la empresa Inversiones Padornelo S.A., en cultivo de palma aceitera (*Elaeis guineensis*), en zona rural del Municipio de Pueblo Viejo (Magdalena) con el objetivo de realizar las recomendaciones adecuadas para hacer más eficiente el sistema de riego bajo criterios de uso racional del agua.

El desarrollo del proyecto se llevó a cabo por etapas; primero se realizó la visita y recorrido del predio identificando aspectos generales (vías, canales de riego y drenaje, etc) georreferenciando el área de estudio (Google Earth), luego se procedió a la recolección de información disponible y procesamiento para lo cual se adquirió la información climática de la zona, estudio de suelos realizados anteriormente, levantamiento topográfico (Autocad). Seguido a esto se revisó la infraestructura del sistema de riego, aforo de los canales de riego principales, se hizo el balance hídrico del cultivo y se determinó la eficiencia del sistema. Para finalizar el proyecto se hicieron las recomendaciones de mejoras necesarias en infraestructura de captación, conducción y aplicación del riego.



## SUMMARY

Today agrobusiness palm oil in Colombia has presented significant economic growth, generating development for regions and in the Department of Magdalena has replaced other crops for their advantages and profitability. In the area of global climate change is necessary to review and adjust water use for agricultural purposes and operation of irrigation systems plantations looking for the proper management and optimization of flows more even with the increased of cultivated area meaning greater demand for water.

The project described internship modality was performed at Inversiones Padornelo in cultivation of oil palm (*Elaeis guineensis*.) In rural Municipality of Pueblo Viejo (Magdalena) in order to make appropriate recommendations to streamline the irrigation system with criterion of rational use of water.

The development project was carried out in stages; first visit and tour of the site was performed identifying general features (roads, Channels of irrigation and drainage, etc.) georeferencing the study area (Google Earth) then proceeded to the collection of information available and processing for which it was acquired climate information in the area, soil survey done earlier, surveying (Autocad). Following this system infrastructure irrigation capacity of the main irrigation channels was revised, it was the water balance of the crop and system efficiency was determined. To finalize the draft recommendations needed improvements in infrastructure acquisition, transmission and application of irrigation.

## 2. INTRODUCCIÓN

El agua es determinante para el desarrollo de cualquier tipo de vida. En las plantas leñosas constituye más del 50% del peso fresco, interviniendo en la mayoría de los procesos fisiológicos, en la producción de semillas y frutos y siendo el medio de transporte y distribución de los nutrientes consumidos por la planta.

En cultivos de palma de aceite (*Elaeis guineensis*), el agua es un factor determinante en el desarrollo fisiológico adecuado de la palma y el contenido de aceite de los frutos. Las cantidades requeridas de agua por la planta están delimitadas a la edad de desarrollo y las condiciones climáticas de la zona, mientras que la oferta de agua se refiere a la disponibilidad de agua para absorción para la palma ya sea por quebradas o fuentes superficiales cercanas y por las frecuencias de precipitaciones. Por tratarse de un cultivo tropical proveniente del África ecuatorial, la palma se desarrolla bien y expresa mejor su potencial de producción en condiciones de alta temperatura, buena radiación solar, alta precipitación y humedad relativa.

Los sistemas de riego implementados en las plantaciones en gran parte han sido heredados de otros cultivos tradicionales de la zona los cuales consideran un alto consumo de agua al no tener el diseño ajustado a las condiciones de la plantación y del terreno y la adecuación necesaria para el sistema. En la zona norte de Colombia, se presentan periodos de invierno y verano muy marcados que hacen necesario la implementación de sistemas de riego aptos. En el período seco se presenta el período con la mayor demanda de agua, debido a altos niveles de irradiación solar acompañados usualmente por fuertes vientos. Este estrés hídrico se ve reflejado en el desarrollo fisiológico de la palma y en la producción de fruta hasta dos años después de haberse presentado.

Dada la necesidad del recurso hídrico en la agricultura del sector palmicultor y el aumento de la temperatura ambiente dentro del cambio climático que reduce la disposición de agua para riego, considera necesario adelantar trabajos relacionados al uso y manejo racional del agua, en los cultivos de palma de aceite, como la evaluación del sistema de riego actual con el fin de hacer más eficiente el manejo del agua dentro del ámbito del uso racional de agua, brindando las condiciones óptimas para el desarrollo de las plantaciones y hacerlas sostenibles con el ecosistema, de esta forma encontrando puntos por mejorar en un esquema de operación tradicionalmente utilizada.

Esta metodología de evaluación se realizará como estrategia de optimización del manejo del recurso hídrico en las plantaciones de palma de aceite perteneciente a Inversiones Padornelo S.A. plantación el Castillo ubicada en el municipio de Pueblo Viejo, Departamento del Magdalena, en la antigua zona bananera.

### 3. OBJETIVOS

#### 3.1 GENERAL

Evaluar el sistema de riego actual para palma de aceite perteneciente a Inversiones Padornelo S.A.

#### 3.2 ESPECIFICOS

- Realizar el balance hídrico del cultivo.
- Calcular el módulo de riego.
- Determinar la eficiencia del sistema de riego.
- Realizar recomendaciones de mejora del sistema

### 4. MARCO CONCEPTUAL

#### • UBICACIÓN GEOGRÁFICA

La palma de aceite es un cultivo tropical, tanto en su origen como en su expansión y desarrollo a lo largo de siglos, su mejor adaptación se encuentra en la franja ecuatorial, entre 15 grados de latitud norte y sur, donde las condiciones ambientales son más estables. La posición geográfica de Colombia se considera privilegiada.

#### • TEMPERATURA Y ALTURA SOBRE EL NIVEL DEL MAR

Las características de las zonas en las cuales la palma alcanza niveles altos de producción siempre coinciden con altas temperaturas ambientales, adecuado suministro de agua, suficiente luz y radiación solar. Es deseable que tales condiciones sean estables a lo largo del año y de todo el proceso productivo. Hartley (2002) citado por Bernal (2005), ha demostrado que el crecimiento de las palmas se inhibe por completo a 15 grados centígrados, y que el crecimiento a 25 grados centígrados es 7 veces más rápido que a 20 grados y 3 veces más rápido que a 17.5 grados centígrados, de igual manera, estima que una temperatura media mensual de 28 grados centígrados resulta óptima para la palma. Según, Paramanathan (2003) citado por Bernal (2005), la temperatura media anual apta para palma de aceite puede oscilar entre 25 y 29 grados centígrados y sobre los 0 a 500 m.s.n.m.

#### • SUELOS:

Existe una amplia diversidad de suelos entre y dentro de las cuatro zonas productoras de palma en Colombia, la cual al combinarse con las diferencias climáticas da como resultado un mosaico de condiciones edafoclimáticas que implican a su vez necesidades diversas de generación de tecnología con cierto nivel de especificidad geográfica. Las diferencias en las características actuales de los suelos entre y dentro de zonas de producción están asociadas tanto con los procesos naturales de formación de los suelos como con los cambios inducidos por el manejo de los mismos antes del establecimiento de la palma y a través del propio cultivo. La utilización de los suelos en cultivo de arroz posiblemente haya tenido efectos mejoradores en características químicas del suelo como consecuencia de la utilización de correctivos y fertilizantes.


En general, los grupos taxonómicos de suelos más frecuentes en las zonas cultivadas con palma en Colombia pertenecen a los órdenes de los Entisoles, Inceptisoles y Oxisoles y se presentan pequeñas áreas de Histosoles o suelos similares a los de dicho orden. En cuanto a las características químicas de los suelos, la alta variabilidad existente se expresa en la acidez (hay suelos desde muy fuertemente ácidos a ligeramente alcalinos), el contenido de materia orgánica, las concentraciones de sales y los tenores de formas disponibles de los elementos esenciales. En su conjunto, los suelos de las plantaciones de la Zona Norte contrastan con los de las otras tres zonas por tener valores de pH mayores (desde 6 hasta el rango alcalino), y niveles más altos de bases y otros nutrientes como P. Como consecuencia del clima, en la Zona Norte se presentan casos de suelos salinos y/o sódicos, condiciones prácticamente inexistentes en las otras tres zonas.

“Los suelos francos a franco arcillosos, sueltos, profundos, bien drenados y de origen aluvial o volcánicos, son los más deseables para el cultivo de palma de aceite”

Clase de Aptitud		Apta				
Limitación	Unidades	Ninguna	Ligera	Moderada	Marginal	No Apta
				Moderada	Severa	Muy Severa
<b>Condiciones físicas</b>						
Textura	-	FAn, F, FL	FAc,FAeL, AcAn	FAcAn, AeL,AcAn	AeL, Ac, Turba	An, Ac, grava
Profundidad efectiva	cm	> 100	75 - 100	50 - 75	25 - 50	< 25
Espesor capa orgánica	cm	-	0 - 50	50 - 200	200 - 300	>300
<b>Condiciones químicas</b>						
CIC efectiva	cmol kg <sup>-1</sup>	> 24	16 - 24	< 16	-	-
Sat. de bases en horizonte A	%	> 50	35 - 50	< 35	-	-
C orgánico en Horizonte A	%	1.5 - 2.0	> 2,5	-	-	-
Salinidad a 50 cm de profundidad	dS m <sup>-1</sup>	0 - 1	1 - 2	2 - 3	3 - 4	> 4

Paramanathan, 2003


Figura 1. Clase de aptitud de suelo. Cenipalma 2003



### Implicaciones de las limitaciones en la aptitud de las tierras

Limitación	Implicación (fuente de sobrecostos)
• Suelo superficial	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Poca reserva de nutrientes</li> <li>• Poca volumen de raíces</li> <li>• Mayor costo de preparación y fertilización</li> </ul>
• Suelo muy arenoso	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Poca reserva de nutrientes</li> <li>• Mayor frecuencia de fertilización</li> <li>• Poca retención de agua</li> </ul>
• Suelo muy arcilloso	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mayores costos de drenaje</li> <li>• Mayores costos de labranza</li> <li>• Riesgos de enfermedades</li> </ul>
• Bajo contenido de nutrientes	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mayores costos de fertilización</li> </ul>

Figura 2. Limitaciones de los suelos. Cenipalma 2003



### Implicaciones de las limitaciones en la aptitud de las tierras

Limitación	Implicación (fuente de sobrecostos)
• Pendiente alta	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mayores costos de siembra</li> <li>• Mayores costos de cosecha</li> <li>• Mayor costo de mantenimiento general</li> </ul>
• Déficit de agua	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mayores costos por riego</li> </ul>
• Exceso de precipitación	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mayores costos de drenaje</li> <li>• Limitaciones para la fertilización</li> <li>• Limitaciones para operaciones de campo</li> <li>• Riesgo de enfermedades</li> <li>• Baja radiación</li> </ul>

Figura 3. Limitaciones de los suelo (2). Cenipalma 2003

#### - REQUERIMIENTO DE AGUA

La palma requiere cantidades considerables de agua que difícilmente son satisfechos con las precipitaciones, lo cual nos lleva a suplirlos mediante riesgos artificiales. Para el efecto tenemos que considerar principalmente dos fenómenos atmosféricos: la precipitación y la evaporación como variables determinantes del clima. De los fenómenos anteriores el factor preponderante para calcular el agua requerida por la planta o "Uso Consumitivo", es la evaporación, quien junto

con la precipitación efectiva determina las necesidades de riego, mediante una fórmula sencilla que se refiere al déficit hídrico.

Déficit Hídrico = Uso Consuntivo - Precipitación Efectiva

En términos generales, se ha establecido que los requerimientos de agua en el cultivo de palma de aceite oscilan entre 1,800 y 2,200 milímetros bien distribuidos a lo largo del año. Ello implica que mensualmente se debería disponer por lo menos de 150 milímetros o 50 milímetros de lluvia cada diez días.

La disponibilidad de humedad para las palmas depende básicamente de los siguientes factores:

- a) Distribución de las lluvias
- b) Textura del suelo
- c) Profundidad efectiva del suelo
- d) Porosidad total del suelo
- e) Temperatura y evaporación
- f) Cobertura vegetal
- g) Topografía (Pendiente. Apta: 0 – 4%, Ligera: 4 – 12 %, Modera: 12 – 23%).
- h) frecuencia y cantidad de riego.

#### - Efectos sobre el crecimiento vegetativo

Los efectos de la sequía se presentan hasta dos años después de haberse presentado el estrés de agua en el cultivo de la palma de aceite (Lubis et al. 1993; Corley y Hong 1981); el efecto en el crecimiento vegetativo se manifiesta en la aparición de flechas (hojas jóvenes sin abrir completamente), sequedad y quebrazón de hojas viejas. La altura del estípote se puede disminuir en un 9 a 15%, principalmente en palmas adultas (Foong 1999). En suelos que presentan agrietamiento, al secarse se producen daños a las raíces superficiales e incluso la muerte (Lubis et al. 1993).

#### - Efecto sobre la fisiología

El efecto del déficit de agua sobre la fisiología de la palma de aceite está bien documentado. Las estomas se cierran para reducir la transpiración si se pierde agua excesivamente de la hoja o si hay un déficit de agua en la zona de raíces; el cierre de las estomas impide la absorción de CO<sub>2</sub>, por lo que se ve afectada la fotosíntesis. Las temperaturas muy altas, así como las radiaciones solares bajas, pueden ocasionar el cierre de estomas aun habiendo buenas condiciones de humedad en el suelo.

En condiciones hídricas no limitantes, se considera que a mayor radiación solar aumenta la conductancia en las estomas (Van Bavel, Sceil y Long, citados por Martín de Santa Olalla y De Juan Valero 1993). Las palmas que cierran sus estomas por un lapso de 40 días al año, podrían reducir su producción en un 10% (Corley 1973, citado por Villalobos et al).

La sequía estimula la formación de flores masculinas e inhibe la formación de femeninas. El aborto de flores femeninas ocurre principalmente en palmas jóvenes (3 a 5 años), mientras que en palmas adultas este efecto es menos severo. Se forman frutos pequeños y livianos, que se

caen uno o dos meses antes de su desprendimiento normal, reduciendo el contenido de aceite en un 17 a 18% (Ochs y Liacopolus 1983, citados por Lubis et al. 1 993).

Se reduce el contenido de aceite en el mesocarpio en los racimos madurados normalmente, y en otros casos se impide la completa maduración del racimo, secándose numerosos frutos, lo cual puede reducir la tasa de extracción hasta en un 40% por varias semanas (Udaya 1997). La ocurrencia de déficits de humedad de variada intensidad implica importantes reducciones en la producción y variaciones en el tiempo de los meses pico de cosecha, entre otros. Las reducciones pueden ser del orden del 10 al 40%, dependiendo del grado de estrés.

La respuesta de la palma de aceite al riego en climas secos puede ser considerable. Los principales beneficios del riego son el incremento en la velocidad de producción de hojas, reducción en la tasa de abortos, mejor relación de sexos, entre otros, lo cual resulta en un incremento importante en el número de racimos y otro un tanto menor en el peso de éstos (Ochs y Daniel 1 976, citados por Corley y Hong 1981). También se reduce, en alguna forma, la fluctuación de la producción, incrementando el número de racimos durante el periodo de sequía y reduciéndolo en las épocas pico (Corley y Hong 1981).

Tabla 1. Efectos del riego sobre el número y peso de los racimos en algunos experimentos

Autor	Sitio	Experimento	% Incremento debido al riego	
			No. De racimos	Peso de racimos
Kee y Chew (1991)	Malasia	Riego por goteo vs. No riego, con tres niveles de fertilización con NK en palma adulta.	13.8	1.6
Foong (1999)	Malasia	Una palma sembrada en un lisímetro con riego vs. seis palmas sin riego.	11.5 (joven) 19.5 (adulta)	18.7 (joven) 16.9 (adulta)
Foong (1999)	Malasia	Palmas adultas en terrazas, con riego por gravedad vs. Palmas sin riego.	53	16

El riego, y en general una adecuada alimentación hídrica en el cultivo de la palma de aceite, tienen otros efectos favorables, los cuales se expresan en una reducción de los requerimientos de fertilizantes, mejor aprovechamiento de éstos y mayor resistencia a las enfermedades.

Ensayos con riego por goteo causaron una mayor absorción de potasio (K) por la palma (Taffin y Daniel 1976, citados por Lim 1996); (Kee y Chew 1991) concluyeron que en ausencia de riego se requerían mayores cantidades de fertilizante para alcanzar rendimientos similares a los de palmas regadas. El riego incrementó significativamente el número de racimos, y junto con la fertilización se incrementó también el peso de éstos.

## - VARIABLES QUE DETERMINAN EL BALANCE HIDRICO

### TRANSPIRACIÓN:

Es la evaporación a través de las hojas. El proceso fisiológico de alimentación de las plantas se efectúa mediante el paso de ciertas cantidades de agua, portadoras de los alimentos, por el interior de ellas y ese tráfico solamente es posible gracias a la transpiración

### EVAPOTRANSPIRACION:

Es el total de agua convertido en vapor por una cobertura vegetal; incluye la evaporación desde el suelo, la evaporación del agua interceptada y la transpiración por las estomas de las hojas.

La evaporación y transpiración ocurren simultáneamente que no es fácil de distinguirlos. Cuando la planta es pequeña, el agua perdida es por evaporación del agua en el suelo, pero cuando la planta va desarrollándose paulatinamente, la transpiración va cobrando mayor importancia en este proceso, tal como se puede apreciar en la siguiente figura.

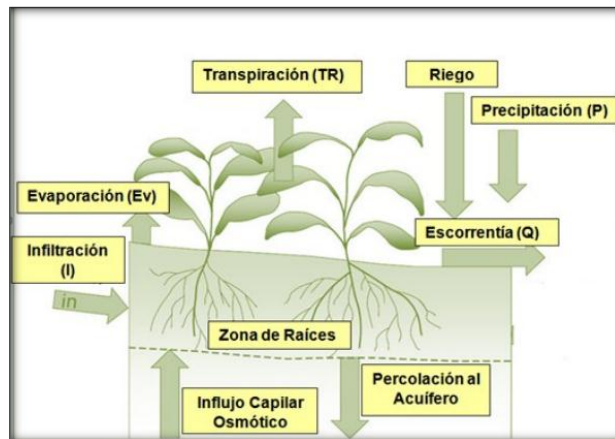


Figura 4. Fenómenos de entrada y salida de agua sobre el suelo

### PRECIPITACIÓN:

La precipitación constituye la principal entrada de agua dentro del Ciclo Hidrológico, y varía tanto espacial como temporalmente en una cuenca y subcuenca. Es el agua que cae en una zona determinada que se delimita como cuenca o subcuenca y puede ocurrir como lluvia, neblina, nieve, rocío, etc. La medición de la lluvia se realiza en las estaciones climáticas a través de instrumentos llamados pluviómetros y es uno de los datos necesarios para el balance que con mayor frecuencia se encuentran disponibles, si bien puede variar la periodicidad y confiabilidad de éstos dependiendo del método de medición y de la permanencia de las estaciones climáticas a través del tiempo.

### TEMPERATURA:

Esta variable juega un papel importante, ya que interviene en todos los métodos empíricos y por lo general junto con la precipitación son las únicas que podemos encontrar en las estaciones



meteorológicas con plena seguridad. Su análisis contempla su homogenización y caracterización térmica de la zona en estudio. Las variables climatológicas, por lo general no presentan variaciones considerables a través del tiempo.

#### BRILLO Y RADIACIÓN SOLAR:

La palma de aceite es una planta amante de la luz (heliófila), a la sombra su crecimiento se reduce y el tronco y las hojas tienden a estirarse o Etiolarse. Y se disminuye su producción.

La duración de la insolación es un factor importante, en la producción de la palma de aceite, necesita unas 1500 horas de sol bien distribuidas durante el año para asegurar una buena maduración de los racimos (Surre & Ziller. 1963). La intensidad de la radiación solar influye directamente en el proceso de fotosíntesis

#### INFILTRACION:

La infiltración es el volumen de agua procedente de las precipitaciones que atraviesa la superficie del terreno y ocupa total o parcialmente los poros del suelo y del subsuelo.

Entre los factores que afectan la capacidad de infiltración se tiene:

- Entrada superficial: La superficie del suelo puede estar cerrada por la acumulación de partículas que impidan, o retrasen la entrada de agua al suelo.
- Transmisión a través del suelo: El agua no puede continuar entrando en el suelo con mayor rapidez que la de su transmisión hacia abajo, dependiendo de los distintos estratos.
- Acumulación en la capacidad de almacenamiento: El almacenamiento disponible depende de la porosidad, espesor del horizonte y cantidad de humedad existente.
- Características del medio permeable: La capacidad de infiltración está relacionada con el tamaño del poro y su distribución, el tipo de suelo –arenoso, arcilloso-, la vegetación, la estructura y capas de suelos.
- Características del fluido: La contaminación del agua infiltrada por partículas finas o coloides, la temperatura y viscosidad del fluido, y la cantidad de sales que lleva.

#### - RIEGO EN PLANTACIONES DE PALMA DE ACEITE EN COLOMBIA

En Colombia el cultivo se encuentra localizado en todo tipo de regiones. Desde la parte plana y seca de la zona norte hasta la parte ondulada y lluviosa de la región sur del Tumaco. La palma requiere de cantidades considerables de agua que difícilmente son satisfechos con las precipitaciones, lo cual nos lleva a suplirlos mediante riesgos artificiales.

La disponibilidad está relacionada con la cantidad y la frecuencia de la lluvia, la cantidad de agua que es accesible para riego y finalmente con la cantidad de agua disponible almacenada en el suelo. A la inversa, el requisito de agua del cultivo está relacionado con la etapa de crecimiento de las plantas y la demanda impuesta por el medio ambiente. Por ejemplo, en la parte norte de Colombia la lluvia durante los meses de noviembre hasta julio usualmente es de < 50 mm por mes, mientras que en otras partes del país la lluvia tiene una mejor distribución mensual con cantidades que con frecuencia exceden los 100 mm. Sin embargo, en el caso del

norte de Colombia, la falta de lluvia durante los meses secos indica la necesidad de agua adicional mediante el riego. Además, este período seco también representa el período con la mayor demanda de agua, debido a altos niveles de irradiación solar acompañados usualmente por fuertes vientos. No es inusual que el potencial diario de evapotranspiración (ETp) alcance >10 mm por día durante este período seco (Peláez).

Tabla 2. Efectos sobre la producción en varios sistemas de riego en Colombia.

Sistema	Zona norte	Zona central	Zona oriental
Sin riego	desde no producción hasta 14 ton/ha/año, con buenas condiciones de manejo	20 ton/ha/año en buenas condiciones de manejo	Pie de monte 20 ton/ha/año. Llano: desde no producción hasta 14 ton/ha/año
Por surcos			8.4 ton/ha/año, en el primer año de producción (meses 25-37).
Inundación	desde 15 a más de 30 ton/ha/año con buenas condiciones de manejo	el único experimento incrementó el 20% la producción, pero con alto consumo de agua	Superior a 8 ton/ha/año primer corte. 19 ton/ha/año. 2º año de corte
Subterráneo			1. De 16.1 a 18.9 ton/ha/año 2. De 12.4 a 17 ton/ha/año
Artificial. Microaspersión y goteo	Comportamiento normal sin superar con buen inundación	Con producción riego incremento del 10%	Plantación en vía de recuperación 22 ton/ha/año

*Fuente: Riego en la palma de aceite, revista Palmas vol. 12. 1991*

Las pérdidas por evaporación del sistema son del suelo (*Esuelo*), la palma (*Epalma*) y del de cobertura (*Ecobertura*) y su suma representa la ETa real diaria. Otras pérdidas se deben al drenaje por debajo de la zona de la raíz y pérdidas debidas a escorrentía. En general, es seguro asumir que para eventos de lluvia de alta intensidad, por ejemplo >30 mm/h, alrededor del 50% de la lluvia se pierde debido a escorrentía.

En general, la cantidad exacta de agua de lluvia almacenada será una función de la tasa de infiltración del suelo, la cantidad de agua en el suelo y por ende la capacidad de almacenamiento. Por ejemplo, si un suelo ha sido regado recientemente con, por ejemplo, 100 mm y luego recibe una lluvia de 25 mm en menos de una hora, es seguro asumir que el 80-90% de dicha lluvia se perderá debido a escorrentía. En general, mientras menor sea la intensidad de la lluvia, más será la cantidad de agua almacenada en el suelo, siempre y cuando la capacidad de almacenamiento de agua del suelo no se exceda. El término drenaje es difícil de medir y, por lo tanto, en muchos casos se asume que sea insignificante o cero.

El método del balance de agua puede ser utilizado para calcular el requerimiento diario de agua del cultivo. El caso más simple es asumir un drenaje y una escorrentía de cero y medir cambios del contenido de agua en el suelo en el perfil del suelo, como una función de la profundidad del suelo y el tiempo. Los cambios en el contenido de agua en el perfil del suelo se pueden realizar, tomando muestras gravimétricas del suelo como una función de la profundidad y del tiempo. El contenido gravimétrico del agua ( $\theta$  agua por g suelo) es necesario convertirlo a contenido volumétrico ( $\theta V$  m<sup>3</sup> agua por m<sup>3</sup> de suelo), utilizando el valor correspondiente de la densidad

aparente del suelo ( $\rho_s$  kg de suelo por  $m^3$  de suelo). La ecuación para convertir contenido de agua  $\theta_g$  a  $\theta_v$  es la siguiente:

$$\theta_v = \theta_g * \frac{\rho_s}{\rho_w}$$

Un método empírico para relacionar la  $ET_{palma}$  con  $ET_p$  es utilizando un coeficiente específico para el cultivo para la palma de aceite ( $K_{palma}$ ), es decir,  $ET_{palma} = K_{palma} \times ET_p$ . Este método es conocido como la propuesta de ingeniería y se utiliza en todo el mundo para calcular el uso de agua de muchos cultivos. Los valores reportados de  $K_{palma}$  en la literatura fluctúan entre 0,75 y 1,2 (Dufreere et al. 1992; Henson 1993). La evidencia empírica sugiere que estos valores también se pueden utilizar para calcular  $ET_{palma}$  al norte de Colombia. Esta región está caracterizada por un periodo seco desde noviembre hasta julio, donde la  $ET_p$  diaria puede exceder 10 mm/d. Cálculos preliminares de esta región sugieren que los requisitos de agua diarios para un cultivo adulto de palma de aceite al norte de Colombia puede oscilar entre 350 y 400 l/palma. Además, cuando el agua de riego es limitada, la frecuencia de riego con un sistema de rociadores se debe realizar cada 3 días. Esta frecuencia maximiza la cantidad de agua almacenada en el suelo, mientras que proporciona suficiente capacidad de almacenaje en el suelo para almacenar cualquier lluvia recibida.

$$ET_{palma} = ET_p \times K_c$$

Para una palma de aceite adulta se puede asumir que la evaporación de agua del suelo ( $E_{suelo}$ ), si está bien cubierto, es de  $<0.5$  mm/d y se puede calcular que el cultivo de cobertura puede utilizar cualquier cantidad desde 1 hasta 3 mm/d. Con base en estas suposiciones se puede calcular, por lo tanto, que el  $E_{total}$  para un cultivo de palma de aceite adulto al norte de Colombia durante el período seco será cercano a 70.000 l/hectárea y para una densidad de 143 plantas/hectárea esto es equivalente a 490 l/palma, o el equivalente a 7 mm/d. Esta es una cifra moderada en que quizás es mayor que el uso de agua real del cultivo; no obstante, puede ser utilizada como un estimado para calcular cuánta agua total sería necesaria para manejar un cultivo de palma de aceite adulto durante el período seco al norte de Colombia.

Desde un punto de vista práctico, es mejor sobrestimar el uso de agua para asegurar una provisión de agua adecuada para las plantas durante los períodos críticos del crecimiento del cultivo, es decir, reproductivo, que pueda tener un gran impacto sobre el establecimiento de la fruta y por consiguiente en el rendimiento. En resumen, lo que se necesita para calcular la cantidad de agua de riego a aplicar, es lo siguiente:

- 1) Estación meteorológica. Se necesita para medir las variables climáticas diarias como entradas para calcular  $ET_p$ .
- 2) Calcular  $ET_p$  utilizando la metodología de la FAO o similares.
- 3) Medir la lluvia efectiva o neta en el campo. La lluvia efectiva es un 86 a 93% de lo que se mide en un manómetro de lluvia, por encima del dosel de la planta.
- 4) Mantener y calcular un balance de agua diario del cultivo. Asumir un valor de  $K_c$  entre (0,6 - 1,2) que se puede utilizar para convertir la  $ET_p$  en  $ET_a$ .

## SISTEMAS DE RIEGO

Cada uno de los sistemas tiene ventajas y desventajas y, en general, entre más eficaz sea el sistema en llevar agua desde la fuente hasta el cultivo, más caro se convierte el sistema. Por ejemplo, el sistema de riego más barato para operar es el riego por inundación: sin embargo, este sistema también es el menos eficaz, ya que en muchos casos el 50% del agua distribuida nunca llega al cultivo. Naturalmente, éste es el sistema preferido cuando hay bastante agua para riego disponible. Finalmente, lo que determina qué sistema de riego se escoge y se utiliza son los beneficios costo/ingresos del sistema.

**Riego de gravedad o de superficie:** Este sistema depende de las diferencias de elevación para distribuir el agua. En algunos casos puede ser necesario introducir una bomba reforzadora para superar el flujo sobre elevaciones altas. Este sistema se utiliza cuando el agua de riego es abundante y la intención es aplicar grandes cantidades de agua en exceso de 100 mm por evento de riego. Para aplicar agua uniformemente, el campo tiene que tener una inclinación leve. También requiere el mantenimiento de canales primarios, secundarios y a veces terciarios para distribuir el agua a las plantas en el campo.

Este es un sistema común utilizado al norte de Colombia y se utiliza principalmente cuando la fuente de agua es un río.

**Rociador:** Estos sistemas distribuyen el agua a un campo por medio de un rociador elevado y el rociador puede variar en tamaño, desde un micro hasta una boquilla de regadera. La ventaja principal de estos sistemas es que la eficacia del riego usualmente es de > 90%; sin embargo, el costo puede ser considerable y requiere mantenimiento para mantener las líneas despejadas y los emisores destapados. Existen varios modelos que están disponibles comercialmente y el diseño e instalación de un sistema de rociador dependerá de factores tales como, disponibilidad de agua, espaciamiento de las plantas, entre otros.

**Goteo Enterrado:** En los últimos 10 años el goteo enterrado ha ganado considerable popularidad como sistema de riego para muchos cultivos agrícolas. Este sistema consiste de una cinta con emisores espaciados equitativamente, enterrada a una profundidad de 20-30 cm por debajo de la superficie. La cinta de goteo disponible comercialmente ofrece muchas opciones en términos de espaciamiento de emisores y tasas de flujo. Las principales ventajas de utilizar este sistema es que, si se utiliza apropiadamente, puede lograr una eficacia >95%. Este es un sistema que se debe escoger siempre que el agua de riego sea escasa. Las principales ventajas son el costo y el mantenimiento.

No existe un consenso claro sobre la ubicación de la cinta con referencia a la palma de aceite; sin embargo, parece ser que la cinta debe ser colocada al borde del dorsal de la planta con los emisores colocados hacia la planta.

## PALMA DE ACEITE Y CAMBIO CLIMATICO

Últimamente en el país ha cobrado importancia el análisis del efecto del cambio climático en el cultivo de palma de aceite. En la ola invernal de 2010-2011 el sector agrícola perdió 693,448 millones de pesos, tanto por áreas perdidas por inundación como por menores rendimientos asociados. El sector palmicultor perdió 4,671 millones por imposibilidad de cosechar y 5,427 por disminución de rendimientos, lo que se traduce en una pérdida general de 10,118 millones de pesos (Cepal, 2012).

Desafortunadamente, el desarrollo que la agroindustria de la palma de aceite ha tenido en Colombia, no ha estado acompañado de un proceso de investigación sistemático en las áreas de suelos, nutrición y manejo de agua que haya generado una oferta de conocimientos

disponibles para solucionar los numerosos problemas que en estos campos enfrenta el productor. Los eventos extremos, los cambios en los suelos, el enriquecimiento del aire en dióxido de carbono, el ozono troposférico y el cambio en la distribución de plagas son algunos de los elementos que se deben tener en cuenta para proyectar los impactos en un cultivo con alta incertidumbre (Jarvis *et al.* 2014a)

El contexto meteorológico futuro, en la zona actual del cultivo de palma que es la tropical de baja altitud, tendrá como principal característica el aumento de temperatura, causada por el aumento de la radiación solar de onda larga en la troposfera (Jarvis *et al.* 2014b)

## 5. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

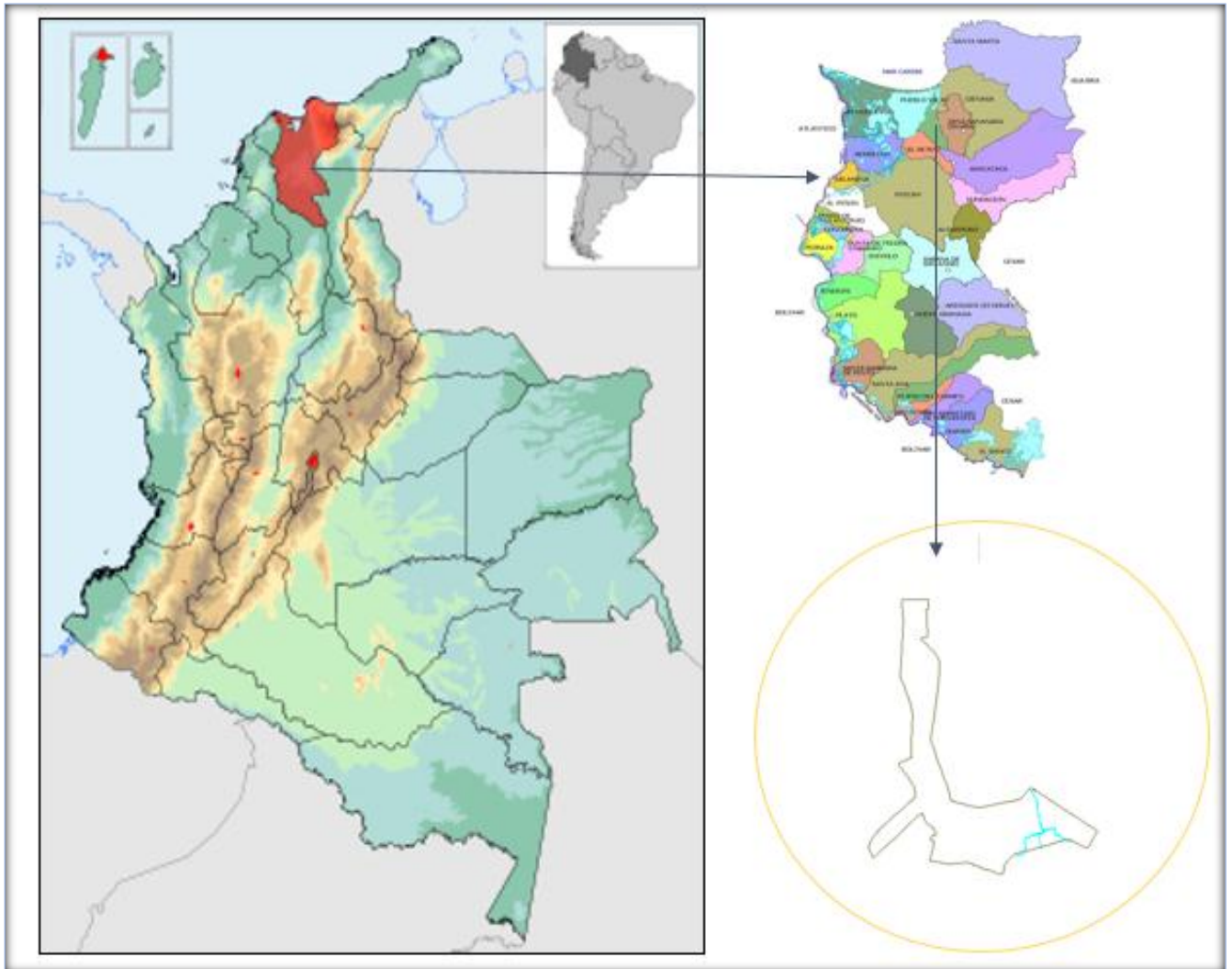
Tradicionalmente el cultivo de la palma de aceite ha implicado el consumo de grandes volúmenes de agua para riego, de los cuales solo una parte es tomada por el cultivo para su desarrollo fisiológico y productivo. Esto se refleja en la implementación de sistemas de riego por inundación que en muchas ocasiones son adaptados de otros cultivos que presentan bajas eficiencias de conducción y aplicación. En este sentido y teniendo en cuenta el aumento de la temperatura ambiente debido al cambio climático, toma importancia la necesidad de evaluar el sistema de riego de la plantación El Castillo, para determinar posibles deficiencias en el manejo del agua para riego en el ámbito del uso racional del agua.

## 6. METODOLOGIA

### 6.1. LOCALIZACIÓN

La plantación El Castillo se encuentra ubicada en zona rural del municipio de Pueblo viejo Departamento del Magdalena, en el corregimiento de Tierra Nueva entre los 10°44'37,06" y 10°45'17,33" de Latitud Norte y los 74°15'48,44" y 74°17'19,53" de Longitud Oeste una altitud comprendida entre los 7 y 13 msnm influenciada por la Ciénaga Grande de Santa Marta y múltiples corrientes hídricas dentro de la cuenca baja del río Aracataca.

Posee un área total de 393 Ha, de las cuales 203 están sembradas en palma africana *Elaeis Guineensis Jacq* con edad de 16 meses. En la zona predominan las altas temperaturas y alto brillo solar.



*Figura 5. Localización general del área de estudio*



Figura 6. Imagen satelital, Localización Finca El Castillo.

## 6.2. CARACTERIZACION AGROCLIMATOLOGICA.

### 6.2.1 CLIMA AMBIENTAL

Se realizó la caracterización climática de acuerdo a la información existente de las variables climáticas suministrada por la empresa de las estaciones del IDEAM.

La zona del área de estudio pertenece a la formación ecológica de Bosque Seco Tropical (bs-T) por presentar una biotemperatura entre 22 y 24° C, una precipitación media anual entre 500 y 1000 mm y con una provincia de humedad subhúmeda con evaporación media anual mayor de 1200 mm estudio, según la clasificación de Holdridge (IGAC, 1963).

Para el análisis climático se utilizó los datos de las estaciones meteorológicas Palo Alto, Padelma y Prado Sevilla del IDEAM; la primera ubicada en el municipio de Pueblo Viejo y las dos restantes en el municipio de Zona Bananera. A continuación se muestra la localización de las estaciones y las características de las estaciones consultadas.



Figura 7. Imagen satelital. Localización estaciones climáticas consultadas.

Tabla 3. Localización estaciones climáticas y variables analizadas.

ESTACION	PALO ALTO	PADELMA	PRADO SEVILLA
<b>Código</b>	29060270	29065020	29065030
<b>Latitud</b>	10°43' N	10°43' N	10°76' N
<b>Longitud</b>	74°16' N	74°11' N	74°15' N
<b>Tipo de estación</b>	Pluviométrica	Climatológica ordinaria	Climatológica ordinaria
<b>Departamento</b>	Magdalena	Magdalena	Magdalena
<b>Municipio</b>	Pueblo viejo	Zona bananera	Zona bananera
<b>Elevación</b>	25 msnm	20 msnm	20 msnm
<b>Periodo Consultado</b>	1994-2012	1994-2012	1970-2005
<b>Distancia a la plantación</b>	2.8 Km	6.8 Km	9.9 Km
<b>Variables consultadas</b>	Precipitación y número de días con lluvia	Precipitación, número de días con lluvia, brillo solar, temperatura, humedad relativa	Evaporación



De acuerdo con la información obtenida de las estaciones Palo Alto y Padelma, el valor medio de precipitación total anual oscila entre los 1,159 y 1,304 mm respectivamente. Se han presentado precipitaciones menores a ,1000 mm en 8 de los 19 años consultados para la estación Palo Alto y en 5 de los 19 años de la estación Padelma.

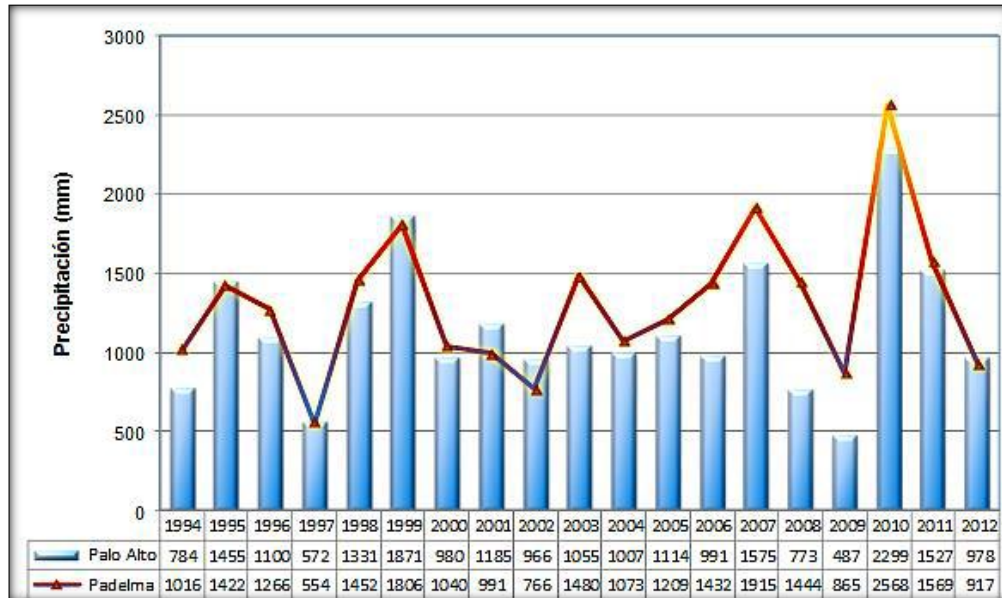


Figura 8. Precipitación media anual en las estaciones Palo Alto y Padelma (1994-2012)

La precipitación anual más baja registrada en Palo Alto se presentó en el año 2009 con 487 mm y en Padelma en el año 1997 con 554 mm anuales. Las precipitaciones más altas se reportaron en el año 2010 con 2,299 mm (Palo Alto) y 2,568 mm (Padelma), pero este evento solo ocurrió una vez en 19 años.

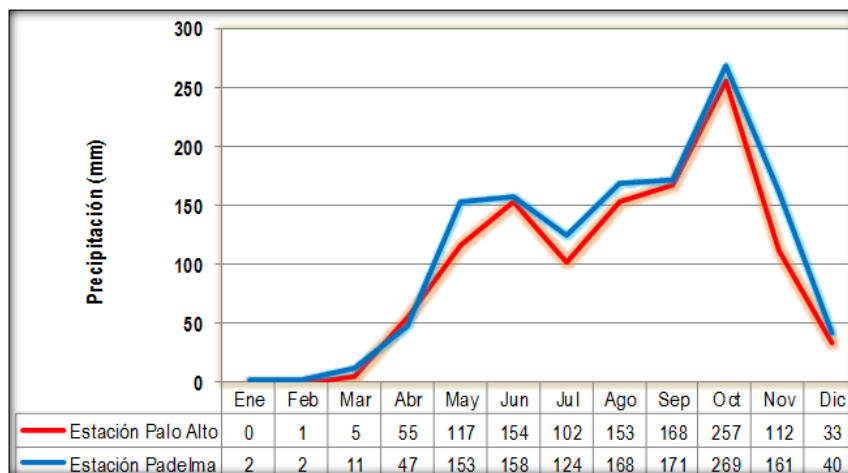


Figura 9. Precipitación media mensual (mm), estaciones Palo Alto y Padelma (1994 a 2012).

El invierno se presenta en los meses de mayo a junio y de agosto a octubre, este último es el más lluvioso y se presenta un periodo seco (menor a 100 mm mes<sup>-1</sup>) entre diciembre y abril. Históricamente se han registrado precipitaciones máximas de 563 mm (julio de 2010) y mínimas de 36 mm (mayo de 1997). En ambas estaciones la distribución anual es similar, sin embargo la cantidad de lluvia por mes es menor en Palo Alto (Figura 9).

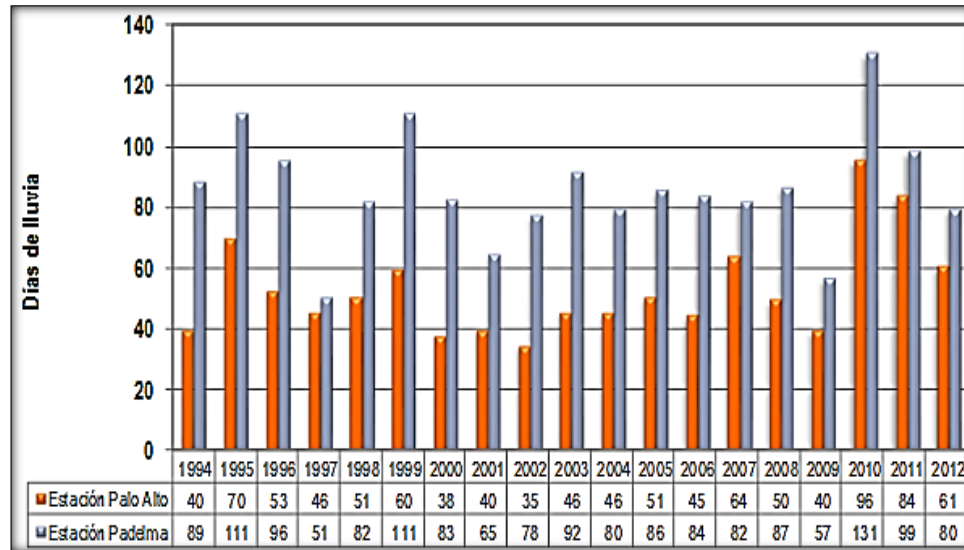


Figura 10. Número de días con lluvia anual, estaciones Palo Alto y Padelma periodo 1994 a 2012.

En la estación Palo Alto se reporta en promedio 54 días con lluvia al año y en Padelma, 86 días; en el año 2010 para ambas estaciones se reportó el mayor número con 96 y 131 días, respectivamente viéndose el incremento también en el 2011 y 2012 (Figura 10).

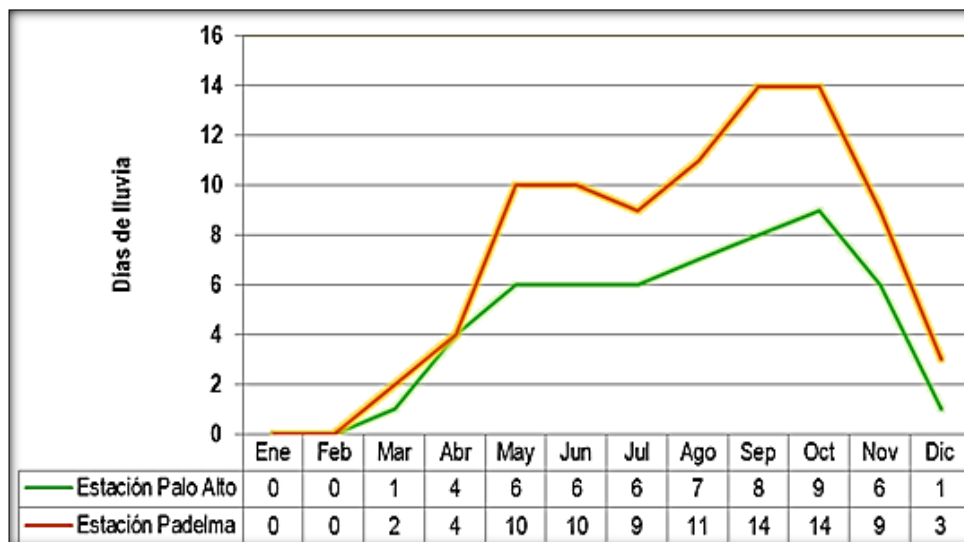


Figura 11. Distribución media mensual del número de días con lluvia, estaciones Palo Alto y Padelma periodo 1994 a 2012.

En las dos estaciones los meses con más días lluviosos son agosto, septiembre y octubre; en la estación Padelma se presentan entre 11 y 14 días por mes y en Palo Alto entre 7 y 9 días por mes. En este periodo se concentra el 44% de los días que llueve al año (Figura 11).

Para el análisis del balance hídrico, se toma el promedio de la precipitación media mensual de las dos estaciones consultadas, debido a la falta de datos disponibles de otras estaciones pluviométricas.

## TEMPERATURA AMBIENTAL

Para esta variable se estudiaron los datos procedentes de la estación Padelma por ser la más cercana con información disponible.

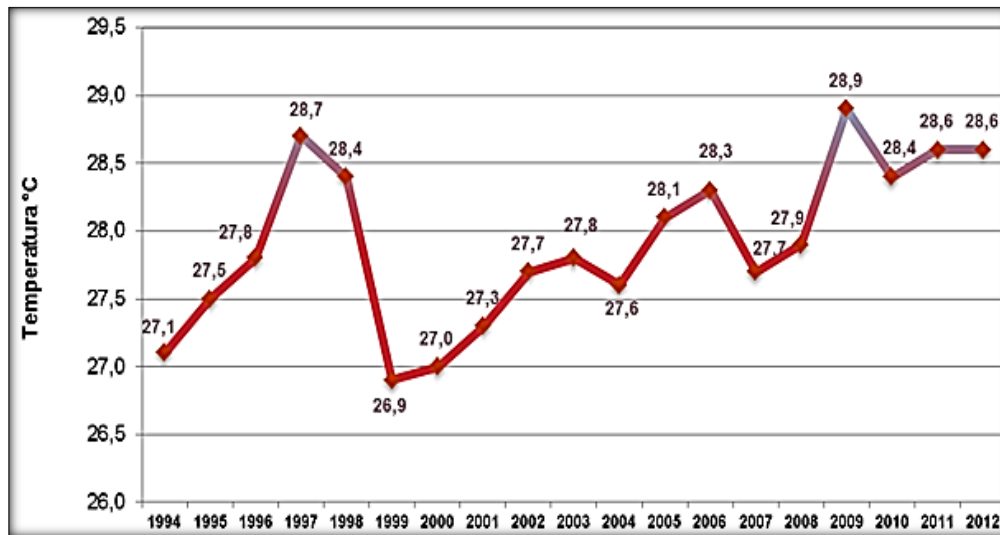


Figura 12. Temperatura media anual, estación Padelma (periodo 1994 a 2012)

Temperatura media: La temperatura media anual es de 27,9 °C, en los años 1997 y 2009 se registraron las máximas temperaturas medias anuales con 28,7 y 28,9 °C. Durante el periodo 1999 a 2004 se presentaron las menores temperaturas con 26,9 a 27,8 °C, posteriormente en los años 2006 y 2009 se presentaron dos picos de temperatura con 28,3 y 28,9 °C respectivamente, por último entre 2010 a 2012 la temperatura ha permanecido más constante con valores entre los 28,4 y 28,6 °C (Figura 12).

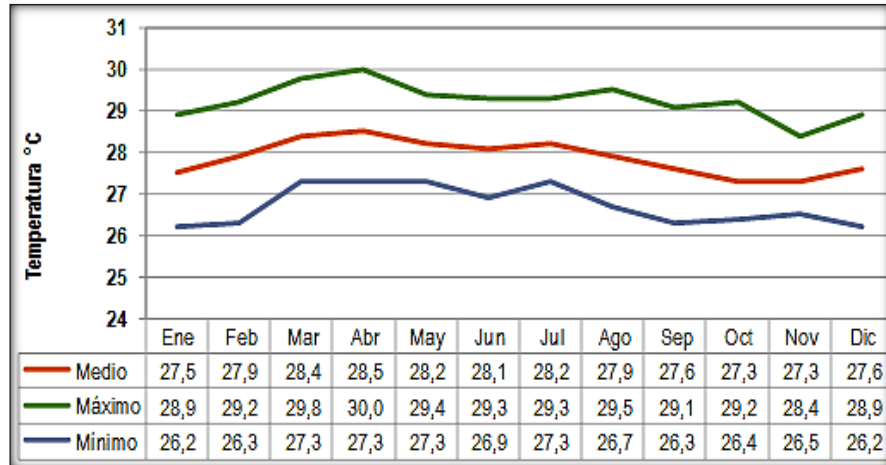


Figura 13. Valores promedios, máximos y mínimos mensuales de temperatura (°C), estación Padelma (1994 a 2012).

Los meses más calurosos son marzo y abril con 28,4 y 28,5 °C, en los meses de mayo a julio la temperatura oscila entre los 28,1 y 28,2 °C, luego se presenta un descenso progresivo hasta el mes de noviembre con 27,3 °C y nuevamente asciende a partir de diciembre con el comienzo del verano.

### Temperaturas máximas

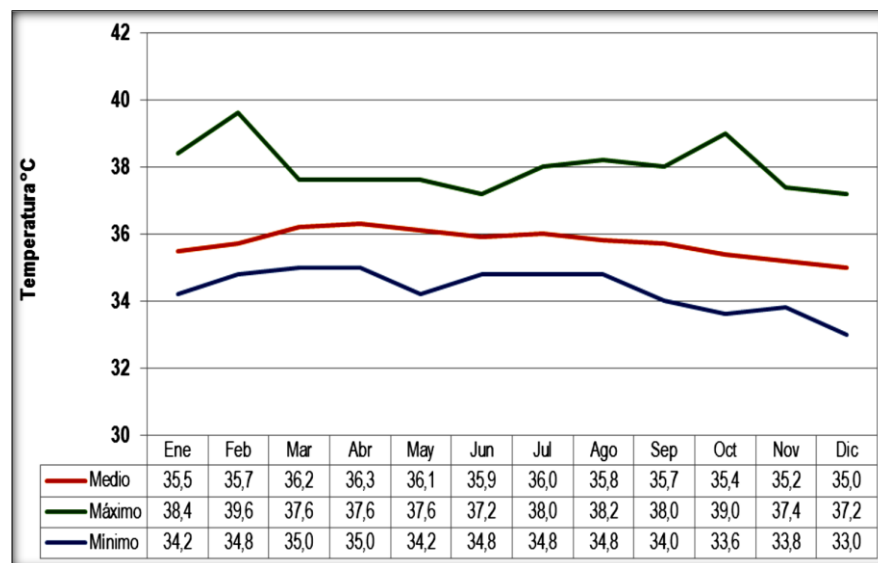


Figura 14. Temperatura máxima °C, valores promedios, máximos y mínimos mensuales, estación Padelma, periodo 1994 a 2012.

La temperatura máxima promedio anual es de 35,7 °C. Durante el primer semestre se presentan las mayores temperaturas siendo abril el más alto con 36,3 °C; a partir de julio la temperatura máxima disminuye de manera progresiva hasta su valor mínimo ocurrido en diciembre (35 °C). Históricamente en febrero del año 1998 se reportaron las máximas temperaturas con 39,6 °C.

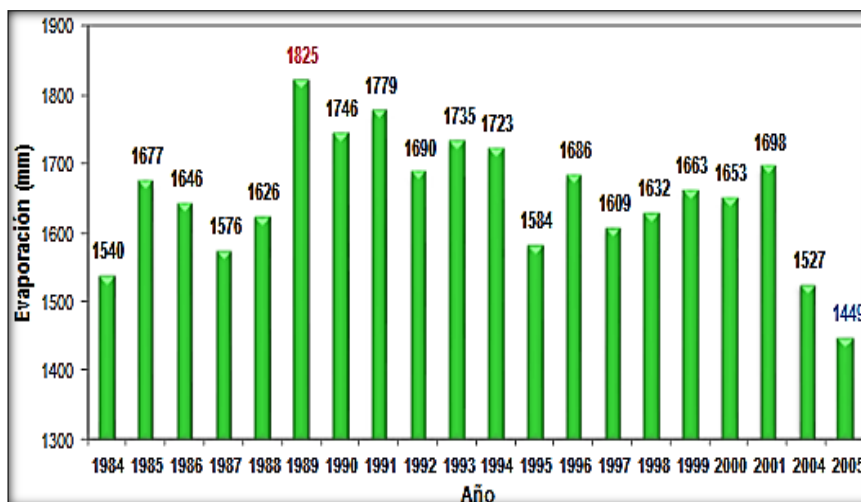


Figura 15. Evaporación total anual (mm) estación Prado Sevilla 1984 a 2005.

La evaporación media anual es de 1,653 mm registrada en la estación Prado Sevilla en el periodo 1984 a 2005, la cual es mayor que la precipitación total anual; de esta manera se presenta un déficit de humedad promedio de 494 mm/año. En 1989 se registró la evaporación anual más alta con 1,825 mm y en el año 2005 la más baja con 1,449 mm (Figura 15).

Con relación a la precipitación, en los meses de diciembre hasta mayo y en julio (6 meses) la evaporación es mayor que la precipitación por lo que el cultivo dependerá netamente del agua de riego superficial. Solamente durante los meses de septiembre y octubre la evaporación es menor que la precipitación, sin embargo bajo algún evento de sequía en estos meses se puede presentar un déficit hídrico ya que la evaporación es una variable más constante que la precipitación.

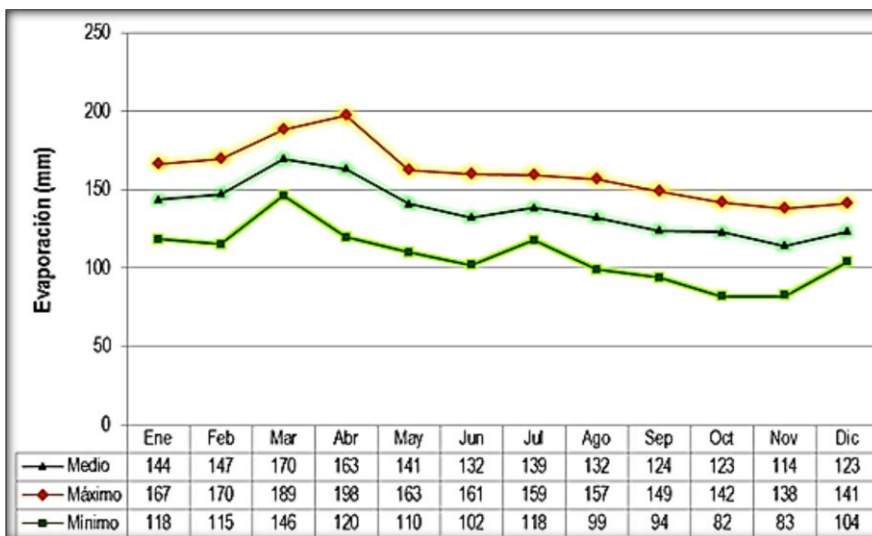


Figura 16. Evaporación media, mínima y máxima mensual (mm) en la estación Prado Sevilla periodo 1984 a 2005.

Utilizando los datos de evaporación de las estaciones consultadas que se observa en los meses de marzo y abril se registra el máximo valor de evaporación (170 y 163 mm/mes), significando una evaporación máxima diaria de 5.4 mm. Luego desciende progresivamente hasta alcanzar su valor más bajo en noviembre (114 mm) y se vuelve a incrementar durante el verano.

Si se quisiera relacionar esta variable con la temperatura, se puede hacer a través de una función de tipo lineal así:

$$y = 22,072 x - 481,41$$

Donde:

y = Evaporación media (mm)

x = Temperatura media (°C)

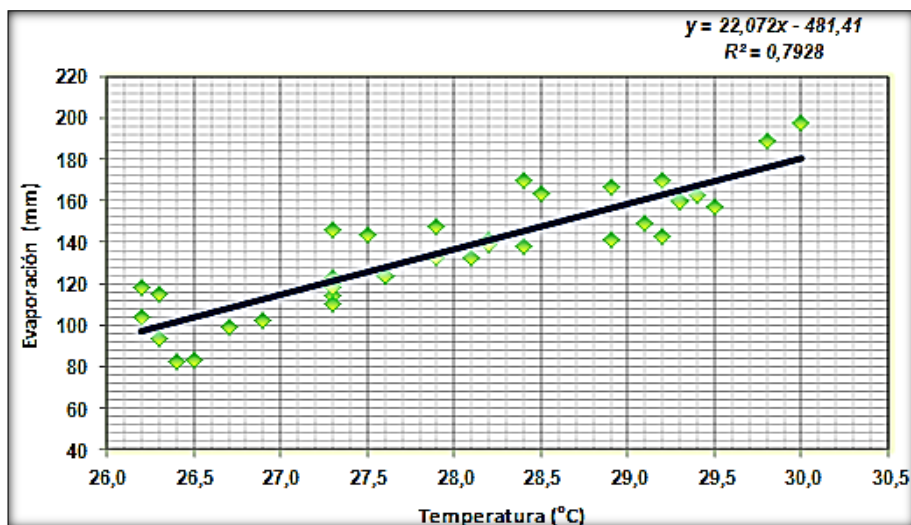


Figura 17. Relación entre la temperatura media (°C) y la evaporación (mm), estaciones Padelma y Prado Sevilla, periodo 1994 a 2015.

De acuerdo con la Figura 18, la evaporación entre 80 a 100 mm se presenta en meses cuya temperatura sea menor a los 27 °C. Los valores de mayor evaporación (188 mm) están asociados a una temperatura mayor a los 29,8 °C, lo cual ocurre por lo general en los meses de marzo y abril.

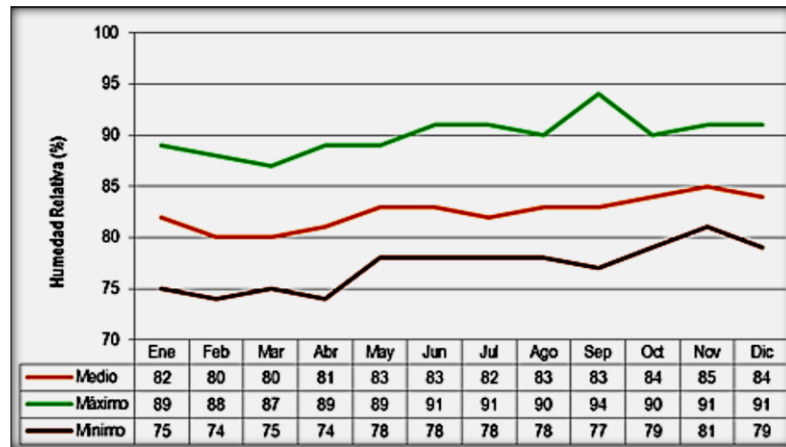


Figura 18. Valores medios mensuales humedad relativa (%), estación Padelma, periodo 1994 a 2012.

La humedad relativa (%) promedio anual es del 82%. Durante el periodo de abril a octubre la humedad incrementa progresivamente y en noviembre se presenta el valor promedio más alto con el 85%. Los valores máximos se han presentado en el mes de septiembre y los mínimos en los meses de enero, febrero y abril (Figura 19). La relación entre la humedad relativa y la precipitación es proporcional. Como se observa en la figura siguiente, y se explica mediante la ecuación lineal así:

$$y = 0.0126x + 81.129$$

Donde:

y = Humedad Relativa (%)

x = Evaporación (mm)

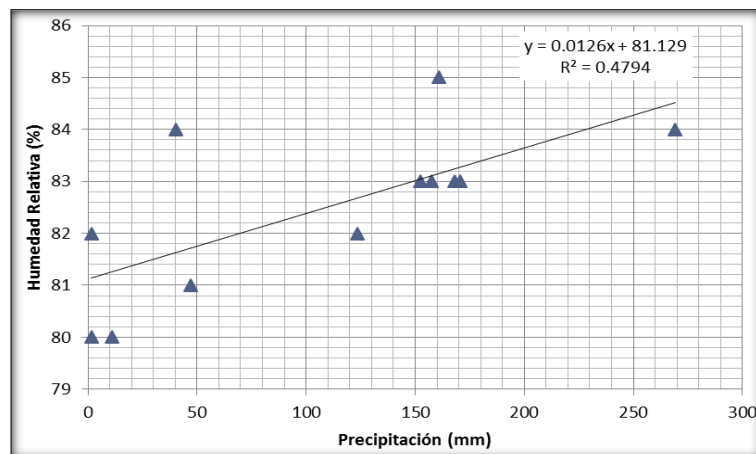


Figura 19. Relación entre la humedad relativa (%) y la evaporación (mm) para el periodo 1994 a 2015, estación Padelma.

De acuerdo a la figura 19 la precipitación aumenta con el aumento de la humedad relativa y la reducción de la temperatura. Algunos datos presentan convergencia con precipitación de 150 mm y humedad relativa de 83 %.

## BRILLO SOLAR

El brillo solar se refiere al número de horas en las que se recibió luz solar en un tiempo determinado. El promedio anual es de 2412 horas luz lo que equivale a un valor diario de 6,6 horas registradas en la estación Padelma con valores que oscilan entre 2244 y 2736 horas (Figura 20).

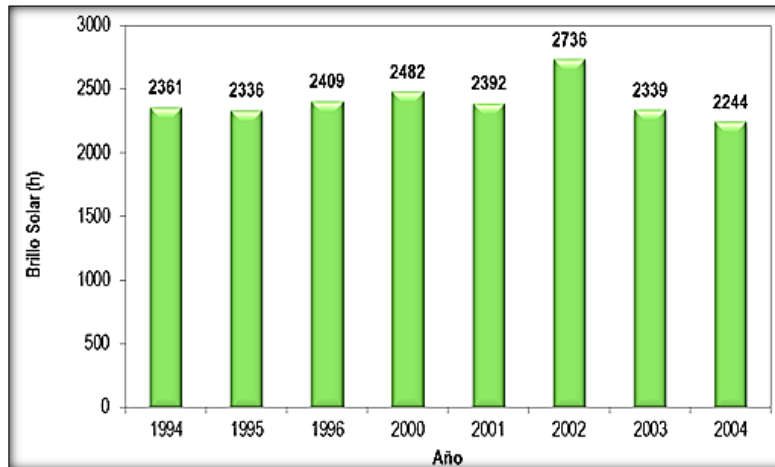


Figura 20. Valores totales anuales de Brillo Solar (h), estación Padelma (1994 a 2004).

El año con mayor número de horas de brillo solar es 2002, registrando 2736 horas en total, es decir 7.5 horas por día promedio. De esta manera se relaciona con la evaporación alta en los primeros meses del año y la necesidad de compensar el déficit hídrico.

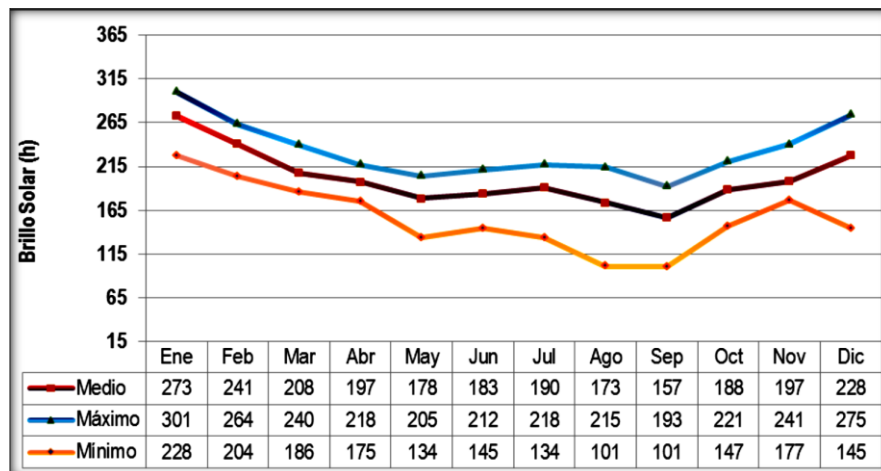


Figura 21. Valores medios, máximos y mínimos mensuales de Brillo Solar (h), estación Padelma (1994 a 2013).

El brillo solar es mayor en el primer trimestre del año y en diciembre (máximo equivalente a 8,8 horas/día). Con el inicio de las lluvias en abril y mayo el brillo solar disminuye a 178 horas y el



valor más bajo se presenta en septiembre con 157 horas, es decir 5,2 horas diarias. Históricamente se han reportado valores máximos de brillo solar en el mes de enero de 301 horas (9,7 h/día) y mínimas de 101 horas por mes en agosto y septiembre lo que equivale a un valor diario de 3,3 h/día (Figura 22).

Se realizó la interrelación de los valores medios mensuales de las variables consultadas para identificar las épocas críticas de verano e invierno:

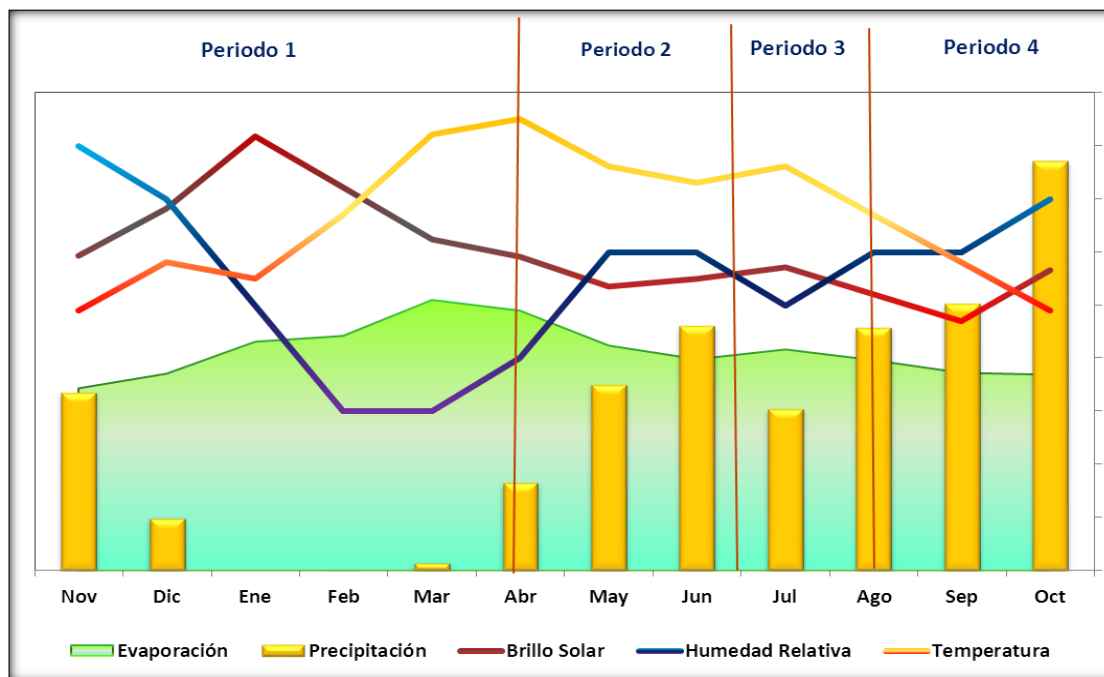


Figura 22. Correlación dinámica de los datos medios anuales de las variables evaporación, precipitación, brillo solar, humedad relativa y temperatura en la plantación El Castillo 2014.

Primer Periodo, corresponde a la estación de verano (noviembre hasta el mes de abril) y se caracteriza por presentar una precipitación menor a los 100 mm en especial entre enero y marzo. Esta época se asocia con la baja humedad relativa la cual encuentra su valor más bajo en febrero y marzo; también con los valores máximos de evaporación y temperatura las cuales presentan su pico entre marzo y abril; el brillo solar está en su máxima expresión, especialmente de diciembre a febrero con un promedio de 7 a 8 horas luz/día.

Si bien en este periodo hay condiciones favorables para el desarrollo del cultivo, en especial el alto brillo solar; la baja precipitación y alta evaporación genera una condición de estrés hídrico que disminuye su gasto energético para sobrevivir con lo cual se genera un retraso en la apertura de hojas nuevas y por ello se observa la acumulación de flechas, así mismo retrasa el crecimiento y la maduración de los racimos.

Segundo Periodo, corresponde a la primera temporada de lluvias que por lo general comienza en abril y va hasta el mes de junio pero con cierta frecuencia se inicia en mayo. Si bien en abril y junio ya han iniciado las lluvias la evaporación todavía es mayor que la precipitación y por lo tanto se requerirá la adición de agua de riego hasta el mes de julio cuando la precipitación es mayor que la evaporación. Con el aumento de la humedad relativa y precipitación se generan

condiciones que favorecen el establecimiento de hongos patógenos, por esto es importante realizar labores de fitosanidad y control de plagas.

Tercer Periodo, es una corta interrupción de la estación de lluvias que se presenta en el mes de julio y ocasionalmente se extiende hasta el mes de agosto, durante este periodo la precipitación disminuye a valores menores a los 100 mm, la evaporación, brillo solar aumentan y hay una disminución de la humedad relativa.

Cuarto Periodo, corresponde a la segunda estación de lluvia y se presenta entre los meses de agosto a octubre y en ocasiones puede finalizar en noviembre. Durante este periodo la precipitación es mayor que la evaporación, por lo que la planta fisiológicamente estará más activa, sin embargo existe una disminución del brillo solar que como en el caso de septiembre presenta valores menores a los óptimos requeridos por el cultivo que reduce la actividad fotosintética y favorece el desarrollo de plagas y enfermedades como la pudrición de cogollo (PC) relacionadas a la alta humedad en el suelo y enfermedades de tipo fungoso.

El sistema de conducción de drenaje debe tener las condiciones óptimas para la evacuación de los excesos de humedad durante este periodo.

### 6.2.2 SUELOS

Para la caracterización de suelos de la plantación, dentro del proyecto se tomó como base el estudio realizado para la factibilidad del cultivo en el cual se establecieron tres unidades cartográficas de suelo.

CLIMA	PAISAJE	TIPO DE RELIEVE	FORMA DEL TERRENO	MATERIAL PARENTAL	UNIDAD CARTOGRAFICA DE SUELOS Y COMPONENTES TAXONOMICOS	PERFILES		PRINCIPALES CARACTERISTICAS DE LOS SUELOS	SIMBOLO		
						No	%				
Cálido seco	Planicie fluvio lacustre	Plano de inundación	Cubetas de decantación	Depósitos aluviales finos y gruesos	Consociación Castillo Typic Endoaquepts, familia fina, mezclada, superactiva e isohiptérmica.	PA5, PA2	80	Muy superficiales, pobremente drenados, relieve plano y plano cóncavo, texturas arcillosas, ligera a moderadamente ácidos en superficie (pH 5,6 a 6,5) y neutros a ligeramente alcalinos en profundidad (pH 6,8 a 7,6). Moderado contenido de materia orgánica en el primer horizonte y muy alto potencial de expansión y contracción. Naturalmente sujetos a inundaciones y encharcamientos.	CAai		
					Typic Endoaquepts, familia franca fina sobre arenosa, mezclada, superactiva e isohiptérmica.	PA-4	10				
					Typic Ustipsamments	PA-1	10				
			Cubeta de desborde	Depósitos aluviales finos sobre gruesos	Consociación Tierra Nueva Typic Endoaquepts, familia franca fina sobre arenosa, mezclada, superactiva e isohiptérmica.	PA-4	90		Superficiales, pobre a imperfectamente drenados, relieve plano y plano cóncavo, texturas francas a franco arcillosas en los primeros 40 cm sobre arenas, moderadamente alcalinos en superficie (pH 7,8 a 8) y ligeramente alcalinos en profundidad. Moderado contenido de M.O en los primeros 20 cm, muy bajo el resto del perfil. Naturalmente sujetos a inundaciones y encharcamientos.	TNai	
					Typic Haplustepts familia franco fina, superactiva e isohiptérmica.	M2 M14	5				
					Typic Ustipsamments	PA-1	5				
			Rebordes de Cubeta	Depósitos aluviales moderadamente finos y gruesos	Consociación Cantagallal Aquic Haplustepts familia arcillosa sobre franca, mezclada, superactiva e isohiptérmica	PA-3	90			Moderadamente profundos, imperfectamente drenados, relieve plano, textura fina hasta los 40 cm de profundidad sobre horizontes de textura franca, neutros a ligeramente alcalinos (pH 6,5 a 7,6). Moderado contenido de M.O en los primeros 20 cm, muy bajo el resto del perfil.	CNa
					Typic Haplustepts familia franco fina, superactiva e isohiptérmica.	M2 M14	5				
					Typic Ustipsamments	PA-1	5				

Figura 23. Características principales y tipo de suelos. Plantación el Castillo (Estudio de suelos y aptitud para palma de aceite, plantación el Castillo. 2013)

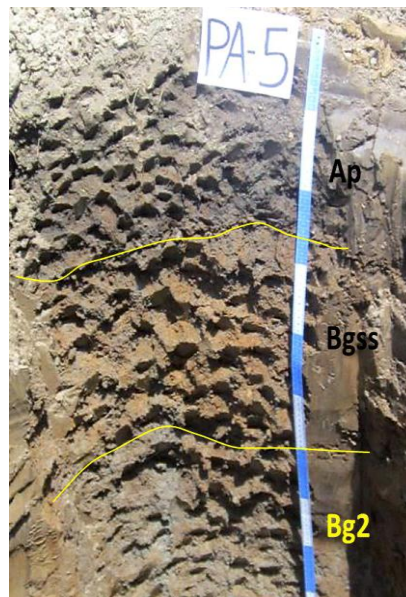
## CONSOCIACIÓN CASTILLO:

Los suelos de esta unidad se han originado a partir de sedimentos aluviales finos compuestos por arcillas y limos; se distribuyen en las cubetas de decantación del plano que sufrían de frecuentes inundaciones dejando su sello en los materiales de origen así como en el relieve.



*Figura 24. Cubeta de decantación dentro del plano de inundación. Consociación Castillo. Plantación el Castillo (Estudio de suelos y aptitud para palma de aceite, plantación el Castillo. 2013)*

El relieve es plano a plano cóncavo con pendientes 0 – 1%. No hay pedregosidad sobre la superficie del terreno ni dentro del perfil, tampoco se encontraron evidencias de procesos de erosión acelerada.



*Figura 25. Perfil de suelo. Consociación Castillo. (Estudio de suelos y aptitud para palma de aceite, plantación el Castillo. 2013)*

- Características Químicas

Los dos primeros horizontes del suelo tienen reacción moderadamente ácida a neutra con valores de pH desde 5,5 a 6,4 y se incrementa con la profundidad pasando a ser ligeramente alcalina con un pH de 7,6. El contenido de carbono orgánico y de materia orgánica es moderado a bajo en el primer horizonte con un contenido de M.O de 1,3 a 2,4% y muy bajo en el resto del perfil con menos de 1,4%.

- Características Físicas

El suelo de la consociación Castillo por tamaño de partículas pertenece a la familia fina por cuanto los contenidos de arcilla en los distintos horizontes que conforman la sección control del perfil oscilan entre 41 al 52% con promedio ponderado del 43% de arcillas. También se debe resaltar el alto contenido de partículas del tamaño de los limos (0,05 - 0,002 mm) que en promedio participan con un 35% en la textura del perfil. Los dos primeros horizontes del perfil modal (Ap y Bgss) son de textura arcillosa, mientras que el horizonte Bg2 es de textura franco arcillosa.

La densidad aparente determinada en los dos primeros horizontes del suelo señaló una compactación en el primer horizonte con una densidad de 1,54 g/cm<sup>3</sup> considerado alta para un suelo de esta textura, así mismo la densidad aparente para el segundo horizonte también resultó alta con 1,42 g cm<sup>3</sup> que está en el límite para calificarla como compactación.

La porosidad encontrada en la muestra es baja en el primer horizonte, y normal en el segundo, la cual está asociada a la compactación superficial.

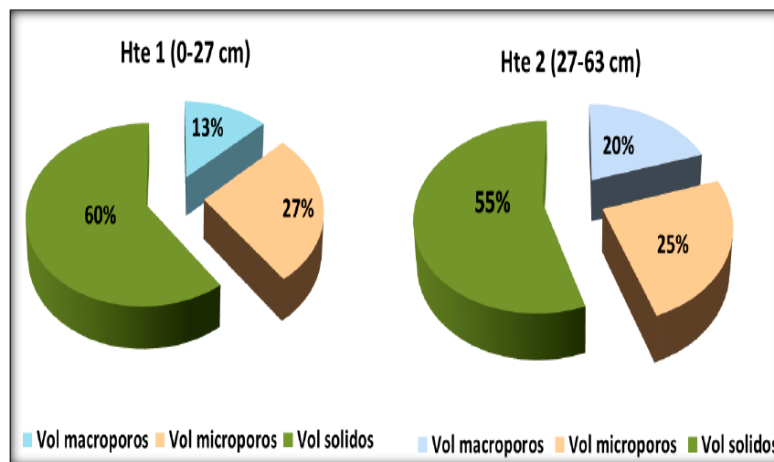


Figura 26. Distribución de macro y microporos en dos horizontes del perfil PA-5. Consociación Castillo. (Estudio de suelos y aptitud para palma de aceite, plantación el Castillo. 2013)

La capacidad de almacenamiento de agua determinada mediante la diferencia entre la humedad gravimétrica a capacidad de campo (-33 kPa) y la humedad obtenida en el punto de marchitez permanente (-1500 kPa) es moderada en los dos horizontes evaluados con un 10,5% en peso, equivalente a una humedad volumétrica del 15,6% v/v y a una lámina de 0,15 cm de agua por cada centímetro de suelo del primero y segundo horizonte.

Expresada en lámina, en el primer horizonte de 27 cm de espesor se tiene una capacidad de almacenamiento de agua de 4 cm y en el segundo horizonte de 36 cm de espesor se tiene una capacidad de almacenar una lámina de 5,9 cm de agua.

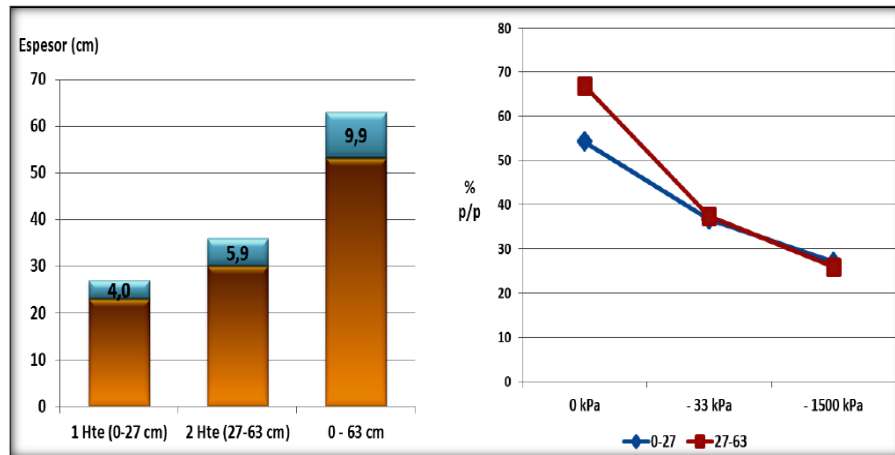


Figura 27. Almacenamiento de agua expresada como lámina de agua (cm) y por el espesor (cm) (izquierda), Curva de retención de humedad (derecha). Consociación Castillo. (Estudio de suelos y aptitud para palma de aceite, plantación el Castillo. 2013)

Como limitantes se presenta el fenómeno de compactación representados en una baja porosidad, textura y alta densidad aparente que genera un sellamiento superficial obstaculizando la penetración y el movimiento del agua en el suelo con incremento de los encharcamientos y disminución de la aireación o intercambio de gases entre el suelo y la atmósfera. Por el tipo de arcilla y la cantidad presenta alto potencial de expansión y contracción lo cual afecta el sistema de raíces de los cultivos, los requerimientos de agua para el riego, la determinación de construcción de obras de infraestructura entre otros.

## CONSOCIACIÓN TIERRA NUEVA

Los suelos de esta unidad cartográfica se han originado a partir de sedimentos finos sobre gruesos. El relieve es plano con pendientes que oscilan entre 0-2%. No hay pedregosidad superficial y no se encontraron evidencias de procesos de erosión acelerada, en el pasado sufrían de inundaciones. Se caracterizan por ser superficiales, pobre a imperfectamente drenados, modificados por la mecanización y el drenaje artificial.



Figura 28. Cubetas de desborde dentro de la planicie. Consociación Tierra Nueva. (Estudio de suelos y aptitud para palma de aceite, plantación el Castillo. 2013)

- Características Químicas

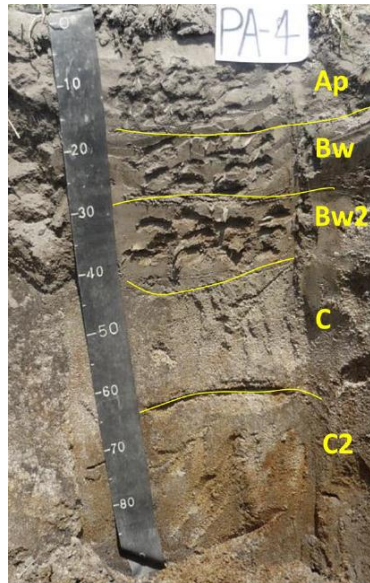


Figura 29. Perfil de suelo. Consociación Tierra nueva. (Estudio de suelos y aptitud para palma de aceite, plantación el Castillo. 2013)

Hasta los 40 cm de profundidad que abarcan los horizontes Ap, Bw y Bw2 se presenta una reacción moderadamente alcalina con pH de 7,8 a 8, posteriormente en los horizontes C la reacción disminuye tornándose ligeramente alcalina con pH entre 7,4 y 7,6. De acuerdo al estudio, el contenido de materia orgánica es moderado solo en el primer horizonte (0-18 cm) con 2,2% de M.O calculada. En general hasta los 40 cm las concentraciones de todos los cationes son mayores y descienden drásticamente en el resto del perfil por cuanto se presentan las capas arenosas.

- Características Físicas

El suelo Tierra Nueva por tamaño de partículas los primeros 40 cm del perfil presentó texturas franco arenosas y franco arcillosas con contenidos de arcilla entre 15 y 30% sobre horizontes arenosos con contenidos de arcilla del 2 al 4%. El primero y tercero de los horizontes (Ap y Bw2) tienen textura franco arenosa en comparación con el horizonte Bw que es de textura franco arcillosa con arcilla del 32% y arena del 44%. En adelante siguen capas arenosas con tamaño grueso y medio (0,25 a 1 mm). El horizonte Bw entre 18 y 30 cm puede aminorar la pérdida de agua, nutrientes y retener los elementos adicionados con los fertilizantes.

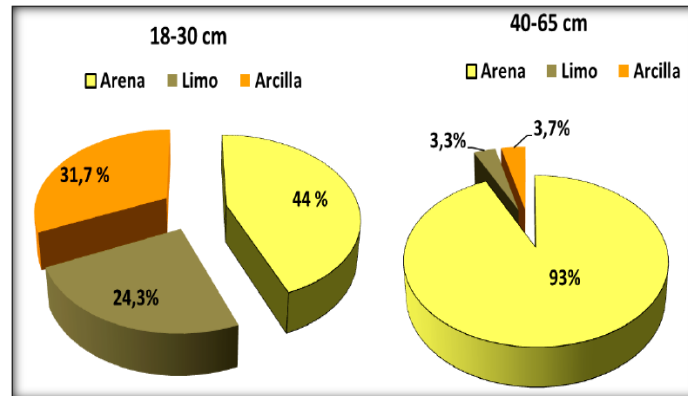


Figura 30. Contraste textural entre los horizontes Bw y C. Consociación Tierra nueva. (Estudio de suelos y aptitud para palma de aceite, plantación el Castillo. 2013)

Los tres primeros horizontes presentaron alta densidad aparente en especial entre 18 y 30 cm de profundidad con un valor de 1,9 g cm<sup>-3</sup> lo cual señala una fuerte compactación debido a la sobre mecanización y al acomodamiento de los granos gruesos de arena en la matriz de limos a arcillas; la densidad real presentó valores normales y frecuentes en suelos minerales de textura mediana.

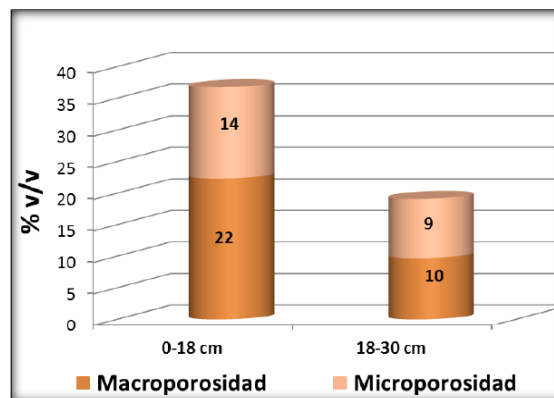


Figura 31. Distribución de macro y microporos en los dos primeros horizontes de suelo. Consociación Tierra nueva. (Estudio de suelos y aptitud para palma de aceite, plantación el Castillo. 2013)

Según la figura anterior, se presenta una baja porosidad total en los dos horizontes; este es un resultado de la compactación encontrada con afectación severa de la macroporosidad y con ello afectando el movimiento del agua en el suelo, el intercambio gaseoso que favorece la entrada de oxígeno y salida de CO<sub>2</sub> del suelo, la vida animal, en fin afecta toda la dinámica del suelo.



Hasta los primeros 40 cm del perfil la capacidad de almacenamiento de agua es baja con valores de 6 a 8% en peso equivalente a una humedad volumétrica del 11 al 13% y a una lámina de 5 cm de agua por en los 40 cm de la capa arable (Ap-Bw-Bw2). Gráficamente en el primer horizonte se tiene una capacidad máxima de almacenamiento de agua de 2,4 cm y en el segundo horizonte de 1,4 cm y en el tercero de 1,1 cm de agua.

Esta misma curva de retención en los horizontes arenosos sigue la tendencia a una muy baja retención de humedad con menos de 0,11 cm de lámina de agua por cada 1 cm de suelo arenoso.

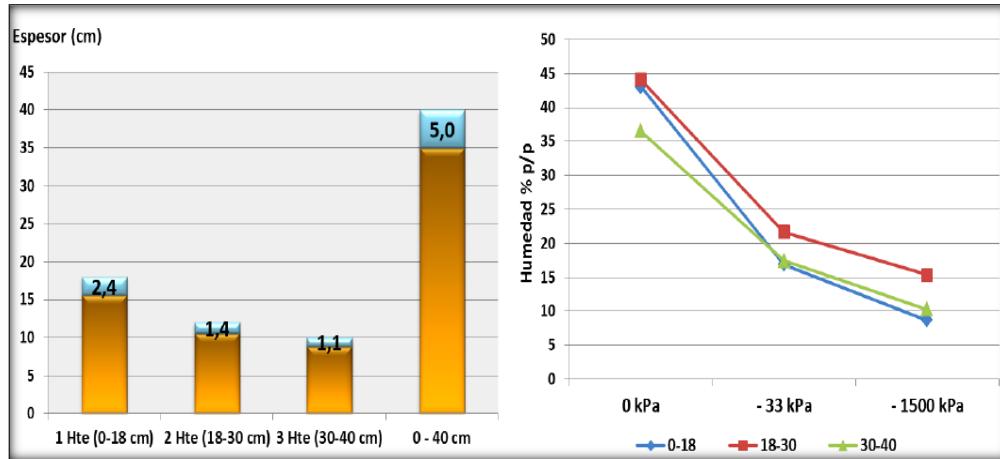


Figura 32. Capacidad de almacenamiento de agua en lámina de agua (cm) para los horizontes Ap, Bw y Bw2 del suelo PA-4 (izquierda y curvas de retención de humedad (derecha) (Estudio de suelos y aptitud para palma de aceite, plantación el Castillo. 2013)

De acuerdo a estos resultados, se hace necesario implementar drenaje artificial debido a la imperfección del drenaje natural, por otra parte a partir de los 40 cm de profundidad presenta capas arenosas gruesas de muy baja capacidad de almacenamiento de agua y de nutrientes por lo que el riego debe ser más frecuente y permanente así como la fertilización más fraccionada.

Se encontró fuerte compactación y reducción en el espacio poroso y con ello se establece una limitación para el desarrollo radical de los cultivos.

## CONSOCIACION CANTAGALLAL

Suelos originados a partir de sedimentos fluviolacustres moderadamente finos sobre gruesos, se distribuyen en los rebordes de las cubetas de desborde generalmente en las partes relativamente más altas de la planicie de inundación. El relieve es plano con pendientes que oscilan entre 0-2%. No hay pedregosidad superficial y no se encontraron evidencias de procesos de erosión acelerada.



Figura 33. Rebordes de cubetas en planicie fluvioacustre. Consociación Cantagallal.  
(Estudio de suelos y aptitud para palma de aceite, plantación el Castillo. 2013)

Se caracterizan por ser moderadamente profundos, imperfectamente drenados, modificados por la mecanización y el drenaje artificial; en el perfil se presenta cambios texturales muy marcados pasando de franco a arcillosos hasta los 40 cm de profundidad sobre horizontes de textura franca hasta los 120 cm de profundidad, presenta morfológicamente cuatro horizontes bien diferenciados con una distribución Ap-Bw-Bw2-C (figura 33).

Los horizontes del perfil presentaron en general una consistencia en húmedo friable y en mojado ligeramente pegajosos y ligeramente plásticos, es notoria la presencia de poros en todo el perfil de tamaño medio y fino en superficie y finos en profundidad. Los horizontes limitan de manera clara y con topografía plana.

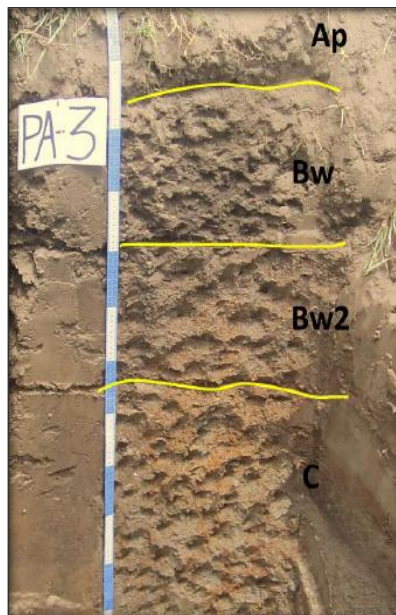


Figura 34. Perfil de suelo, consociación Cantagallal. (Estudio de suelos y aptitud para palma de aceite, plantación el Castillo. 2013)

- Características Químicas

La reacción en los primeros 40 cm de profundidad Ap y Bw (Figura 34) es neutra a ligeramente alcalina con pH de 7,1 a 7,6; posteriormente, en los horizontes Bw2 y C la reacción disminuye tornándose neutra a ligeramente ácida con pH entre 6 y 6,6.

El contenido de carbono orgánico y por ende de materia orgánica es moderado en el primer horizonte (0-17 cm) con 3% de M.O calculada, en el resto del perfil es muy baja con valores menores al 0,9%.

- Características Físicas

De acuerdo a los resultados obtenidos, se observa que este suelo tiene contrastes muy marcados en su textura, ya que el primer horizonte (Ap) es de textura franco arenosa y el horizonte Bw es de textura arcillosa; teniendo un horizonte arcilloso sobre horizontes de texturas franco arcillo arenosas y francas.

En adelante siguen capas francas con tamaño medio y grueso. El horizonte Bw entre 17 y 41 cm favorece la retención de nutrientes y de agua pero simultáneamente se constituye en una barrera para el libre movimiento del agua de exceso, con encharcamientos frecuentes bien en época de lluvia o por láminas de riego altas.

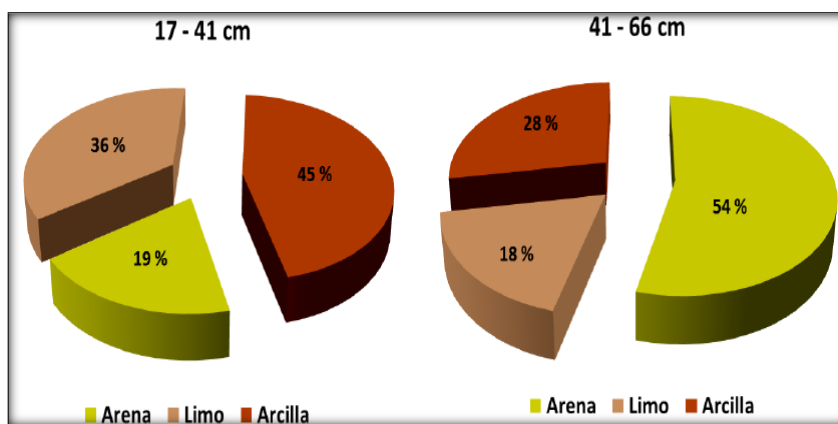


Figura 35. Contraste textural entre los horizontes Bw y C. Consociación Cantagallal. (Estudio de suelos y aptitud para palma de aceite, plantación el Castillo. 2013)

Los horizontes Ap y Bw2 (0-17 cm y 41-66 cm) presentaron densidades aparente y real acordes con su textura con 1,4-1,5 g cm<sup>-3</sup> y 2,35 g cm<sup>-3</sup> respectivamente; en el horizonte Bw (17-41 cm) se encontró una fuerte compactación con una densidad aparente de 1,77 g cm<sup>-3</sup>.

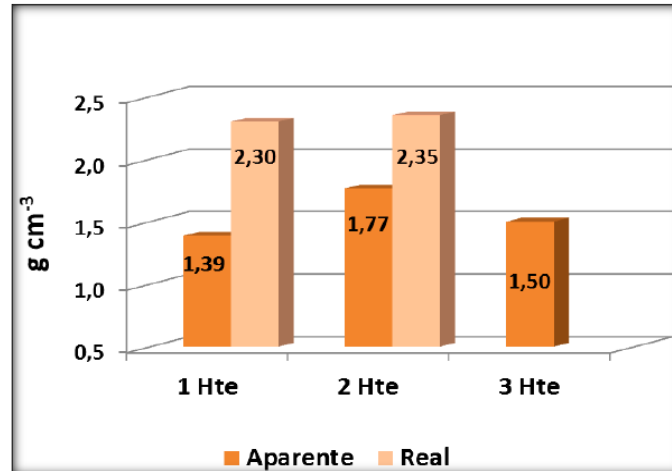


Figura 36. Densidades aparente y real en los tres primeros horizontes del suelo. Consociación Cantagallal. (Estudio de suelos y aptitud para palma de aceite, plantación el Castillo. 2013)

De acuerdo a las densidades aparente y real mostradas (Figura 36) se observó una fuerte compactación en el horizonte Bw (17-41 cm), que restringe el crecimiento de las raíces de muchas plantas cultivadas. Esta compactación natural podría haberse aumentado con la sobre mecanización en la fase de adecuación de tierras para el establecimiento de la palma de aceite.

Este suelo presenta muy baja porosidad total en los dos horizontes de la capa arable, lo cual es una consecuencia más de la compactación encontrada, afectando principalmente la macroporosidad y por ende el movimiento del agua en el suelo, el intercambio gaseoso y la dinámica de los microorganismos.

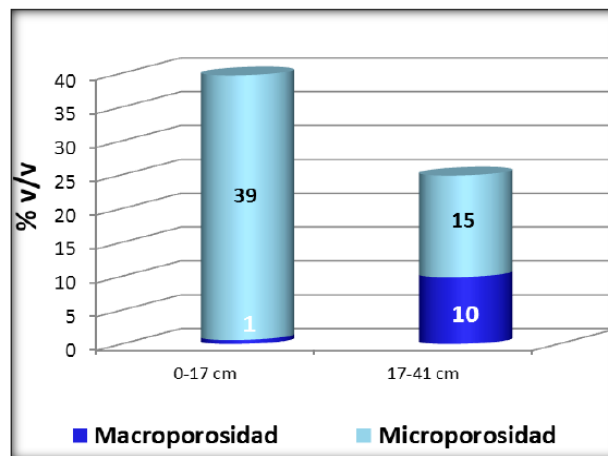


Figura 37. Distribución de macro y microporos en los dos primeros horizontes del suelo. Consociación Cantagallal. (Estudio de suelos y aptitud para palma de aceite, plantación el Castillo. 2013)

La capacidad de almacenamiento de agua determinada es baja en los horizontes Ap, Bw2 y C de textura franca con humedad disponible de 7 y 8% en peso y moderada en Bw (17-41 cm) con una humedad del 12% en peso; expresada como lámina corresponde a una lámina de 9,6

cm de agua en los primeros 66 cm del suelo (Ap-Bw-Bw2). En términos de humedad disponible pero volumétrica corresponde a valores de 10 a 12% en volumen para Ap y Bw2, y del 21% en volumen para el horizonte Bw.

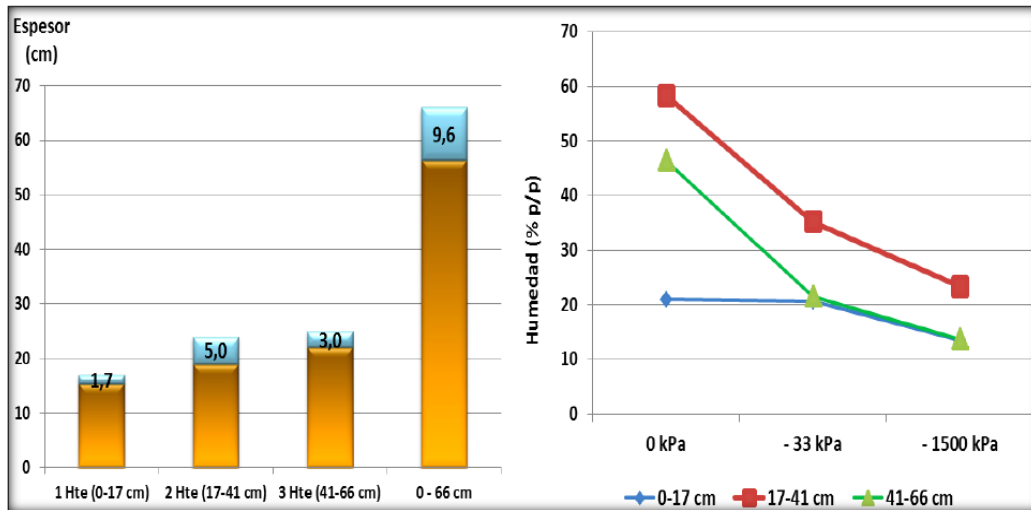


Figura 38. capacidad de almacenamiento de agua en lámina de agua (cm), horizontes Ap, Bw y Bw2 del suelo (izquierda) y curvas de retención de humedad (derecha). Consociación Cantagallal. (Estudio de suelos y aptitud para palma de aceite, plantación el Castillo. 2013)

El suelo de la consociación Cantagallal presenta limitaciones moderadas para su uso agrícola como lo es la profundidad efectiva superficial limitada por un contraste textural abrupto arcilloso sobre franco y por la presencia de un proceso de compactación fuerte a los 17 cm de profundidad; en menor grado de limitación se encuentran la moderada capacidad de almacenamiento de agua.

### 6.3. TOPOGRAFIA

Como primer paso, se realizó la visita de reconocimiento a la zona, la cual había sido nivelada anteriormente y se identificaron las vías, canales de riego, drenaje, pendiente natural, caños y accidentes topográficos.

#### 6.3.1. GEORREFERENCIACIÓN DE LA ZONA

En esta sección, se obtuvo el levantamiento planimétrico y altimétrico de la zona, el cual se georreferenció en el sistema MAGNA-SIRGAS origen Bogotá. El plano obtenido fue realizado en coordenadas Universal Transverse Mercator (UTM) al cual se hizo necesario actualizarlo a los parámetros de transformación oficiales del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) conocido como *Marco Geocéntrico Nacional de referencia (MAGNA-SIRGAS)*.

Esta actualización de referencia de coordenadas se hizo a través del software aplicativo libre desarrollado por el IGAC llamado MAGNA-SIRGAS PRO 3.

Una vez georreferenciado, se montó el perímetro de la plantación en el software libre Google Earth para verificar su correcta geoposición.

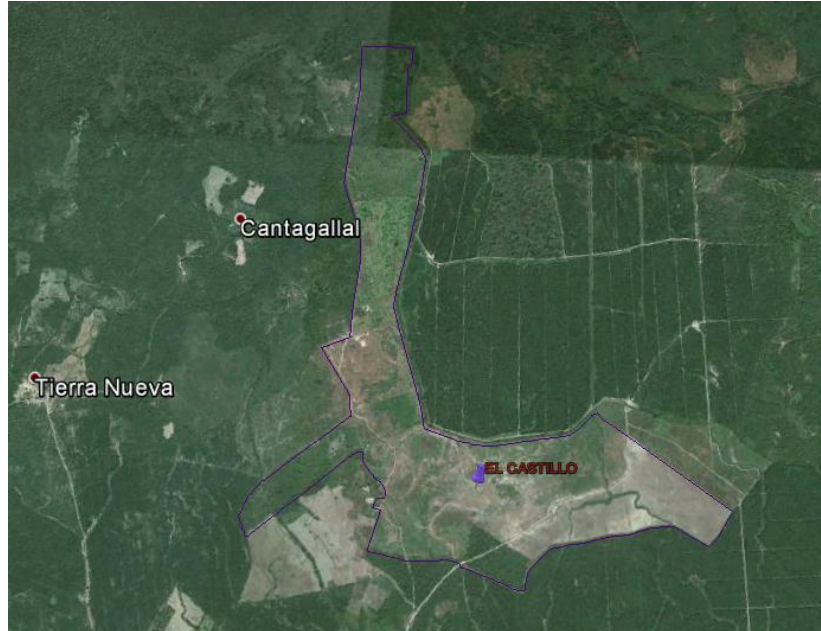


Figura 39. Imagen satelital perímetro georreferenciado. Plantación el Castillo 2014

### 6.3.2. CANALES DE RIEGO

De acuerdo al levantamiento de topografía detallado, resumido en el plano general con curvas de nivel de la plantación con intervalo de 0.2 m se verificó en campo el trazo de los canales de riego.

En la observación realizada se evidenció que la mayoría de los canales de riego primarios no funcionan adecuadamente ya que no hay avance del agua dentro del canal ni uniformidad en la lámina de agua lo que más aún se pudo evidenciar en la baja humedad del suelo y el estrés hídrico sufrido por la palma.



Figura 40. Canal principal de riego en operación. Plantación el Castillo 2014

Debido a la necesidad del recurso hídrico, se realizó la nivelación de los canales primarios de riego de los lotes más críticos. Para esto se utilizó nivel de precisión de topografía marca TOPCON serie AT-B4.

En la nivelación realizada se observó que los canales no presentan la pendiente adecuada para el avance del agua, en algunos tramos se observó erosión en el talud debido a las características del suelo del talud y velocidad del agua, en otras se observó sedimentación que resta capacidad de conducción y que al final del canal no llega el agua para regar esas zonas más lejanas. Además estos no cuentan con el cálculo y diseño hidráulico correspondiente para el adecuado funcionamiento. Como ejemplo se muestra la nivelación realizada al canal de riego primario que abastece 19, 4 Has aproximadamente. Los canales son de sección trapezoidal con talud 1:1, sus dimensiones son:

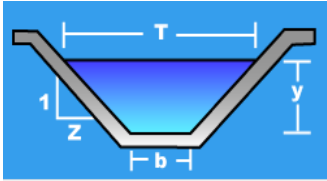
Vértice	Dimensiones actual m.	Dimensiones calculada m.	Revestimiento	Sección canal
<b>Ancho de solera (b)</b>	0.5	0.4	El canal no presenta revestimiento, si no cobertura vegetal que limita el avance del agua. En algunos tramos presenta el talud presenta grietas y erosión.	
<b>Tirante normal (y)</b>	0.4	0.65		
<b>Espejo de agua (T)</b>	1.3	1.5		
<b>Talud (z)</b>	1:1	1:1		

Tabla 4. Dimensiones canal de riego primario nivelado. Plantación El Castillo 2014

Fuente: Cristian Ramírez Rojas 2014

De acuerdo con la bibliografía para el diseño de canales de riego de Ven te Chow (2004), se debe garantizar una pendiente longitudinal entre el 0,5 y el 1 por mil. Con esta pendiente es posible mover agua a una velocidad de conducción de 0,75 a 1,2 m/s, la cual es óptima para evitar la sedimentación y la erosión en los canales.

Para el caso de los canales de riego se sugiere una pendiente de 0,75 por mil debido a las condiciones arenosas del talud en algunos tramos y al transporte de sedimentos del agua.

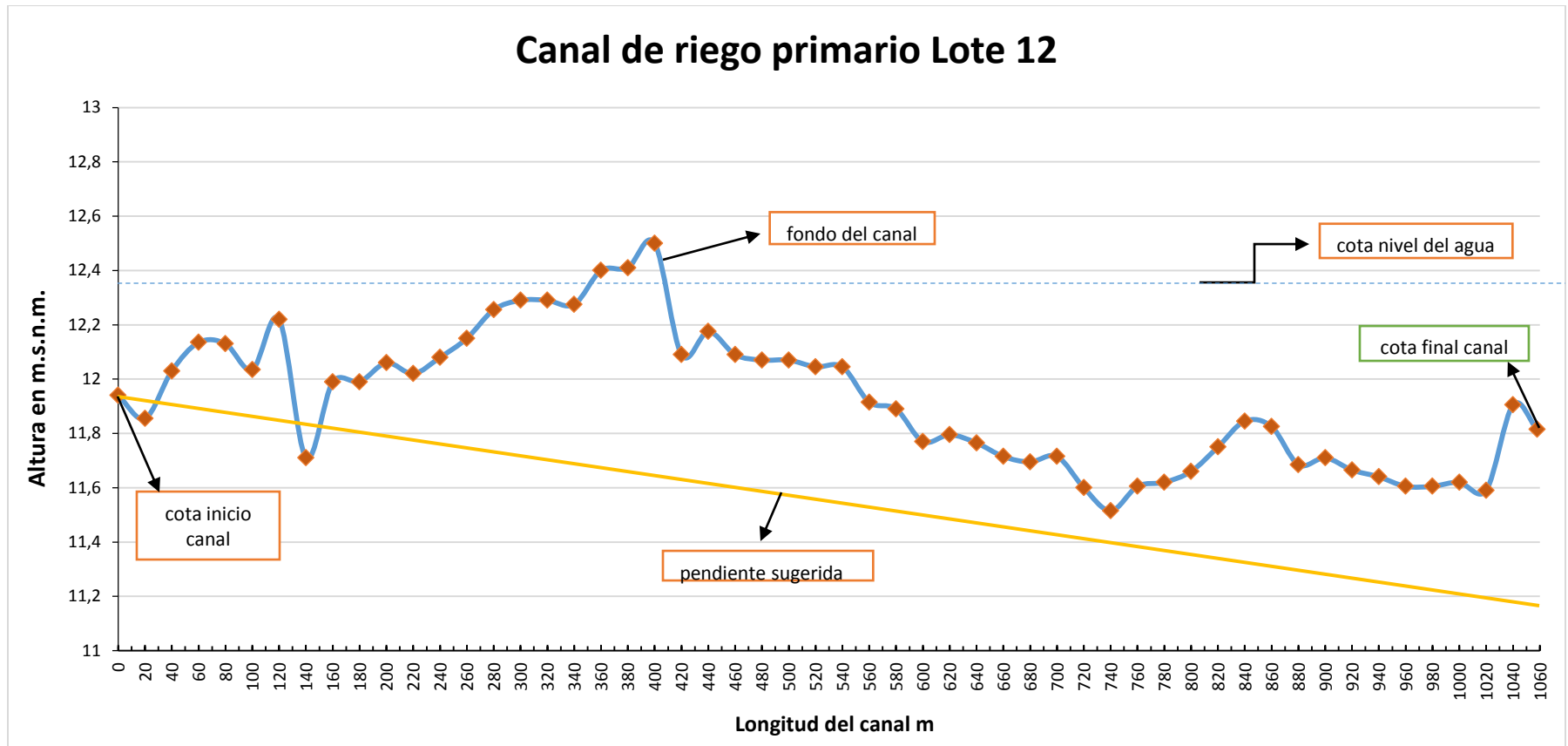


Figura 41. Nivelación realizada canal de riego primario lote 12. Plantación el Castillo 2014



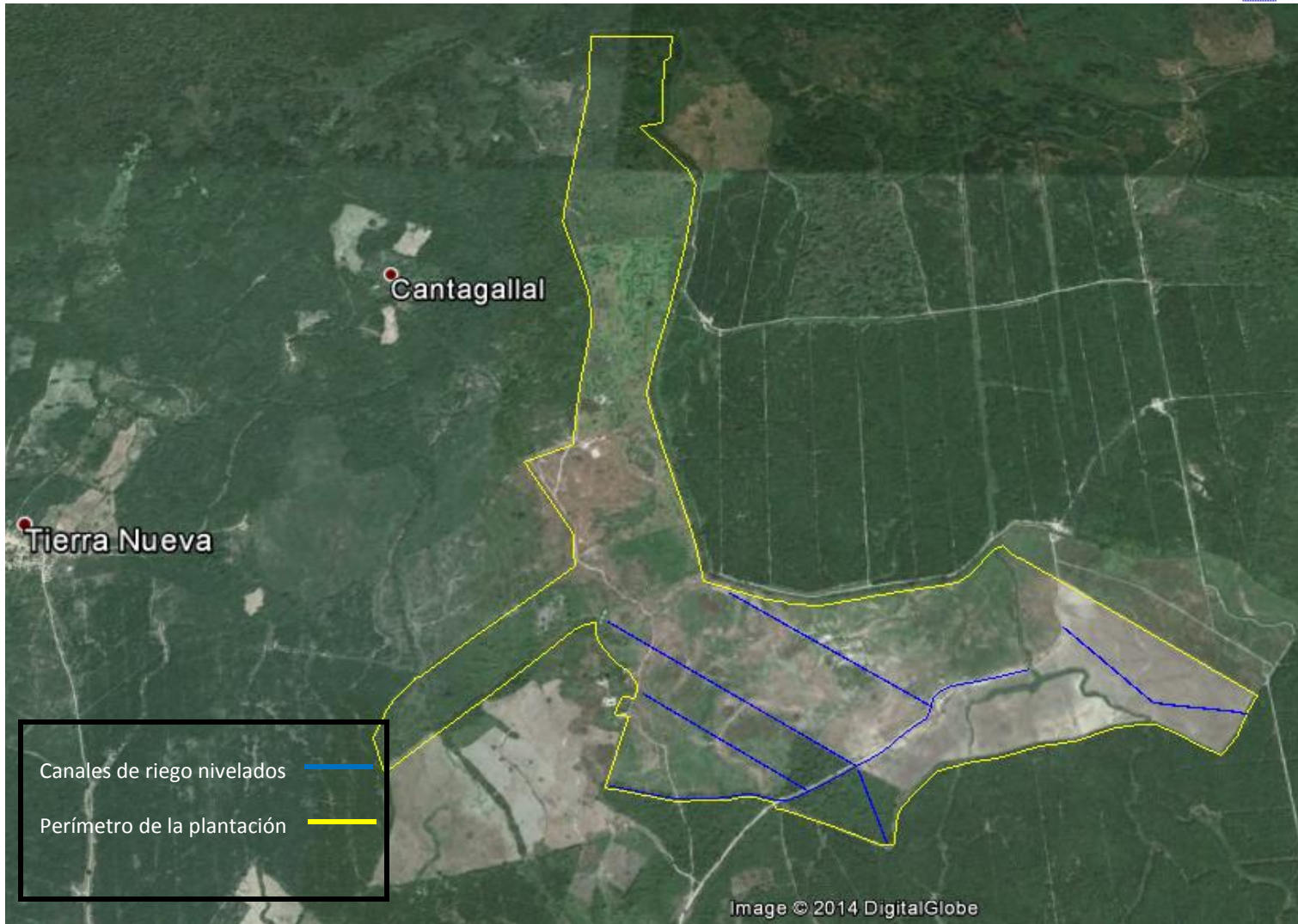


Figura 42. Imagen satelital canales de riego primarios nivelados. Plantación el Castillo 2014

En total se tomó nivel en 7,412 m de canales de riego primarios que en condiciones normales deberían beneficiar a poco más del 50% del área sembrada actualmente, en los cuales se observó cómo fallas del sistema de conducción la irregular pendiente longitudinal, inestabilidad y erosión de taludes así como sedimentación y vegetación abundante que en consecuencia trajo para el cultivo estrés hídrico.

#### 6.4. BALANCE HIDRICO

El contenido de humedad está estrechamente relacionado con la proporción que exista entre los macro y micro poros, ya que por medio de estos se produce el flujo de agua y aire. Los microporos son los responsables de la retención de agua y los macroporos son los encargados del flujo del aire y del movimiento gravitacional del agua (drenaje). Se considera una condición ideal una relación proporcional entre estos dos.

De acuerdo a las características físicas encontradas en el estudio de suelos, se realizó el respectivo balance hídrico para cada tipo de suelo y en las condiciones climáticas de la zona en forma básica interrelacionando la evapotranspiración del cultivo y la capacidad de almacenamiento de agua del suelo.

Para las tres unidades de suelo predominantes en la plantación El Castillo, se determinó el contenido de humedad gravimétrica (%) en cada uno de los horizontes hasta los 50 cm de profundidad a saturación (S), a capacidad de campo (CC) y al punto de marchitez permanente (PMP) con el fin de calcular la capacidad de almacenamiento de agua de cada suelo o lámina de agua aprovechable (mm) en los primeros 50 cm del perfil.

Unidad de suelo	Perfil	Profundidad (cm)	Clase textural	Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )	Porosidad %			Humedad gravimétrica %		
					macro	micro	total	S	CC	PMP
CASTILLO	PA-5	0-27	Ac	1.54	12.8	26.6	39.4	54.2	36.57	26.93
		27-50	Ac	1.42	19.6	24.7	44.3	66.8	37.29	25.82
TIERRA NUEVA	PA-4	0-18	F-an	1.6	22.3	14.4	36.8	43.04	16.89	8.7
		18-50	F-ac	1.9	9.7	9.4	19.1	44.08	21.67	15.33
CANTAGALLAL	PA-3	0-17	F-an	1.39		39.11	39.7	20.9	20.63	13.51
		0-50	Ac	1.77	9.88	15.01	24.89	58.31	35.16	23.39

Tabla 5. Textura, valor de S, CC y PMP para cada unidad de suelo. Plantación el Castillo 2014.

*Fuente: Cristian Ramírez Rojas 2014*

La melga tiene una pendiente longitudinal que coincide con la dirección del riego, y una transversal que es nula o muy pequeña (generalmente menor de 0.1%). El objetivo del riego por melgas es aplicar la lámina de riego necesaria, de manera uniforme a lo largo de la melga; esto puede realizarse siempre y cuando las pendientes sean uniformes y además la transversal sea muy pequeña. La dirección del riego se selecciona haciéndola coincidir con la dirección de la máxima pendiente.

##### 6.4.1. INFILTRACIÓN BASICA

Se realizó la prueba de infiltración para cada unidad de suelo en la plantación. El método utilizado para determinar la infiltración básica fue el de los cilindros (externo e interior), los cuales se introducen en el suelo a una profundidad de 10 a 15 cm, verificando que queden firmes y nivelados entre si, estos se llenan con agua al mismo nivel, seguido a esto se procede a tomar lecturas del descenso del nivel de agua en el anillo interior.

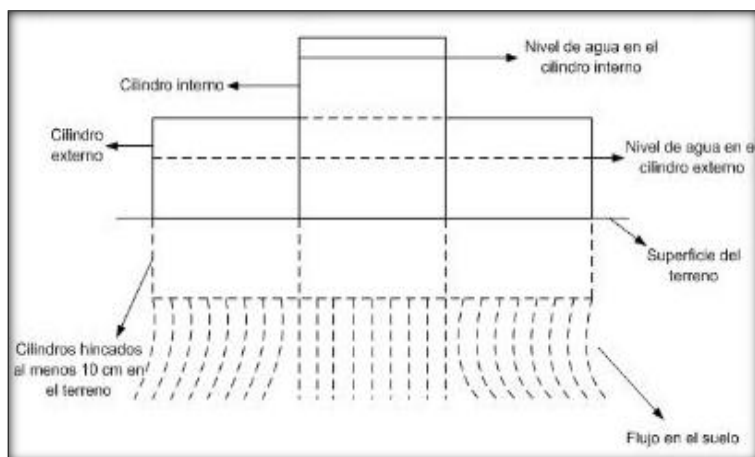


Figura 43. Diagrama de instalación de anillos en campo. Plantación el Castillo 2014

De acuerdo a la clasificación de velocidad de infiltración realizada por la FAO, se tiene en cuenta en las recomendaciones de riego.

Tabla 6. Clasificación de la velocidad de infiltración el castillo. Plantación EL Castillo 2014

Clasificación	I (cm/h)
Muy Lenta	< 0,10
Lenta	0.1- 0.5
Moderadamente Lenta	0.5- 2
Moderada	2- 6.3
Moderadamente Rápida	6.3- 12.7
Rápida	12.7- 25.4
Muy Rápida	> 25,40

Fuente: FAO 2012

A continuación se muestran los datos tomados en campo:

- **Prueba N° 1**
- **Fecha: Mayo-09-2014**
- **Plantación: EL CASTILLO**
- **Unidad de suelo: El Castillo**
- **Textura: Arcilloso**

Tabla 7. Infiltración acumulada y velocidad de infiltración, unidad de suelo el castillo.  
Plantación EL Castillo 2014

Tiempo (min)	Infiltración acumulada (mm)	Agua infiltrada (mm)	Incremento tiempo (min)	Velocidad Infiltración (mm/h)
1	2.7	0	0	0.00
2	3.5	0.8	1	0.80
3	4.5	1	1	1.00
4	5.6	1.1	1	1.10
5	10.6	5	1	5.00
10	14.8	4.2	5	0.84
15	17.8	3	5	0.60
30	22.6	4.8	15	0.32
45	23.9	1.3	15	0.09
60	28.5	4.6	15	0.31
90	38.3	9.8	30	0.33
120	42.6	4.3	30	0.14
150	46.3	3.7	30	0.12
180	48.1	1.8	30	0.06

Fuente: Cristian Ramírez Rojas 2014

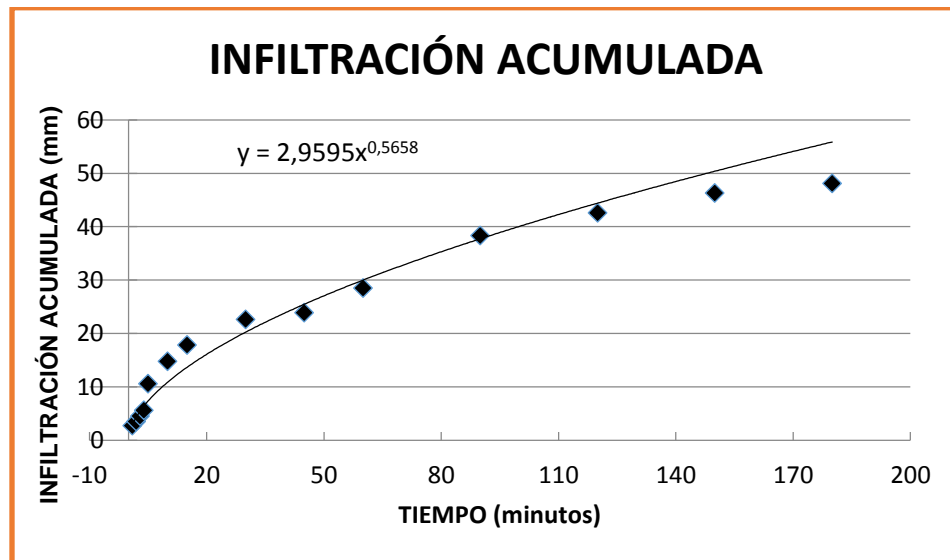


Figura 44. Infiltración acumulada, unidad de suelo el castillo. Plantación EL Castillo 2014

$$I_{cum} (mm) = 2.959 t^{0.566}$$

$$A=2,959$$

$$B = 0,566$$

$$i \left( \frac{mm}{hr} \right) = A * B * 60 * t^{B-1}$$

$$i \left( \frac{mm}{hr} \right) = 2.959 * 0.566 * 60 * t^{0.566-1}$$

$$i \left( \frac{mm}{hr} \right) = 100.487 * t^{-0.434}$$

$$t \text{ (min)} = -600 * (B - 1)$$

$$t \text{ (min)} = -600 * -0.434 = 260.52 \text{ min}$$

$$ib = 100.487 * 260.52^{-0.434}$$

$$ib = 9.64 \frac{mm}{hr} = \mathbf{0.96 \text{ cm/hr}}$$

De acuerdo a la tabla de clasificación de velocidad de infiltración esta unidad tiene **moderadamente lenta** infiltración asociada a condiciones de suelo con texturas arcillosas y posiblemente a cierto grado compactación y que se relaciona con la baja porosidad presentando como resultado sellamiento superficial que impide la infiltración del agua.

- **Prueba N° 2**
- **Fecha: Mayo-09-2014**
- **Plantación: EL CASTILLO**
- **Unidad de suelo: Tierra Nueva**
- **Textura: Franco arenoso**

Tabla 8. Infiltración acumulada y velocidad de infiltración, unidad de suelo Tierra nueva. Plantación El Castillo 2014

Tiempo (min)	Infiltración acumulada (mm)	Agua infiltrada (mm)	Incremento tiempo (min)	Velocidad infiltración (mm/h)
1	4.5	0	0	0.00
2	6.8	2.3	1	2.30
3	8.1	1.3	1	1.30
4	11.6	3.5	1	3.50
5	13.9	2.3	1	2.30
10	20.7	6.8	5	1.36
15	28.3	7.6	5	1.52
30	36.3	8	15	0.53
45	45.1	8.8	15	0.59
60	53.6	8.5	15	0.57
90	70.2	16.6	30	0.55
120	87.2	17	30	0.57
150	104.5	17.3	30	0.58
180	121.9	17.4	30	0.58

Fuente: Cristian Ramírez Rojas 2014

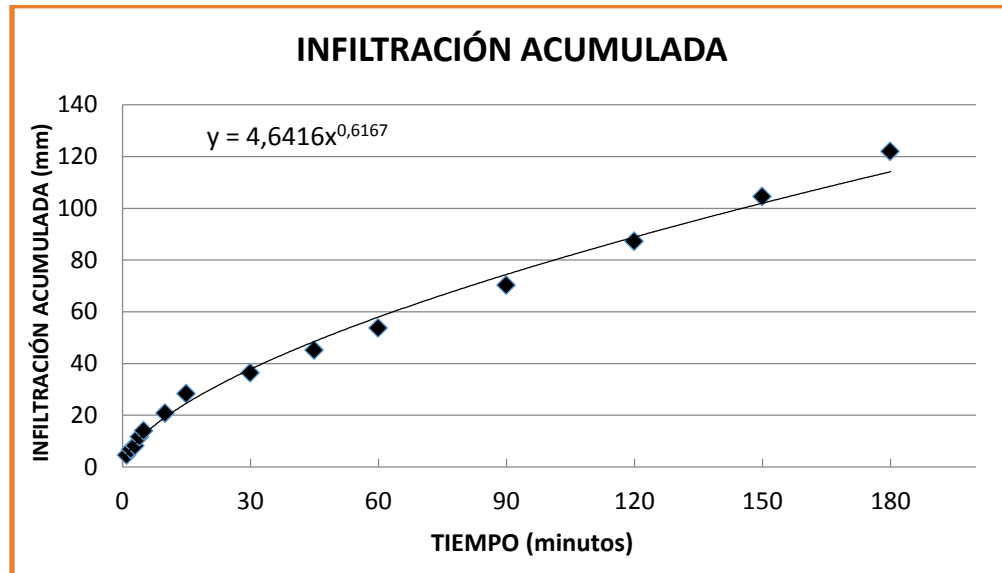


Figura 45. Infiltración acumulada, unidad de suelo Tierra nueva. Plantación EL Castillo 2014

$$I_{cum} (mm) = 4.64 t^{0.616}$$

$$t (\text{min}) = -600 * -0.384 = 230.4 \text{ min}$$

$$ib = 171.5 * 230.4^{-0.384}$$

$$ib = 21.24 \frac{mm}{hr} = 2.12 \text{ cm/hr}$$

De acuerdo a la tabla de clasificación de velocidad de infiltración esta unidad tiene **moderada** infiltración, la cual se ajusta a su textura franco arenoso con características que favorecen la absorción del agua pero que pueden afectar el desarrollo de raíces.

- Prueba N° 3
- Fecha: Mayo-10-2014
- Plantación: EL CASTILLO
- Unidad de suelo: Cantagallal
- Textura: Franco arenoso

Tabla 9. Infiltración acumulada y velocidad de infiltración, unidad de suelo Cantagallal.  
Plantación EL Castillo 2014

Tiempo (min)	Infiltración acumulada (mm)	Agua infiltrada (mm)	Incremento tiempo (min)	Velocidad infiltración (mm/h)
1	4.3	0	0	0.00
2	7.1	2.8	1	2.80
3	8.5	1.4	1	1.40
4	11.3	2.8	1	2.80
5	15.1	3.8	5	0.76
10	22.3	7.2	5	1.44
15	29.1	6.8	15	0.45
30	39.4	10.3	15	0.69
45	50.4	11	15	0.73
60	61.8	11.4	30	0.38
90	79.3	17.5	30	0.58
120	97.6	18.3	30	0.61
150	115.8	18.2	30	0.61
180	134.1	18.3	30	0.61

Fuente: Cristian Ramírez Rojas 2014

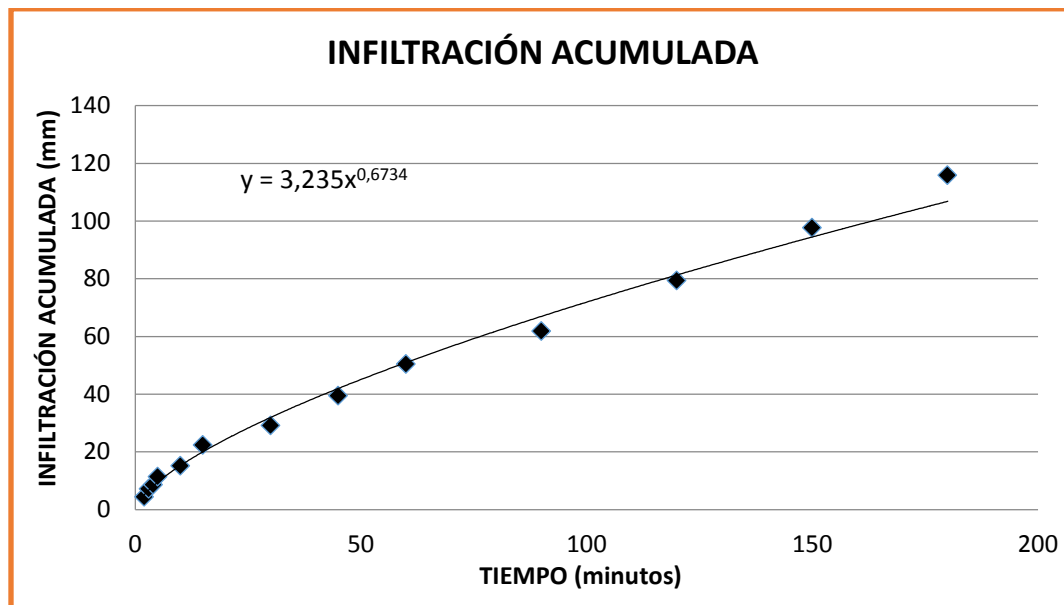


Figura 46. Infiltración acumulada, unidad de suelo Cantagallal. Plantación EL Castillo 2014

$$I_{cum} (mm) = 3.23 t^{0.673}$$

$$A=3.23$$

$$B = 0.673$$

$$i \left( \frac{mm}{hr} \right) = 130.43 * t^{-0.327}$$

$$t \text{ (min)} = -600 * -0.327 = 196.2 \text{ min}$$

$$ib = 130.43 * 196.2^{-0.327}$$

$$ib = 23.2 \frac{mm}{hr} = 2.32 \text{ cm/hr}$$

De acuerdo a la tabla de clasificación de velocidad de infiltración esta unidad tiene **moderada** infiltración asociada a suelos con texturas francas y características que favorecen la rápida absorción del agua, a pesar de esta se presenta un contraste arcilloso que puede afectar el desarrollo de raíces.

#### 6.4.2. LAMINA NETA DE RIEGO

Seguido a esto se procedió al cálculo de la lámina de agua aprovechable en el suelo la cual es la humedad comprendida entre la capacidad de campo y punto de marchitez permanente. No es recomendable dejar agotar toda la lámina aprovechable, entonces antes de que esto ocurra, el suelo debe regarse para llegar nuevamente a capacidad de campo; a esta humedad se le conoce como Lámina de Agua Rápidamente Aprovechable (LARA) o lámina neta que para el cultivo de palma de aceite con frecuencia se le ha calculado con el 75% de la lámina Aprovechable.

La profundidad del suelo a humedecer es 50 cm, zona en la que se desarrollan la mayoría de las raíces absorbentes de la palma. De esta forma la lámina de agua aprovechable es:

$$LAA = \frac{(CC - PM) \times \rho_a \times Pr}{\rho_w} * 10$$

$$LAA = \text{mm}$$

Dónde:

- LAA: Lámina de agua aprovechable (cm)
- CC: Capacidad de campo del suelo en términos de fracción
- PM: Punto de marchitez permanente del suelo en términos de fracción
- $\rho_a$ : Densidad aparente del suelo ( $gr/cm^3$ )
- Pr: Profundidad horizonte. (cm)
- $\rho_w$ : Densidad del agua ( $gr/cm^3$ )

#### - Unidad de suelo CASTILLO

$$LAA: \frac{((36.57 - 26.93) / 100) * 1.54 (gr/cm^3) * 27 \text{ cm}}{1 (gr/cm^3)} * 10$$

$$LAA: 40.08 \text{ mm (horizonte 0-27 cm)}$$



$$LAA: \frac{((37.29-25.82)/100)*1.42 (gr/cm^3)*23 cm}{1 (gr/cm^3)} *10$$

LAA: 37.46 mm (horizonte 27-50 cm)

Tabla 10. Lámina de agua aprovechable y rápidamente aprovechable para cada unidad de

Unidad cartográfica	Perfil	Espesor (cm)	Densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> )	Contenido de humedad %		Humedad aprovechable %	lámina (mm) LAA	Lamina Apro. *(50 cm prof.) LAA	Lámina neta (mm) LARA
				CC	PMP				
Consociación Castillo CAai	PA-5	0-27	1.54	36.57	26.93	9.6	40.08	77.54	58.16
		27-50	1.42	37.29	25.82	11.5	37.46		
Consociación Tierra Nueva Tnai	PA-4	0-18	1.60	16.89	8.7	8.2	23.59	62.13	46.60
		18-50	1.90	21.67	15.33	6.3	38.55		
Consociación Cantagallal CNa	PA-3	0-17	1.39	20.63	13.51	7.1	16.82	85.57	64.18
		17-50	1.77	35.16	23.39	11.8	68.75		

suelo. Plantación el Castillo 2014

Fuente: Cristian Ramírez Rojas 2014

\* Se refiere a la profundidad efectiva radicular de la palma, en la cual se encuentra la mayoría de raíces absorbentes de agua.

#### 6.4.3. LAMINA BRUTA DE RIEGO

La lámina bruta, es la cantidad de agua que debe aplicarse en cada evento de riego al suelo superficialmente de manera que se pueda asegurar una penetración suficiente de agua que permita retener en la zona radicular la lámina neta (Ln).

En ninguno sistema de riego se logra un 100% de eficiencia en la aplicación de agua y que no toda el agua que penetra, es retenida en la zona radicular del cultivo, como pérdidas de agua inherentes en el riego están la desuniformidad en la aplicación de agua en el campo, por la percolación más abajo de la zona radicular y por el escurrimiento superficial.

Para garantizar que la lámina de agua necesaria en la zona de raíces es retenida se hace necesario aplicar una mayor cantidad de agua al terreno, con el fin de contrarrestar las pérdidas. Esta cantidad de agua se obtiene a través de la siguiente ecuación:

$$LB = \frac{LN}{Ea}$$

La lámina bruta de riego depende de la eficiencia de aplicación del sistema. Como en la plantación se tiene riego superficial, generalmente en la literatura y ensayos realizados se maneja una eficiencia de aplicación no mayor al 50%, la cual es a la que se quiere llegar con la realización del balance hídrico.

#### - Unidad de suelo CASTILLO

$$LB = \frac{LN}{Ea} = \frac{58.16 mm}{0.5}$$

$$LB = 116.3 \text{ mm}$$

#### 6.4.4. FRECUENCIA DE RIEGO

De acuerdo con los datos obtenidos de evaporación de las estaciones consultadas se toma como evaporación media de 5 mm/día correspondiente al año de 1989 el cual registro una evaporación de 1824.5. mm. El coeficiente de consumo del cultivo para la palma de aceite se toma como 1, que corresponde al periodo de mayor consumo y desarrollo.

De esta manera se procede a calcular la frecuencia de riego para cada unidad se suelo la cual se refiere a cada cuanto se debe suministrar agua al cultivo para mantener la humedad en el suelo entre la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente y así evitar el estrés hídrico en la planta en condiciones de cero precipitaciones.

La frecuencia es la relación entre la lámina neta y el uso consumo (UC) el cual depende de la evaporación de la zona y la etapa de desarrollo del cultivo.

$$FR = \frac{LN}{UC} = \frac{LARA}{ETp * Kc}$$

Donde:

FR: frecuencia de riego en días

LN: lamina neta de riego (mm). (Lamina aprovechable de agua sin llegar al agotamiento del suelo)

UC: uso consumo del cultivo

ETp: evapotranspiración del cultivo

Kc: coeficiente de desarrollo

#### - Unidad de suelo CASTILLO

$$FR = \frac{58.16 \text{ mm}}{5 \left( \frac{\text{mm}}{\text{día}} \right) * 1}$$

$$FR = 11.6 = 12 \text{ días}$$

#### 6.4.5. MODULO DE RIEGO

Cuando se habla de módulo de riego se refiere al caudal que se debe aplicar por unidad de área a la plantación para satisfacer la lámina neta requerida en la zona de raíces y que sea asimilada por la planta en el tiempo de riego asumido.

Para el cálculo de este módulo se toma como unidad de área una hectárea y como jornada de operación se toma 12 horas por día.

El módulo de riego se obtiene entonces con la siguiente ecuación:

$$MR = \frac{A \times LB \times K}{Fr \times Jr}$$

Dónde:

- A:** Área de riego (Ha)
- LB:** Lamina bruta de riego expresada en centímetros
- K:** Factor de conversión a litros por segundo (K = 27.78)
- Fr:** Frecuencia de riego (días)
- Jr:** La jornada de riego se establece de 12 horas

- **Unidad de suelo CASTILLO**

$$MR = \frac{1ha \times 15.5 cm \times 27.78}{11.6 dias \times 12horas}$$

$$MR = 2.3 LPS \times Ha$$

De esta manera se tiene el balance hídrico para cada unidad de suelo, con una jornada de operación de 12 horas.

Unidad cartográfica	Profundidad a humedecer (cm)	lamina neta (50 cm) LAA	lámina total (mm) LARA	Lamina bruta (mm) LB	Volumen por Ha (m <sup>3</sup> /Ha)	Frecuencia riego (días)	Jornada operación (horas)	Módulo de riego (lps/Ha)
Consociación Castillo CAai	50	77.54	58.16	116.3	1163	12	12	2.3
Consociación Tierra Nueva Tnai	50	62.13	46.60	93.2	932	9	12	2.3
Consociación Cantagallal CNa	50	85.57	64.18	128.4	1284	13	12	2.3

Tabla 11. Frecuencia y módulo de riego. Plantación el Castillo 2014

*Fuente: Cristian Ramírez Rojas 2014*

- **Área de melgas por hectárea del lote:**

Para este cálculo se toma como unidad de medida 1 hectárea, la cual con la densidad de siembra tenida que es 9x9 m en tres bolillos, posee un total de 143 palmas. El ancho de la melga se define por el diámetro foliar de la planta el cual es 2 m para este caso, es decir que por cada palma sembrada se tiene 18 m<sup>2</sup> de melga.

De acuerdo a esto el área total de melgas por hectárea de lote es 2574 m<sup>2</sup>, de ahí puedo encontrar el área de melgas según el tamaño del lote. Como el tiempo de operación se toma de

12 horas, el caudal por lote es el producto del volumen a aplicar (m<sup>3</sup>) y el tiempo de aplicación de riego (horas).

Lote	Unidad de suelo	Área lote (Has)	Área Melgas (Has)	Volumen requerido (m <sup>3</sup> )	Caudal (m <sup>3</sup> /seg)	Caudal (lps)	Zona de riego
1	Castillo	18.3	4.7	5466	0.127	127	1
2	Castillo	11.8	3	3524	0.082	82	1
3	Castillo	7.9	2.	2349	0.054	54	1
4	castillo	5.6	1.4	1675	0.039	39	1
5	Castillo	12.7	3.3	3803	0.088	88	2
6	Castillo	5.7	1.5	1710	0.040	40	2
7	Castillo	7.5	1.9	2233	0.052	52	2
8	Castillo	21.5	5.5	6431	0.149	149	2
9	Cantagallal	14	3.6	4635	0.107	107	2
10	Tierra nueva	26.2	6.7	8378	0.194	194	2
11	Cantagallal	24.9	6.4	8218	0.190	190	2
12	Cantagallal	20.6	5.3	6805	0.158	158	2
13	Cantagallal	12.8	3.3	4237	0.098	98	2
14	Castillo	5.1	1.3	1524	0.035	35	2
15	Cantagallal	5.1	1.3	1695	0.039	39	2

Tabla 12. Caudal a aplicar por jornada de riego para cada lote. Plantación el Castillo 2014

*Fuente: Cristian Ramírez Rojas 2014*

De acuerdo a los aforos realizados, la plantación cuenta con dos captaciones de riego principales que abastecen diferentes áreas, de esta forma se tienen dos zonas de riego:

La primera cuenta con un caudal promedio de 167 l/seg y la segunda de 208 l/seg. Cabe anotar que estos caudales incluyen el tomado por medio del bombeo realizado de un caño el cual en aforos realizados arroja un caudal medio de 167 l/seg, repartiéndose 83.5 /seg para cada zona de riego.

A continuación se muestra la programación mensual de acuerdo al caudal disponible por cada zona de riego y la frecuencia, en condiciones óptimas de conducción y distribución:



Tabla 13. Programación de riego por lotes según demanda y oferta de caudal. Plantación el Castillo 2014

DIA LOTE	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30		
1	■												■													■						
2		■												■													■					
3			■												■													■				
4			■												■													■				
5	■												■													■						
6	■												■													■						
7	■												■													■						
8		■												■													■					
9			■												■														■			
10				■									■									■										
11						■																										
12					■																											
13			■												■																	
14		■												■													■					
15					■																											
■	corresponde a la unidad de suelo El castillo, con una frecuencia de riego de 12 días																															
■	corresponde a la unidad de suelo Cantagallal, con una frecuencia de riego de 13 días																															
■	corresponde a la unidad de suelo Tierra nueva, con una frecuencia de riego de 9 días																															
■	corresponde a la zona de riego 1, Canal El Iguano																															
■	corresponde a la zona de riego 2, Canal Palo alto																															

Fuente: Cristian Ramírez Rojas 2014

## 6.5. EVALUACION DEL SISTEMA DE RIEGO

La plantación utiliza el sistema de riego superficial con captación por gravedad, debido a las condiciones climáticas de la zona. Para la evaluación se observó la infraestructura de conducción y aplicación del agua.

### 6.5.1. ESTRUCTURA DE CAPTACIÓN

La plantación cuenta con dos captaciones de agua por gravedad, aprovechando la disponibilidad del recurso hídrico y los sistemas de riego presentes en otras plantaciones. Las captaciones no cuentan con el diseño estructural e hidráulico de ingeniería ni con las estructuras apropiadas de sedimentación, regulación de caudal y estabilidad para garantizar un suministro constante de agua a los canales de conducción principales.

Tabla 74. Caudal derivado en las captaciones. Plantación el Castillo 2014

Nombre	Latitud	Longitud	Caudal entrada l/seg
CAPTACION EL IGUANO	10°44'17.79"N	74°15'36.63"O	211.3
CAPTACION PALO ALTO	10°41'47.58"N	74°15'23.18"O	197.3

*Fuente: Cristian Ramírez Rojas 2014*



*Figura 47. Captación canal EL IGUANO. Plantación el Castillo 2014*



*Figura 48. Captación canal PALO ALTO. Plantación el Castillo 2014*

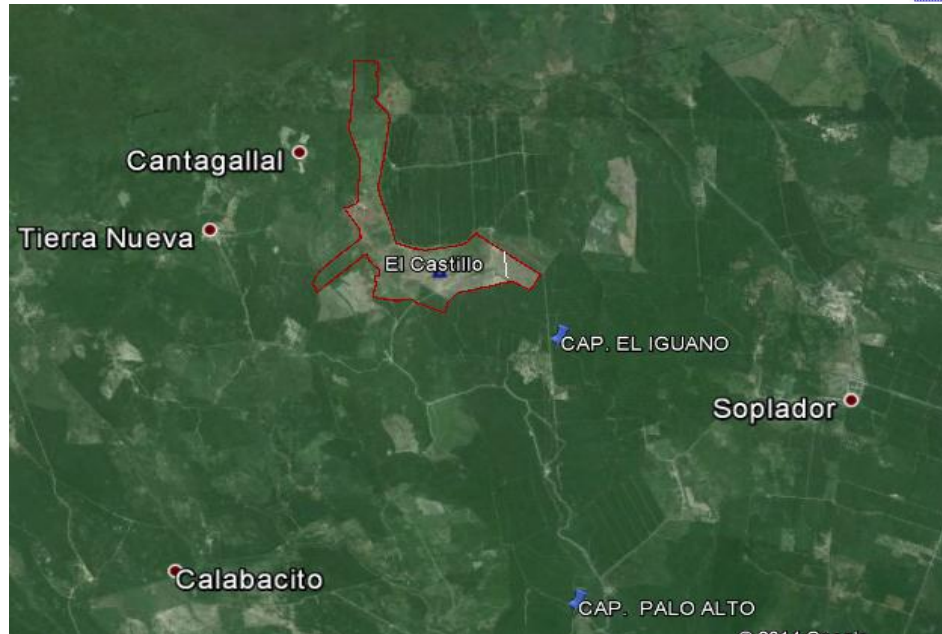


Figura 49. Imagen satelital puntos de captación para riego. Plantación el Castillo 2014

Se cuenta con una estación de bombeo centrífuga sobre el caño El Uvito, que recoge escorrentía de otras plantaciones ya atraviesa la finca.

Características del bombeo:

- Modelo: 145 v.
- Fuente de energía: combustible ACPM
- Potencia: 80 HP
- Velocidad de trabajo (actual): 600 rpm
- Tipo de bomba: centrífuga
- Diámetro de entrada: 12 pulg.
- Diámetro de salida: 8 pulg.

Tabla 85. Caudal captado estación bombeo caño el Uvito.

Aforo	Fecha	Caudal l/seg	Caudal medio l/seg
1	25-abril-2014	175	167
2	28-agosto-2014	158	

Fuente: Cristian Ramírez Rojas 2014





*Figura 50. Hidrobomba motor ZETOR serie 83002 y cárcamo de succión caño Uvito. Plantación el Castillo 2014*

## 6.5.2. SISTEMA DE CONDUCCION

La conducción del agua se realiza por canales de sección trapezoidal desde la zona de captación hasta la distribución en cada lote del cultivo. El sistema está compuesto por una red de canales principales, primarios y secundarios.

La conducción principal desde las zonas de captación hasta la entrada de la plantación no cuenta con revestimiento ni con estructuras de regulación de caudal que incide en la pérdida de caudal disponible, como se puede observar en la siguiente tabla:

Tabla

Canal	Q captación l/seg	Q llegada l/seg	Variación	Eficiencia %
1 (el iguano)	211.3	84	127.3	40
2 (palo alto)	197.3	124.5	72.8	63

16.

Eficiencia en conducción de canales. Plantación el Castillo 2014

Fuente: Cristian Ramírez Rojas 2014

### 6.5.3. SISTEMA DE APLICACIÓN

El sistema de aplicación es melgas rectas trazadas con pendiente 0, las melgas tienen un ancho de 2 m de variada longitud. Las palmas se encuentran sembradas en tres bolillos 9x9 metros sentido Norte-sur.

El personal de riego no tiene en cuenta ningún balance hídrico correspondiente para cada tipo de suelo, sino que se deja el suelo a saturación (inundación), hasta que el exceso caiga en el canal de drenaje. De acuerdo al caudal disponible en el canal de riego principal y a la resequeidad observada en el lote, se programa el riego, tratando de regar al menos dos veces por mes cada lote en época de verano.

Para la revisión del sistema de aplicación; primero se estableció la zona a regar. Debido a la baja disponibilidad de agua, el canal de riego se tranca para regar secciones del lote, entre 3 o 4 melgas continuas a la vez, de esta manera se realizó el aforo para el riego de un grupo de 3 melgas, en el lote 11 y 2 para determinar el caudal aplicado hasta saturación del suelo.

Tabla 17. Volumen de agua aplicado por hectárea. Plantación el Castillo 2014

zona de riego	canal de riego principal	lote	Tiempo de riego (hr)	área aforada (Ha)	Volumen apli. (m <sup>3</sup> )	Volumen apli. (m <sup>3</sup> /Ha)
1	El Iguano	2	8	0.158	209	1322.8
2	Palo Alto	11	8	0.124	225	1814.5

Fuente: Cristian Ramírez Rojas 2014

### 6.5.4. EFICIENCIA DEL SISTEMA DE RIEGO

La evaluación de la eficiencia del sistema de riego general, es el producto de la eficiencia de la conducción del agua y la eficiencia de la aplicación en el cultivo.

La eficiencia de aplicación se obtiene como la relación entre el volumen necesario a aplicar y el aplicado en un evento de riego típico. La prueba se realizó una para cada zona de riego, la prueba 1 se realizó en suelos de la Consociación Castillo en el lote 2, y la prueba 2 en el lote 11 en suelos de la consociación Cantagallal.

#### - Unidad de suelo castillo (1)

$$\text{Eficiencia aplicación (\%)} = \frac{\text{Volumen a Aplicar}}{\text{Volumen Aplicado}} * 100 = \frac{155 \frac{\text{m}^3}{\text{Ha}}}{1322.8 \frac{\text{m}^3}{\text{Ha}}} * 100 = 11.7 \%$$

- **Unidad de suelo Cantagallal (2)**

$$\text{Eficiencia aplicación (\%)} = \frac{\text{Volumen a Aplicar}}{\text{Volumen Aplicado}} * 100 = \frac{171 \frac{\text{m}^3}{\text{Ha}}}{1814.5 \frac{\text{m}^3}{\text{Ha}}} * 100 = 9.4 \%$$

De esta forma entonces la eficiencia de riego por cada zona:

- **Zona de riego El Iguano (1):**

$$\text{Eficiencia del sistema} = (E. \text{ apli.} * E. \text{ Cond.}) * 100 = (0.117 * 0.4) * 100 = 5 \%$$

- **Zona de riego Palo alto (2):**

$$\text{Eficiencia del sistema} = (E. \text{ apli.} * E. \text{ Cond.}) * 100 = (0.094 * 0.63) * 100 = 6 \%$$

Según lo anterior se observa una muy baja eficiencia del sistema de riego para cada zona de riego, para lo cual es importante replantear y rediseñar el riego en general en el ámbito del uso racional del agua para la agricultura y el cambio climático.

## 7. CONCLUSIONES

- Es necesario aplicar riego superficial desde mediados de noviembre hasta finalizar el mes de agosto, época en la cual la evaporación es mayor que la precipitación aunque se presentan algunas lluvias en abril, mayo y junio que no son suficientes para aumentar la disponibilidad del recurso hídrico en el suelo.
- El módulo de riego obtenido en para el cultivo es de 2.3 l/seg ha, es decir 99,360 litros/ha aplicados en una jornada de riego, el cual está por encima del estimativo de evaporación total en la bibliografía cercano a 70,000 l/seg ha y equivalente a 490 l/palma en una densidad de siembra de 143 palmas por hectárea, mostrándose que en condiciones óptimas de riego aplicando el balance hídrico realizado, se suplen las necesidades hídricas para la palma.
- La eficiencia del sistema de riego total es del 6% aproximadamente, la cual es muy baja comparada con otros sistemas de riego por superficie con eficiencia entre 10-40%. Esto radica en el ineficiente sistema de conducción el cual apenas logra llevar 42% del agua captada y el sistema de aplicación el cual debido al mal estado de las melgas y la alta cobertura vegetal dificulta el avance del agua, por ende se aplican grandes volúmenes de agua al lote que no toda es absorbida por la palma.
- se debe diseñar un sistema de captación que garantice el suministro constante de caudal a los canales y de esta manera evitar el uso de la estación de bombeo con todos los gastos que esta implica.
- Las condiciones de uso de los suelos en épocas anteriores han afectado las propiedades del suelo dificultando la conductividad hidráulica, el intercambio gaseoso y desarrollo de raíces.
- las recomendaciones se hacen de acuerdo a los factores analizados; primero, se muestran las correspondientes al manejo de suelos, luego están las respectivas al sistema a de riego subdivida en sistema de captación, sistema de conducción y sistema de aplicación. estas se deben ejecutar a corto plazo empezando por las mejoras del sistema de conducción y aplicación, luego seguir con las de manejo de suelos y estructuras de captación para manejar de forma eficiente el sistema.

## 8. RECOMENDACIONES

### 8.1. MANEJO DE SUELOS

#### 8.1.1. CONSOCIACIÓN CASTILLO

- Diseñar y construir un sistema de drenaje interno y superficial que permita evacuar el agua de escorrentía, y mantener el alto nivel freático por debajo de los primeros 50 cm del perfil.
- Mejorar la aireación mediante una mecanización en estado semiseco pues por sus propiedades su consistencia en estado seco es dura y en mojado es pegajosa y plástica. Para esto se puede descompactar con subsolador para intervenir los primeros 50 cm de profundidad; y realizar aireación de la capa arable para mejorar el intercambio gaseoso y permeabilidad en zona de raíces.
- Implementar el balance hídrico calculado para los lotes pertenecientes a esta unidad de suelo en el periodo necesario.
- Se debe proteger con coberturas de leguminosas para aminorar el efecto de los cambios extremos en el contenido de humedad y aumentar la materia orgánica.

#### 8.1.2. CONSOCIACION TIERRA NUEVA

- Diseñar sistemas de drenajes superficiales para mover agua de escorrentía no mayor a 30 cms del perfil ya que se puede haber pérdida total del agua del suelo por sus características arenosas
- Airear y descompactar periódicamente el suelo mediante pase de cincel o rastra que no voltee el suelo y solo intervenga los primeros 30 cm del perfil.
- Indispensable el establecimiento de leguminosas de cobertura y la adición de abonos orgánicos (subproductos de la palma) para mejorar M.O del suelo y conservación de la humedad en el suelo.
- Implementar el balance hídrico calculado para los lotes pertenecientes a esta unidad de suelo en el periodo necesario.

#### 8.1.3. CONSOCIACION CANTAGALLAL

- Elaborar drenaje superficial que afecte los primeros 40 cm del perfil que permita movilizar agua de escurrimiento y aminore los encharcamientos.
- Descompactar el suelo en estado semiseco hasta una profundidad de 40 cm con subsolador para facilitar el enraizamiento, la aireación y la permeabilidad del agua en el perfil.
- Mejorar el contenido de materia orgánica y la aireación del suelo mediante el establecimiento de las coberturas de leguminosas y/o la adición de abonos orgánicos (subproductos de la palma).
- Implementar el balance hídrico calculado para los lotes pertenecientes a esta unidad de suelo en el periodo necesario.

### 8.2.1. INFRAESTRUCTURA DE CAPTACIÓN

#### Captación Palo Alto:

- Debido a que esta captación se hace sobre una derivación de un canal de riego de una finca vecina, es necesario diseñar y construir con un caudal de diseño de 300 lps una estructura repartidora de caudal en concreto con su respectiva compuerta que regule el flujo, al igual que en la zona de entrada construir los muros laterales para evitar la erosión del talud y posible filtración del agua.
- Debido a que la toma de agua del canal principal Palo Alto, no posee una estructura de desarenación, es necesario diseñar y construir un desarenador con capacidad de 300 lps, con vertedero de excesos y que facilite el posterior lavado de sedimentos para facilitar el avance del agua en el canal principal.
- Una vez realizado estas estructuras, se debe realizar limpieza de sedimentos y mantenimiento a compuertas al menos una vez al año para un funcionamiento óptimo.

#### Captación EL Iguano:

- La captación del agua de este canal se hace por el represamiento de un canal de drenaje de una finca vecina. Para mejorar la captación es necesario diseñar y construir muros en concreto sobre la sección del canal para represar el agua eficientemente, con una compuerta para excesos en época de invierno.
- Es importante construir una compuerta de control de caudal y un vertedero de cresta delgada en la entrada del canal derivado de esta tranca para regular y garantizar el suministro de agua hacia la plantación. Estas estructuras deben ir empotradas en muros de concreto revestido para evitar erosión y dar la estabilidad estructural.
- El talud del tramo del canal de drenaje represado debe revestirse ya sea en concreto simple, enrocado, suelo cemento u otro material para evitar la filtración, erosión y/o derrumbe de la estructura.
- Una vez realizado estas estructuras, se debe realizar limpieza de sedimentos y mantenimiento a compuertas al menos una vez al año para un funcionamiento óptimo.

#### Captación Bombeo El Uvito:

- Realizar el diseño hidráulico y selección de la unidad de bombeo con el caudal mínimo permitido a utilizar teniendo en cuenta el área a regar, y caudal ecológico mínimo del caño.
- Se recomienda realizar mantenimiento periódico mensual tanto al motor como a la bomba y los demás implementos debido al tiempo de operación de la misma.
- Construir la zona de desarenación con el diseño hidráulico y estructural adecuado para garantizar el tirante de agua y el caudal requerido en el canal de riego.

La recomendación general es viabilizar la posibilidad de instalar pozos profundos para la succión de agua por bombeo aprovechando la cercanía con la ciénaga grande de Santa marta,

con lo que se logra mantener un módulo de riego constante ajustado al balance hídrico, y no depender de aguas de drenaje variables.

#### 8.2.2. SISTEMA DE CONDUCCIÓN

- Es necesario replantear el diseño hidráulico y trazo del sistema de conducción de la plantación. se debe nivelar la pendiente y permitir el flujo constante sin necesariamente deben ser rectos, sino seguir las partes más altas del lote de acuerdo a las curvas de nivel.
- Revestir en concreto o enrocado, el talud de los canales de riego para reducir las pérdidas de energía y caudal.
- Establecer coberturas de leguminosas que conserven la humedad y a la vez den estabilidad al talud.
- Colocar compuertas de lámina metálica y tornillo en las estructuras repartidoras y reguladoras de caudal empotradas en muros de concreto para reducir las filtraciones y perdidas de caudal en estas y controlar el caudal derivado.
- Realizar mantenimiento de canales (recabación y corte de malezas) al menos dos veces por año o antes del inicio de la época de verano y así facilitar el avance del agua
- En el ámbito del cambio climático generalizado y el uso racional del recurso hídrico, es necesario estudiar la viabilidad de la instalación de sistemas de riego presurizado ya que presentan mayor eficiencia de aplicación, fácil operación y sostenibilidad.

#### 8.2.3. SISTEMA DE APLICACIÓN

- Revisar y rediseñar el diseño hidráulico de las melgas, ya que el tiempo de riego y caudal actual utilizado reduce la eficiencia del sistema.
- Minimizar el desplazamiento en labores de manejo del cultivo de maquinaria pesada y especies animales ya que el constante paso de estos dañan las bordas de las melgas facilitando la pérdida de agua a zonas donde no es aprovechable para la palma.
- Una vez al año reparar las melgas con la taipa y tractor (implemento para bordear) antes de iniciar el período de verano.
- Implementar cobertura de leguminosas en las bordas de las melgas para dar estabilidad y conservar humedad del suelo.

## 9. BIBLIOGRAFIA

- Mejia, J. 2000. Consumo de agua por la palma de aceite y efectos del riego sobre la producción de racimos, una revisión de literatura. Cenipalma. Revista Palmas vol. 21 Santa fe de Bogotá D.C. Colombia.
- Bernal, F 2005. el cultivo de la palma de aceite y su beneficio. Guía general para el nuevo palmicultor. Fedepalma. Cenipalma. Bogotá, D.C. Colombia. Junio de 2005.
- Dufrene, E.; et al. 1992.Changes in evapotranspiration from an oil palm stand (*Elaeis guineensis* Jacq.) exposed to seasonal soil water deficits. Acta Oecologica (Francia) v. 13, p.299—314.
- Borrero, C. 2006. CULTIVO DE LA PALMA DE ACEITE (*Elaeis guineensis* Jacq.). revisión de literatura. Cenipalma. Santa fe de Bogotá D.C. Colombia.
- Lascano, R. J., Munevar F. 2000. Criterios técnicos para la selección de sistemas de riego: Aplicación al cultivo de palma de aceite en Colombia. Revista palmas vol. 21 Santa fe de Bogotá D.C. Colombia.
- Garzón, G. E; et al. 2013. Estudio detallado y aptitud para el cultivo de palma de aceite en la plantación el castillo. Inversiones Padornelo s.a. Pueblo viejo –Magdalena.
- Munevar, F. 1998. Problemática de los suelos cultivados con palma de aceite en Colombia. Revista Palmas vol. 19. En: XII Conferencia Internacional sobre Palma de Aceite. "Retos y oportunidades para la Palma de Aceite".3 al 5 de septiembre de 1997. Cartagena de Indias, Colombia. Santa fe de Bogotá D.C. Colombia.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. 2010. Subdirección de Geografía y Cartografía, Grupo Interno de Trabajo Geodesia. Manual De Usuario Magna Sirgas Pro 3. Santa fe de Bogotá D.C. Colombia.
- Jarvis, A., Escobar, D. 2014. Convenio MADR-CIAT: La adaptación al cambio climático, una necesidad para el sector palmicultor. Revista Palmas vol. 35 (4) octubre-diciembre 2014. Santa fe de Bogotá D.C. Colombia.
- Cepal. 2012. Valoración de daños y pérdidas. Ola invernal en Colombia, 2010-2011. Bogotá: Misión BID-cepal.
- Chow, Ven T (2004). Hidráulica de canales abiertos. editorial McGrawHill. impreso por editorial Nomos S.A. en Santa fe de Bogotá D.C. Colombia. 2004.



# ANEXOS





Universidad Surcolombiana

## ANEXO 1: DATOS CLIMATOLÓGICOS IDEAM

ESTACION PALO ALTO

VALORES TOTALES MENSUALES DE PRECIPITACION (mm)												
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1994	0	0	0	30	176	7	137	187	86	104	57	0
1995	0	0	0	110	183	207	225	285	231	198	12	4
1996	0	7	0	114	180	94	108	52	67	344	134	0
1997	0	0	0	17	32	229	0	26	88	88	92	0
1998	0	0	0	32	224	153	24	323	161	211	68	135
1999	0	0	12	43	28	408	46	369	323	364	256	22
2000	0	0	0	16	97	210	134	25	183	188	31	96
2001	0	0	0	0	258	31	42	109	384	190	87	84
2002	0	0	0	46	84	76	85	239	96	310	17	13
2003	0	0	0	37	76	177	79	109	119	341	117	0
2004	0	0	0	25	128	171	57	84	124	272	146	0
2005	0	5	0	35	71	158	110	125	143	282	185	0
2006	0	0	0	84	106	109	44	90	129	316	96	17
2007	0	0	27	207	188	101	78	180	212	519	63	0
2008	0	0	20	28	51	103	100	218	56	126	71	0
2009	0	7	4	63	7	97	70	70	23	27	79	40
2010	0	0	27	102	146	328	362	224	465	281	255	109
2011	0	0	8	11	85	77	205	115	184	412	316	114
2012	0	0	0	89	104	190	31	80	123	318	43	0
2013	0	0	7	18								

VALORES No DIAS MENSUALES DE PRECIPITACION												
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1994	0	0	0	2	6	3	4	6	6	7	6	0
1995	0	0	0	10	5	7	7	13	14	12	1	1
1996	0	1	0	4	7	6	8	4	7	10	6	0
1997	0	1	0	4	3	8	4	4	9	9	4	0
1998	0	0	0	4	8	5	2	7	10	5	5	5
1999	0	0	1	3	3	9	3	13	9	9	9	1
2000	0	0	0	1	4	9	4	1	6	6	3	4
2001	0	0	0	0	8	2	3	4	9	7	5	2
2002	0	0	0	2	4	6	4	3	6	6	2	2
2003	0	0	0	5	4	7	4	7	5	11	3	0
2004	0	0	0	3	7	4	3	5	7	11	6	0
2005	0	1	0	3	6	5	5	9	9	6	7	0
2006	0	0	0	4	5	5	3	6	6	8	7	1
2007	0	0	1	9	10	6	7	10	9	9	3	0
2008	0	0	2	1	5	7	7	11	5	8	4	0
2009	0	1	2	2	2	7	3	7	5	3	6	2
2010	0	0	4	4	6	13	14	10	14	14	12	5
2011	0	0	1	2	9	6	14	9	12	14	12	5
2012	0	0	0	6	6	6	6	9	7	17	4	0
2013	0	0	2	3								



Universidad  
Suroccombiana

ESTACION PADELMA



Nit : 819.001.498-1

VALORES TOTALES MENSUALES DE PRECIPITACION (mm)												
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1994	0	0	0	62	224	21	74	252	122	137	124	0
1995	0	0	0	0	143	129	228	339	198	356	20	9
1996	15	0	39	31	319	97	228	46	96	274	121	0
1997	0	3	0	31	36	179	3	52	136	92	25	0
1998	0	0	4	18	318	124	28	162	338	147	238	76
1999	9	2	8	22	69	414	40	294	167	436	292	53
2000	0	0	0	14	148	221	46	52	211	148	100	100
2001	0	0	25	1	131	43	87	64	254	263	93	31
2002	0	0	13	20	81	74	38	183	104	168	71	14
2003	0	0	0	42	123	273	61	100	266	414	150	51
2004	0	0	0	60	136	106	160	154	94	282	79	0
2005	0	13	0	38	104	120	103	76	178	296	273	8
2006	8	0	4	73	220	126	95	159	116	337	282	12
2007	0	0	9	243	216	118	100	183	258	531	257	0
2008	0	1	14	23	123	172	157	482	98	212	159	2
2009	0	12	5	29	40	178	120	115	87	99	161	20
2010	0	0	79	113	128	327	563	258	206	315	278	303
2011	0	0	9	7	223	140	181	105	158	363	296	89
2012	0	0	0	68	116	132	41	117	161	247	35	0

**VALORES No DIAS MENSUALES DE PRECIPITACION**

<b>Año</b>	<b>Ene</b>	<b>Feb</b>	<b>Mar</b>	<b>Abr</b>	<b>May</b>	<b>Jun</b>	<b>Jul</b>	<b>Ago</b>	<b>Sep</b>	<b>Oct</b>	<b>Nov</b>	<b>Dic</b>
1994	0	0	1	7	13	8	7	9	15	18	11	0
1995	0	0	1	0	12	15	18	22	16	20	6	1
1996	1	0	4	4	12	9	11	15	18	13	9	0
1997	0	1	0	5	3	11	1	4	12	9	5	0
1998	0	0	1	4	12	9	4	11	15	10	10	6
1999	1	1	4	3	9	14	7	20	19	17	10	6
2000	0	0	0	2	12	10	8	10	17	11	8	5
2001	0	0	2	1	10	3	8	8	12	9	9	3
2002	0	0	3	2	10	12	8	9	18	9	4	3
2003	0	0	0	5	10	12	7	9	16	17	10	6
2004	0	0	0	8	10	7	13	8	13	14	7	0
2005	0	1	0	4	11	10	10	10	13	15	10	2
2006	1	0	2	4	13	15	9	9	9	12	9	1
2007	0	0	1	9	12	9	9	12	10	16	4	0
2008	0	1	2	3	7	9	10	14	10	15	14	2
2009		2	2	2	5	8	9	8	3	8	9	1
2010	0	0	6	9	9	15	16	13	17	20	17	9
2011	0	0	2	4	10	8	11	12	13	17	14	8
2012	0	0	0	7	14	10	7	10	13	15	4	0

VALORES MEDIOS MENSUALES DE TEMPERATURA (oC)												
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1994	26.7	27.1	27.4	27.3	27.3	27.7	27.4	26.9	27.1	26.5	26.6	26.7
1995	26.8	27.1	27.9	28.0	27.9	27.7	27.5	26.7	27.7	26.9	27.9	27.9
1996	27.5	28.2	28.2	28.5	27.9	28.3	27.9	27.8	27.6	27.1	27.0	27.3
1997	27.5	27.7	28.3	28.7	29.4	28.3	29.3	29.5	29.1	29.2		28.8
1998	28.9	29.2	29.8	30.0	28.9	28.8	28.6	28.1	27.6	27.4	27.2	26.5
1999	26.6	26.8	27.4	27.8	27.7	26.9	27.8	26.7	26.3	26.4	26.5	26.2
2000	26.2	26.8	27.4	28.0	27.4	27.2	27.3	27.5	26.5	26.4	26.9	26.6
2001	26.3	26.3	27.3	27.9	27.6	27.7	27.4	27.8	27.2	27.5	27.0	27.2
2002	27.1	27.4	27.7	28.0	28.2	27.6	27.8	27.7	27.5	27.7	27.8	27.8
2003	27.5	28.0	27.8	28.1	28.6	27.9	28.0	27.6	27.1	26.9	27.6	27.9
2004	27.8	28.0	28.4	28.2	27.9	28.0	27.6	27.5	27.1	26.7	26.5	27.4
2005	27.7	28.0	29.5	29.4	28.3	28.1	28.4	28.1	27.8	26.9	26.9	27.5
2006	27.8	28.5	28.9	28.5	28.1	28.2	28.8	28.5	28.1	28.0	27.7	28.0
2007	27.6	27.8	28.7	28.3	27.7	28.3	28.1	27.3	27.3	26.5	27.5	27.0
2008	26.9	28.3	28.3	28.3	28.3	28.6	27.8	27.7	28.0	27.3	27.3	27.9
2009		28.8	28.7	29.9	28.8	28.7	29.3	29.1	29.0	28.1	28.2	28.9
2010	28.8	29.1	29.4	29.2	29.3	28.3	28.5	28.3	27.8	27.6	27.3	27.6
2011	28.6	28.9	28.9	29.0	28.5	29.3	28.8	28.6	28.3	28.1	27.8	28.3
2012	28.8	28.5	29.1	28.8	28.4	28.9	28.9	28.5		27.9	28.4	28.9

VALORES MAXIMOS MENSUALES DE TEMPERATURA (oC)												
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1994	34.2	34.8	36.0	35.6	34.2	34.8	35.6	35.2	35.0	35.2	34.4	35.2
1995	35.2	35.0	37.0	37.0	36.0	35.2	36.2	35.0	36.4	34.8	35.4	35.4
1996	35.6	36.0	36.0	35.4	35.4	36.0	36.0	35.4	36.0	35.2	35.2	36.0
1997	35.4	36.2	37.0	37.4	37.4	37.2	38.0	38.2	38.0	39.0	37.4	36.2
1998	35.8	39.6	37.6	37.6	37.0	37.2	37.0	37.2	37.4	35.2	37.2	35.2
1999	35.4	35.6	36.1	36.0	35.4	35.8	36.2	35.2	35.0	33.6	34.0	33.0
2000	35.0	35.0	35.0	35.0	36.0	35.0	35.0	36.0	34.0	36.3	36.2	34.0
2001	35.0	35.0	35.0	36.0	36.0	36.0	36.0	36.0	35.0	35.0	34.2	34.2
2002	35.4	35.2	35.4	36.0	36.2	36.0	36.0	36.0	35.0	35.0	35.2	35.0
2003	34.4	35.0										
2006			36.2									
2008						35.0	34.8	34.8	35.0	36.4	33.8	34.2
2009			36.0	36.2	36.2							35.8
2010	36.6		37.0		37.6	35.4	35.8	35.6	35.2	34.8	33.8	33.4
2011				36.2	36.2	36.0	35.2	35.2	36.0	35.0		37.2
2012	38.4		36.6	36.6	36.2	36.8	35.8	35.8		35.2	36.0	35.6



VALORES MINIMOS MENSUALES DE TEMPERATURA (oC)												
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1994	17.4	18.8	20.0	19.2	18.4	19.0	20.2	19.0	16.2	19.4	20.6	17.2
1995	17.0	19.8	21.0	20.0	20.0	19.0	20.0	17.6	16.0	19.2	19.4	18.0
1996	19.0	20.0	19.4	21.0	21.4	21.0	20.0	20.0	19.8	20.0	18.4	20.0
1997	19.0	18.4	18.4	18.0	22.4	18.0	19.0	17.4	20.4	18.8	19.0	20.6
1998	18.0	18.4	20.0	19.4	20.0	20.0	20.2	19.8	20.2	18.2	19.6	19.0
1999	18.8	18.4	19.8	20.8	21.0	19.8	17.0	20.0	21.0	20.0	20.0	19.4
2000	18.6	19.8	17.6	21.2	21.0	21.6	21.0	20.3	21.0	19.4	19.0	19.0
2001	18.0	18.0	20.0	21.6	22.8	21.0	21.0	21.0	21.8	21.0	21.2	19.8
2002	19.0	19.8	19.2	22.0	22.0	22.0	22.2	21.0	22.0	21.6	21.6	21.0
2003	19.2	20.2	21.0	22.0	22.0	22.0	22.0	21.8	21.2	22.0	22.0	20.0
2004	19.0	19.4	21.8	22.2	21.2	22.3	22.0	21.2	21.2	20.1	20.0	20.0
2005	20.0	20.0	20.0	20.3	22.4	23.0	22.4	22.2	21.8	21.8	21.0	20.0
2006	19.0	20.0	21.0	22.2	22.6	22.0	22.0	22.6	22.2	21.8	21.4	20.0
2007	20.0	20.0	22.0	22.4	22.2	22.0	22.0	22.2	21.8	21.8	20.8	20.0
2008	17.0	19.0	20.4	20.6	22.2	22.0	21.8	21.8	22.0	21.4	21.8	19.6
2009		18.6	20.6	22.4	22.0	22.0	21.8	22.8	21.0	22.0	22.2	21.2
2010	20.0	22.0	20.6	22.8	23.0	22.8	22.4	22.6	22.2	22.6	22.0	22.0
2011	20.0	19.0	20.0	22.6	22.4	21.4	22.0	22.0	20.4	20.4	22.0	21.0
2012	18.6	19.4	20.8	22.6	22.0	23.0	22.0	22.0		22.8	22.0	21.4

VALORES TOTALES MENSUALES DE BRILLO SOLAR (Horas)												
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1994	228	250	186	208	198	164	213	101	193	193	179	247
1995	283	254	222	218	186	179	171	169	183	147	181	145
1996	272	239	189	210	149	212	195	188	135	193	191	237
2000	270	236	204	187	191	195	218	204	135	190	224	227
2001	266	204	193	199	185	206	183	203	166	202	179	207
2002	301	246	239	200	205	210	209	215	176	221	241	275
2003	291	231	187	179	177	145	201	198	165	165	177	223
2004	271	264	240	175	134	154	134	109	101	195	207	260
2005	263	250	217	162	181	185	201	166	189	*	166	*
2006	248	246	216	187	194	188	174		*	178	197	267
2007	278	226	178							*	187	256
2008	277		206		133	177	174	149		*	148	239
2009	*	*	218	223								
2010	236	193	196	166	172	76		37	103	*	119	110
2011	181	217	200	169	144	161	178	182	*	*	144	170
2012	214	218	227	165	171	192	194	169	*	*	192	193
2013	216	*					167					

VALORES MEDIOS MENSUALES DE HUMEDAD RELATIVA (%)												
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1994	79	78	79	78	78	78	78	78	77	79	81	79
1995	78	78	78	79	79	81	82	84	80	81	81	82
1996	81	80	81	80	81	81	80	81	81	84	85	84
1997	85	83	81	80	80	81	81	81	79	79		85
1998	83	83	79	83	83	83	81	82	84	86	86	87
1999	84	83	87	88	87	88	87	89	91	90	90	91
2000	89	88	86	89	89	91	91	90	94		91	90
2001	89	86	85	86	89	89	89	88	89	87	88	88
2002	85	84	84	83	84	85	85	86	86	84	84	
2003	80	78	79	81	82	81	81	82	83	85	83	82
2004	79	78	78	81	83	81	82	82	84	86	87	83
2005	80	80	80	84	82	81	82	82	84	87	88	84
2006	83	80	79	80	86	84	81	84	83	85	85	83
2007	80	80	77	81	85	83	82	83	84		84	
2008	82	77	76	78	80	82	82	81	81	83	84	81
2009		75	76	74	78	79	78	79	79	81	82	79
2010	75	77	78	79	83	83	81	82	83	84	83	82
2011	78	74	75	77	81	80	79	79	80	81	83	81
2012	77	77	75	78	79	79	79	79		82	82	79



Universidad  
Suroccombiana

ESTACION PADELMA



Nit : 819.001.498-1

VALORES TOTALES MENSUALES DE EVAPORACION (mm)												
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1970	119.6	133.3	142.5	138.6	126.6	112.2	138.8	139.7	135.2	119.6	127.9	131.8
1972	117.9	133.1	139.5	135.2	125.2	93.8	143.5	147.5	125.0	126.0	128.0	132.1
1973	149.3	131.5	153.3	175.5	141.9	123.5	132.6	126.3	109.5	94.0	62.9	79.1
1974	104.2	135.7	81.1	77.4	107.3	113.4	40.1	137.2	92.6	70.3	79.7	67.7
1975	107.4	109.2	153.6	170.9	132.8	113.1	91.3	119.5	108.1	115.8	91.1	91.8
1976	119.3	156.7	184.8	134.0	125.8	117.2	149.2	69.8	126.8	100.1	87.5	106.6
1977	109.4	132.5	124.6	118.2	118.4	108.6	119.3	110.9	106.8	100.4	90.6	100.9
1978	85.7	135.9	76.1	79.3	103.8	134.0	101.7	118.5	109.7	93.4	70.1	93.0
1979	117.2	144.3	137.0	139.8	144.2	97.4	120.8	82.5	96.2	92.6	84.0	115.1
1980	105.2	144.3	149.8	153.5	142.0	132.2	136.6	137.8	100.4	118.4	110.1	119.8
1981	140.34	135.30	142.00	114.2	106.3	97.8	116.8	93.8	102.9	95.7	82.6	104.4
1982	98.8	102.8	118.0	104.4	95.8	96.1	88.7	112.7	94.9	105.0	112.7	140.6
1983	155.5	153.0	167.3	168.3	161.0	128.8	131.1	134.5	124.3	121.6	125.0	124.4
1984	154.2	151.9	146.3	137.8	142.2	113.1	130.9	125.0	93.8	121.1	111.7	111.8
1985	143.6	161.6	182.8	187.2	138.0	151.2	133.5	131.4	104.8	107.0	118.5	117.7
1986	149.6	149.5	167.1	132.0	130.7	130.3	138.2	132.3	128.9	123.6	128.6	134.9
1987	128.2	124.9	153.7	138.0	128.1	145.9	130.3	129.3	118.6	133.0	116.6	129.1
1988	143.0	159.3	155.4	161.6	152.6	103.3	118.0	119.3	135.1	126.5	118.9	132.8
1989	157.5	156.6	188.5	197.6	161.7	150.2	159.3	144.6	127.8	117.6	138.1	125.0
1990	166.9	147.0	186.1	175.3	154.5	142.2	141.4	157.1	141.4	104.7	114.9	114.5
1991	152.6	155.5	186.2	180.4	152.8	134.9	150.5	143.5	138.8	135.5	121.2	126.7
1992	151.6	170.0	180.4	159.3	153.0	120.7	133.5	129.1	122.4	127.3	118.5	124.1

VALORES TOTALES MENSUALES DE EVAPORACION (mm)												
Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1993	146.1	153.7	178.8	174.1	123.9	135.8	142.4	153.3	121.8	137.2	126.1	141.4
1994	140.3	157.1	171.6	164.9	155.8	141.6	136.7	130.4	125.0	131.8	137.9	130.2
1995	137.8	148.5	158.3	153.0	163.0	120.9	125.7	121.0	149.0	105.7	83.0	118.2
1996	153.4	163.1	164.6	172.7	128.7	160.5	145.9	131.3	100.1	136.0	110.9	118.7
1997	134.9	129.1	169.8	168.3	131.8	102.0	144.0	138.5	125.4	136.0	110.9	118.7
1998	118.3	120.5	152.3	168.3	120.6	132.9	145.0	155.1	126.8	136.0	130.1	125.9
1999	147.6	146.0	179.0	175.5	146.7	142.4	150.2	106.2	123.8	131.3	110.0	104.0
2000	143.2	158.6	182.0	172.5	139.0	143.7	142.7	99.3	116.0	134.3	97.7	123.6
2001	130.6	138.0	166.0	157.0	156.0	146.7	147.5	149.9	137.2	142.4	105.7	121.3
2004	134.9	140.8	169.8	168.3	110.0	122.8	131.8	122.5	120.7	82.1	102.6	120.8
2005	141.0	115.3	155.5	119.7	133.8	108.6	122.8	125.3	120.5	92.6	84.8	128.8



## ANEXO 2: PLANOS



CONVENCIONES	
CANALES DE RIEGO PRINCIPAL	—
CANALES DE RIEGO PRIMARIO	—
CANALES DE DRENAJE PRIMARIO	—
CAÑO NATURAL DRENAJE	—
MELGAS	—
ORIENTACION DE LAS PALMAS	—
LIMITE PREDIO	—
CARRERA VEREDAL	—



Empresa:  
**INVERSIONES PADORNELO S.A.**

Plantación:  
**FINCA EL CASTILLO**

Administrador Plantación:  
**RAFAEL PERTUZ MARTINEZ**

Diseño :  
**CRISTIAN RAMIREZ ROJAS**

Revisó:  
**RAFAEL PERTUZ MARTINEZ**

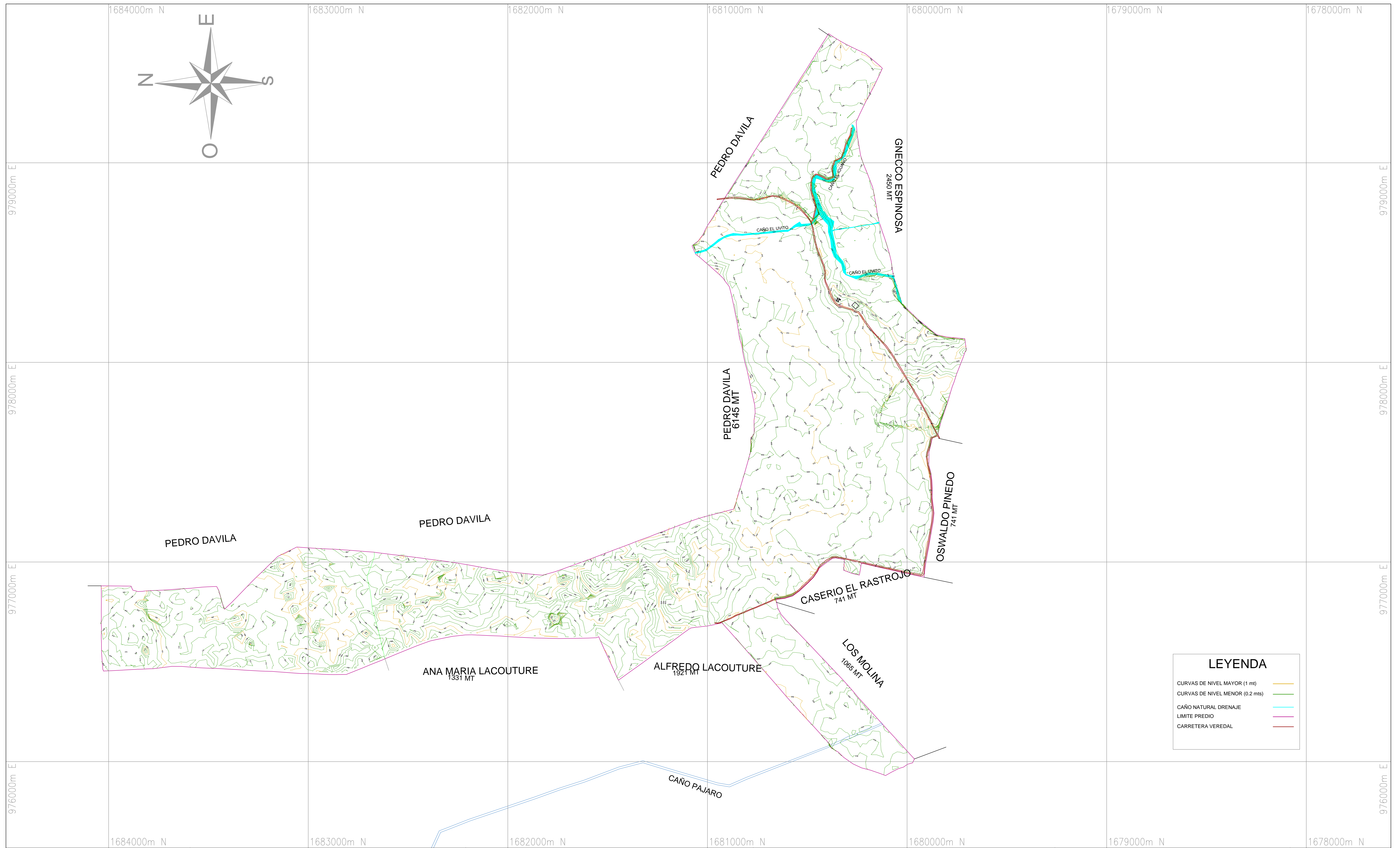
Contiene:  
**levantamiento planialtimétrico  
plantación de palma de aceite El castillo**

Fecha:  
**Marzo-07- 2014**

Ubicación:  
**Tierra nueva- Mpio Pueblo viejo,  
Dpto Magdalena**


Escala:  
**1:7500**

Plano No:  
**1/1**



**LEYENDA**

- CURVAS DE NIVEL MAYOR (1 mt) —
- CURVAS DE NIVEL MENOR (0.2 mts) —
- CAÑO NATURAL DRENAJE —
- LIMITE PREDIO —
- CARRETERA VEREDAL —

	Empresa: <b>INVERSIONES PADORNELO S.A.</b>	Administrador Plantación: <b>RAFAEL PERTUZ MARTINEZ</b>	Revisó: <b>RAFAEL PERTUZ MARTINEZ</b>	Fecha: <b>Marzo-07- 2014</b>	Escala: <b>1:7500</b>
	Plantación: <b>FINCA EL CASTILLO</b>	Diseño : <b>CRISTIAN RAMIREZ ROJAS</b>	Contiene: <b>levantamiento planialtimétrico plantación de palma de aceite El castillo</b>	Ubicación: <b>Tierra nueva- Mpio Pueblo viejo, Dpto Magdalena</b>	Plano No: <b>1/1</b>