

**Diseño de una alternativa de optimización del sistema de riego de cultivos de palma de  
aceite en la Finca “Canta Claro” del municipio de Becerril, Cesar**

Rosa Camila Vargas Ortiz

Luisa María Hernández Beltrán

**Universidad popular del cesar**

**Facultad de Ingeniería y Tecnológicas**

**Programa de Ingeniería Ambiental & Sanitaria**

**Valledupar / Cesar**

**2022**



**Diseño de una alternativa de optimización del sistema de riego de cultivos de palma de  
aceite en la Finca “Canta Claro” del municipio de Becerril, Cesar**

**Proyecto de trabajo de grado para optar el título de Ingeniero Ambiental y Sanitario**

**Autoras:**

Rosa Camila Vargas Ortiz

Luisa María Hernández Beltrán

**Director:**

Adriana Carolina Royero Ibarra

Ms. SISTEMAS DE GESTIÓN

**Universidad popular del cesar**

**Facultad de Ingeniería y Tecnológicas**

**Programa de Ingeniería Ambiental & Sanitaria**

**Valledupar / Cesar**

**2022**

## Tabla de contenido

	Pág.
Resumen.....	10
Abstract .....	11
1. Introducción .....	12
2. Planteamiento del problema.....	14
2.1. Descripción del problema .....	14
2.2. Sistematización del problema .....	15
2.3. Formulación del problema .....	16
3. Justificación .....	17
4. Objetivos.....	19
4.1. Objetivo general.....	19
4.2. Objetivos específicos .....	19
5. Marco referencial .....	20
5.1. Antecedentes de la investigación .....	20
5.2. Marco teórico .....	24
5.2.1. Riego .....	24
5.2.2. Sistema De Riego .....	24
5.2.3. Palma De Aceite.....	25
5.2.4. Requerimientos De Agua De Los Cultivos De Palma De Aceite .....	25
5.2.5. Riego De Superficie .....	26
5.3. Marco conceptual.....	27
5.4. Marco contextual .....	29
5.4.1. Área De Estudio .....	31
5.5. Marco legal .....	32

6.	Marco metodológico .....	35
6.1.	Línea de investigación .....	35
6.2.	Tipo de investigación.....	35
6.3.	Nivel de investigación.....	35
6.4.	Población de estudio .....	36
6.5.	Muestra poblacional.....	36
6.6.	Desarrollo metodológico.....	37
6.6.1.	Fase 1. Realizar Diagnóstico De Las Condiciones Ambientales Del Uso De La Fuente Hídrica De Suministro, El Abastecimiento Y Sistema De Riego De La Finca “Canta Claro” En El Municipio De Becerril, Cesar .....	37
6.6.2.	Fase 2. Formular un modelo alternativo de sistema de riego de plantaciones de Palma de Aceite para el uso ahorrativo y eficiente del recurso hídrico de la Finca “Canta Claro” en el Municipio de Becerril, Cesar.....	39
6.6.3.	Fase 3. Determinar La Alternativa Más Sostenible En Cuanto Al Uso Ahorrativo Y Eficiente Del Recurso Para El Sistema De Riego Del Cultivo De Palma En La Finca “Canta Claro” En El Municipio De Becerril, Cesar .....	41
7.	Resultados y análisis.....	42
7.1.	Realización del diagnóstico de las condiciones ambientales del uso de la fuente hídrica de suministro, el abastecimiento y sistema de riego de la Finca “Canta Claro” en el municipio de Becerril, Cesar.....	42
7.1.1.	Revisión Bibliográfica Y Descripción Del Sistema De Riego.....	42
7.1.2.	Análisis Hidrológico De Las Fuentes Hídrica.....	85
7.1.3.	Obtención De Caudales Con El Método Manning y SCS.....	100
7.1.4.	Balance Hídrico.....	134
7.2.	Formulación de un modelo alternativo de sistema de riego de plantaciones de palma de aceite para el uso ahorrativo y eficiente del recurso hídrico de la finca “canta claro” en el municipio de becerril, cesar .....	139

7.2.1. Determinación De La Necesidad Neta Y Bruta Del Cultivo. ....	139
7.2.2. Planteamiento De Estrategias De Acuerdo Con La Necesidad De Riego Del Cultivo Y La Eficiencia De La Técnica. ....	142
7.3. Determinar la alternativa más sostenible en cuanto al uso ahorrativo y eficiente del recurso para el sistema de riego del cultivo de palma en la Finca “Canta Claro” en el municipio de Becerril, Cesar. ....	148
7.3.1. Comparación De Las Alternativas Para El Sistema De Riego Del Cultivo De Palma De Aceite. ....	148
7.3.2. Proposición De Alternativas De Uso Eficiente y Ahorrativo Del Agua 153	
8. CONCLUSIONES .....	160
9. RECOMENDACIONES .....	163
10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	164
ANEXOS .....	168



## Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1 Normativa Ambiental aplicable al contexto de la investigación. ....	32
Tabla 2. Descripción y registro fotográfico del área de estudio .....	48
Tabla 3. Descripción de las unidades de parcelación y red de riego interna .....	61
Tabla 4. Evaluación de los criterios de Planeación del Cultivo, Instalaciones, Equipos, Utensilios y Herramientas.....	66
Tabla 5. Evaluación de los criterios de Manejo del Agua y Manejo del Cultivo .....	68
Tabla 6. Evaluación de los criterios de Protección del Cultivo .....	70
Tabla 7. Evaluación de los criterios de Cosecha.....	73
Tabla 8. Evaluación de los criterios de Documentación, Registros y Trazabilidad ....	75
Tabla 9. Evaluación de los criterios de Salud, Seguridad y Bienestar del Trabajador	77
Tabla 10. Evaluación de los criterios de Protección Ambiental. ....	78
Tabla 11. Información General de Precipitación de las Estaciones Meteorológicas ...	86
Tabla 12. Tipo de Información Meteorológica de las Estaciones obtenidas .....	87
Tabla 13. Datos Faltantes detectados por cada serie de precipitación mensual analizada .....	89
Tabla 14. Matriz de correlación de distancias entre estaciones meteorológicas.....	92
Tabla 15. Matriz de correlación de altitud entre estaciones meteorológicas .....	93
Tabla 16. Análisis de las condiciones de correlación. ....	95
Tabla 17. Precipitación Anual Acumulada de las Estaciones Meteorológicas .....	97
Tabla 18. Valores Máximos de Precipitaciones Anuales de las Estaciones Meteorológicas.....	101
Tabla 19. Sumatoria y Media de los Valores Máximos de Precipitación.....	103
Tabla 20. Desviación media de los Valores Máximos de Precipitación.....	104
Tabla 21. Variables Probabilísticas de Gumbel de los Valores Máximos de Precipitación .....	106
Tabla 22. Precipitaciones Probabilísticas de Gumbel Estación HDA Centenario .....	107
Tabla 23. Precipitaciones Probabilísticas de Gumbel Estación Socomba .....	108
Tabla 24. Precipitaciones Probabilísticas de Gumbel Estación La Jagua.....	109

Tabla 25. Precipitaciones Probabilísticas de Gumbel Estación La Loma .....	109
Tabla 26. Precipitaciones Probabilísticas de Gumbel Estación Guaymaral .....	110
Tabla 27. Corrección de Intervalo Fijo de las Estaciones Meteorológicas.....	111
Tabla 28. Coeficientes de Distribución de Lluvias .....	112
Tabla 29. Áreas de las Estaciones Referentes.....	114
Tabla 30. Precipitación máxima Pd (mm) por tiempos de duración.....	114
Tabla 31. Intensidades de la Lluvia (mm/h) según el periodo de retorno.....	115
Tabla 32. Regresión Potencial para un Periodo de Retorno de 2 años .....	117
Tabla 33. Regresión Potencial para un Periodo de Retorno de 5 años .....	118
Tabla 34. Regresión Potencial para un Periodo de Retorno de 10 años .....	119
Tabla 35. Regresión Potencial para un Periodo de Retorno de 25 años .....	120
Tabla 36. Regresión Potencial para un Periodo de Retorno de 30 años .....	121
Tabla 37. Regresión Potencial para un Periodo de Retorno de 50 años .....	122
Tabla 38. Regresión Potencial para un Periodo de Retorno de 100 años .....	123
Tabla 39. Regresión Potencial para un Periodo de Retorno de 500 años .....	124
Tabla 40. Resumen de la aplicación de las regresiones potenciales .....	125
Tabla 41. Regresión Potencial Integrada .....	126
Tabla 42. Tabla de Intensidad y Tiempo de Duración.....	127
Tabla 43. Flujo Normal determinado mediante las formulaciones de Manning.....	130
Tabla 44. Flujo Máximo determinado mediante las formulaciones de Manning .....	130
Tabla 45. Áreas de producción de escorrentía de flujo Normal y Máximo en los caños .....	132
Tabla 46. Cálculos de los tiempos de concentración, Tiempo Pico y Tiempo Base .	132
Tabla 47. Estrategia del sistema de riego por goteo. ....	142
Tabla 48. Estrategias del sistema de riego por aspersión.....	142
Tabla 49. Estrategia del sistema de riego por microaspersión.....	143
Tabla 50. Estrategia del sistema de riego por superficie o gravedad.....	144
Tabla 51. Estrategia del sistema de riego localizado. ....	145
Tabla 52. Estrategia del sistema de riego por inundación. ....	146
Tabla 53. Comparativo de los sistema de riegos.....	148
Tabla 54. Continuación del comparativo de los sistema de riegos.....	150

## Lista de figuras

	Pág.
Figura 1 División Político-administrativa del departamento del Cesar .....	30
Figura 2 Zona Urbana del Municipio de Becerril, departamento del Cesar .....	31
Figura 3 Parcelas de las Plantaciones que serán parte para el diseño de la alternativa del sistema de riego.....	36
Figura 4. Representación geográfica de la derivación del caño El Zorro .....	43
Figura 5. Representación geográfica del Nacimiento del Caño Zanjón .....	44
Figura 6. Extensión Territorial de los caños El Zorro (Maraquitas) y Tupula (Zanjón) .....	46
Figura 7. Sección o segmento denominado Caño Zorro II .....	47
Figura 8. Palma Africana de la finca Canta Claro .....	56
Figura 9. Seccionamiento de red de riego como control del flujo locativo mediante Válvulas .....	57
Figura 10. Representación de la irrigación en horas específicas .....	58
Figura 11. Área de Siembra de Palma Africana y componentes del sistema de riego .....	59
Figura 12. Calificación de la Planeación del Cultivo, Instalaciones, Equipos, Utensilios y Herramientas .....	79
Figura 13. Calificación del Manejo del Agua y Manejo del Cultivo.....	80
Figura 14. Calificación de la Protección del Cultivo .....	81
Figura 15. Calificación de los Criterios de Cosecha.....	82
Figura 16. Calificación de los Criterios de Documentos, Registros y Trazabilidad....	83
Figura 17. Calificación de los criterios de Salud, Seguridad y bienestar del trabajador .....	84
Figura 18. Calificación de los Criterios de Protección Ambiental. ....	84
Figura 19. Localización de las Estaciones Meteorológicas de Interés.....	85
Figura 20. Contabilidad de la información meteorológica contenida en las estaciones .....	88
Figura 21. Contabilidad de los datos faltantes para cada estación meteorológica.....	91

Figura 22. Comportamiento de las precipitaciones acumuladas de las estaciones meteorológicas .....	99
Figura 23. Análisis de Curva de Masa con inconsistencias .....	100
Figura 24. Intercepto y puntos medios de las estaciones meteorológicas.....	113
Figura 25. Definición de las áreas de influencia de las estaciones meteorológicas...	113
Figura 26. Curvas IDF del área de influencia del cultivo de Palma de Aceite .....	128
Figura 27. Caudales normales ( $Q_n$ ) y máximos ( $Q_{max}$ ) de los caños Tupula y El Zorro .....	131
Figura 28. Cuenca del caño Tupula y Distrito El Zorro .....	133



## Resumen

Cualquier cultivo depende en gran medida del sistema de riego que se tenga implementada ya que de esto depende su crecimiento, por tal motivo es indispensable proporcionarle agua en la cantidad necesaria y frecuencia. Este estudio tuvo como objetivo diseñar una alternativa de optimización del sistema de riego de los cultivos de Palma de Aceite de la Finca “Canta Claro” del Municipio de Becerril, Cesar. La metodología fue cualitativa y descriptiva, la muestra correspondió a 48 Ha que conforman la finca la cual tiene un cultivo de palma que para la muestra del estudio fue dividido en 13 cuadrantes, cada uno de 1 Ha. En cuanto a los resultados del diagnóstico de las condiciones ambientales de las fuentes hídricas el Caño El Zorro tiene una extensión lineal de 16,6 km, caudal máximo de 1,18 m<sup>3</sup>/hr y normal de 0,01 m<sup>3</sup>/hr, mientras que el caño el Tupula tiene extensión lineal de 27,8 kilómetros, caudal máximo 8,36 m<sup>3</sup>/h y normal de 1,10 m<sup>3</sup>/h. Además, el área de cultivo equivale 10,7 hectáreas y se dividen en 13 zonas (posee una plantación de 755 Palmas de Aceite), el sistema de riego de la finca Canta Claro, depende de un sistema de bombeo fotovoltaico a través de pozo profundo, la extensión de la red tiene un aproximado de 2.400 metros de tubería de Polivinilo de Cloruro (PVC) cuyo diámetro nominal es de 1 pulgada. La necesidad Neta del cultivo de palma es de 16,80 m<sup>3</sup>/día y la Necesidad bruta del cultivo es 6,22 mm/mes. Se plantearon estrategias para cada uno de los sistema de riego y se realizó una comparación de estos desde el punto de vista económica, técnico y ambiental. Finalmente se formularon estrategias de buenas prácticas agrícolas con la cual se puede lograr la sostenibilidad ambiental de las plantaciones.

Palabras clave: Cultivo de Palma; Sistema de riego; Optimización de Agua.

### **Abstract**

Any crop depends to a large extent on the irrigation system that has been implemented since its growth depends on this, for this reason it is essential to provide water in the necessary quantity and frequency. The objective of this study was to design an optimization alternative for the irrigation system of the Oil Palm crops of the "Canta Claro" Farm in the Municipality of Becerril, Cesar. The methodology was qualitative and descriptive, the sample corresponded to 48 Ha that make up the farm which has a palm crop that for the study sample was divided into 13 quadrants, each one of 1 Ha. As for the results of the diagnosis of the environmental conditions of the water sources the Caño El Zorro has a linear extension of 16.6 km, a maximum flow of 1.18 m<sup>3</sup>/hr and a normal flow of 0.01 m<sup>3</sup>/hr, while the Caño El Tupula has a linear extension of 27.8 kilometers, maximum flow 8.36 m<sup>3</sup>/h and normal flow of 1.10 m<sup>3</sup>/h. In addition, the cultivation area is equivalent to 10.7 hectares and is divided into 13 zones (it has a plantation of 755 Oil Palms), the irrigation system of the Canta Claro farm depends on a photovoltaic pumping system through a well Deep, the extension of the network has approximately 2,400 meters of Polyvinyl Chloride (PVC) pipe with a nominal diameter of 1 inch. The Net need of the palm crop is 16.80 m<sup>3</sup>/day and the Gross Need of the crop is 6.22 mm/month. Strategies were proposed for each of the irrigation systems and a comparison of these was made from the economic, technical and environmental point of view. Finally, good agricultural strategies were formulated with which the environmental sustainability of practical plantations can be achieved.

**Keywords:** Palm cultivation; Irrigation system; Water Optimization.

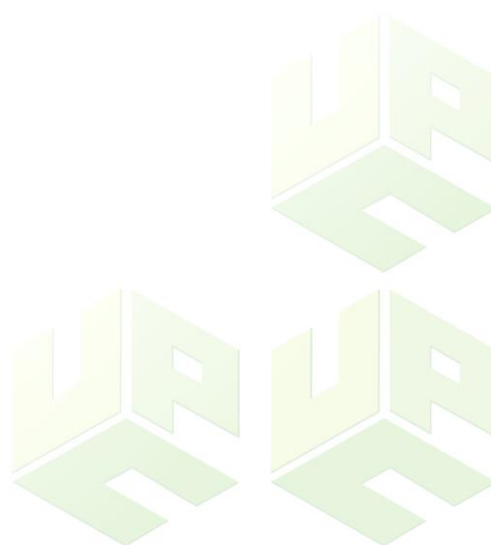
## **1. Introducción**

El agua es esencial para un gran número de procesos fisiológicos que tienen lugar dentro de la planta, y el mantenimiento de un abastecimiento sin restricción de agua requiere vigilancia constante para prevenir el riego exagerado y anegamiento. Tres procesos explican el movimiento de agua, infiltración, percolación y escorrentía. Desde el punto de vista práctico, el agua útil para la planta es la que se filtra alrededor del sistema radicular y depende del tipo de suelo (Sánchez, 2020).

Colombia se caracteriza por tener dos estaciones, una lluviosa y una seca. En la época seca se presenta un déficit hídrico que puede prolongarse por varios meses. Durante estos días las plantas pueden disminuir su producción por la falta de agua, esto representa importantes pérdidas para la empresa, que se dedica a explotar cultivo de palmas. Además, existen zonas que por sus condiciones topográficas es difícil conducir el agua para el riego de los cultivos, por lo que, en estos terrenos no se ha diseñado un método de riego que conduzca el agua durante la estación seca. Estas son áreas que se caracterizan por tener pendientes fuertes y de baja productividad, en la compañía se le conocen como lomas (Sánchez, 2020).

Teniendo en cuenta esta situación, el presente estudio se desarrolla en el municipio de Becerril, Cesar específicamente en la finca Canta Claro en donde una de sus actividades económicas destacadas es la siembra de palma de aceite, sin embargo para este territorio en los meses de enero a abril se presentan pocas precipitaciones por lo cual se utiliza el riego para proporciona agua a la planta, debido a esta situación se pretende realizar este estudio que busca en primer lugar realizar un diagnóstico de las necesidades neta y bruta de los cultivos de palmas y proponer un diseño de optimización hídrica por medio de un sistema de riego superficial.

Finalmente, con la aplicación del tipo de investigación y alcance descriptivo se desarrolló el siguiente estudio, que incluyó la recolección de información de campo, por medio de la observación directa y de información técnica recopilada, dentro de esto se pudo evidenciar que existen grandes falencias en la red meteorológica de monitoreo del IDEAM y por lo tanto la información arrojada presenta muchos vacíos,



## **2. Planteamiento del problema**

### **2.1. Descripción del problema**

Se estima que cerca del 70% del agua dulce del planeta tierra, se utiliza en la agricultura y se espera que para el año 2030 este porcentaje aumente un 14%, lo cual muestra una idea del consumo de agua en la agronomía; además, este panorama plantea un problema de desabastecimiento y escases de agua para el año 2050, ya que la población aumentará y con ella la demanda de alimentos, por lo que el sector agrícola se verá en la necesidad de producir un 60% más (CROPLIFELA, 2018).

Desde los años cincuenta y sesenta la agroindustria de palma de aceite en Colombia ha propuesto un sistema administrativo general, sin embargo, no se ha integrado los conceptos de medio ambiente y actividad palmera desde la perspectiva de la gestión ambiental (Enriquez Bernal, 2009). Los cultivos de palma están siendo relacionados con problemas sociales y ambientales causados básicamente por el entorno en que se desarrolla tanto el cultivo como el procesamiento de la palma, resaltando entre ellos una serie de impactos a los ecosistemas como lo son: la disminución del rendimiento hídrico, modificación de la estructura y composición de los suelos, la alteración de la abundancia y riqueza de la flora y fauna (Torres Cuellar & Peña Carrillo, 2015) entre otros.

En cifras, Colombia es el cuarto productor de aceite de palma en el mundo y el primer productor en América (datos actualizados al primer semestre del año 2016), y participa con 1.4% del volumen mundial (Ortiz Mora, 2019). A nivel, el Cesar es el segundo departamento de Colombia, con mayor área sembrada de palma africana, representado por 100.000 hectáreas de plantaciones, de estas 78.000 están en plena producción en 18 de los 25 municipios (FEDEPALMA, 2021).

## **2.2. Sistematización del problema**

La actividad de Palmicultor se destaca en la zona norte del departamento del Cesar representada por Valledupar, San Diego, Codazzi, Becerril y La Jagua de Ibirico; la zona noroccidente con Bosconia y Copey; el centro con Tamalameque y Curumani; y sur con San Martín y San Alberto (Diario del Cesar, 2019).

Cerca del 90% del área sembrada con palma de aceite en la Zona Norte colombiana posee métodos de aplicación de sistema de riegos complementarios (Álvarez, Posada, Mosquera Montoya, García, & Ardila, 2007) para hacer frente al déficit hídrico por los requerimientos de las plantaciones, y ante la ausencia de la planificación ambiental se afectan notablemente las fuentes de agua superficial para suministro, problemática que es notable sobre todo en temporadas de sequía, cuando no se alcanzan a suplir las necesidades básicas para la vida en zonas rurales, por primar el crecimiento de la economía basada en la agricultura de la Palma de Aceite.

Con el presente estudio se trae a consideración el caso de la Finca “Canta Claro”, localizada en jurisdicción del municipio de Becerril, en donde para el año 2017 había sembradas 2.300 hectáreas de palma de aceite (FEDEPALMA, 2021) de las cuales 48 hectáreas hacen parte de la mencionada finca, la cual se abastece de los caños El Zorro y Tupula, que son parte de la cuenca del río Maracas, cuenca que presenta bajos niveles en los cauces de su tributarios por la sobre explotación del agua para riego de cultivos, minería y consumo.

Es de agregar que las plantaciones de Palma de Aceite en etapa de crecimiento requieren 1300 milímetros / año de agua y que plantaciones en etapa madura requieren entre 300 a 350 milímetros / año de agua (NAAN DAN JAIN, 2019) por lo que sistemas de riegos como el de la finca “Canta Claro” que no fueron previamente planificados de manera técnica, contribuyen

a las problemáticas ambientales por no contar con procesos enfocados para el desarrollo sostenible, sino que priman el eje de la economía ante la sociedad y el ambiente.

Las problemáticas ambientales que se aprecian por los cultivos de Palmas en la Finca “Canta Claro” son ecosistémicos distinguibles asociados con el cambio de régimen hídrico por el volumen de agua requerido para la manutención y existencia de las especies, por lo que es posible que se creen zonas inundables que alteran la calidad del suelo, por otra parte las extensiones de área para este tipo de cultivo sumado a su fácil adaptación hacen permisible el aumento de la frontera agrícola y consigo la desaparición de ecosistemas boscosos ricos en variedad de bienes y servicios ambientales, resaltando de ellos la pérdida del hábitat de especies y la producción de alimento vegetal.

### **2.3. Formulación del problema**

Ante la problemática expuesta surge la siguiente pregunta de investigación: ¿Qué diseño de alternativa favorece la optimización del sistema de riego de los cultivos de Palma de Aceite de la Finca “Canta Claro”, del municipio de Becerril, ¿Cesar?



### **3. Justificación**

Las consecuencias del cambio climático y las acciones antrópicas obligan que las plantaciones sean estratégicamente pensadas y optimizadas para el uso eficiente y ahorrativo del recurso hídrico y así mitigar impactos ambientales y sociales (Santacruz, Rosero, Sierra y Cristancho, 2020), por ello la presente investigación propone gestionar alternativas para mejorar el sistema de riego de la finca “Canta claro” en Becerril.

El riego cumple un papel relevante en los cultivos de Palma, porque es el encargado de suministrarle al suelo el agua necesaria para atender el déficit hídrico en la plantación, ayudando a aminorar el stress asociado a las condiciones climáticas y antrópicas que enfrenta, logrando en parte satisfacer las necesidades de las siembras, sin embargo, esto puede mejorar si se plantea un modelo que permita usar de manera efectiva y ahorrativa el agua, puesto que los cultivos de palma se asocian a grandes requerimientos hídricos pero también a potenciales desperdicios volumétricos del mismo (CRUDOTRANSPARENTE, 2018).

Llevar a cabo esta investigación presenta importancia debido al componente de sostenibilidad que se pretende instalar para poder utilizar de manera conveniente el recurso hídrico, aminorando las pérdidas asociadas, regulando los elementos constituyentes en el sistema de riego y controlando las salidas y excedentes, todo basado en los principios de la economía recircular y la prevención de la contaminación.

El alcance de este estudio contempla el diagnóstico de las condiciones de la fuente hídrica de suministro, las actividades asociadas al sistema de riego de la finca “Canta claro”, las externalidades que tengan capacidad de afectarlo y los egresos que resultan de todo el macro proceso de la gestión hídrica, por lo tanto, se espera que el impacto futuro y de mediano plazo

de la investigación sea el desarrollo consecutivo y extendido de técnicas alternativas para el uso eficiente y ahorrativo del agua en todos los Palmicultores el municipio de Becerril.

Preservar el oro azul es el principal motivo de desarrollo de la investigación, Becerril es un municipio que se ha visto muy afectado por el uso inadecuado del recurso hídrico y aunque en la actualidad se han desarrollado proyectos para mejorar las condiciones ambientales en las cuencas de alta montaña, también es pertinente ejecutar medidas transitorias que permitan enmarcar la sostenibilidad en las actividades palmíferas-económicas como lo es la optimización de los sistemas de riego, lo que permite generar beneficios potenciales y sobre todo en la economía del palmicultor.

Los beneficios potenciales asociados a la posible optimización de los sistemas de riego son la reducción de las tasas retributivas e impuestos ambientales, la disminución del presupuesto para el tratamiento y mantenimiento del sistema de riego, enfoque clarificado y estandarizado de los estudios ambientales, uso adecuado y prolongado de volúmenes de agua acordes a las necesidades de las plantaciones, mejora en la producción, mejora en la mano de obra y de trabajo, mejora de aspectos socioeconómicos, cambios en las políticas regionales, entre muchas otras que pueden surgir desde la gestión apropiada y focalizada.

Es de mencionar, que son pocos los estudios que se han desarrollado para el uso eficiente y ahorrativo del recurso hídrico a partir de la optimización de los sistemas de riego, por ende, se permite afirmar que la presente investigación sería una experiencia nueva para la zona de estudio y que como pionera ayudaría de manera significativa para el desarrollo ambiental y la sostenibilidad en el sector.

## 4. Objetivos

### 4.1. Objetivo general

Diseñar una alternativa de optimización del sistema de riego de los cultivos de Palma de Aceite de la Finca “Canta Claro” del Municipio de Becerril, Cesar.

### 4.2. Objetivos específicos

- Realizar diagnóstico de las condiciones ambientales del uso de la fuente hídrica de suministro, el abastecimiento y sistema de riego de la Finca “Canta Claro” en el Municipio de Becerril, Cesar.
- Formular un modelo alternativo de sistema de riego de plantaciones de Palma de Aceite para el uso ahorrativo y eficiente del recurso hídrico de la Finca “Canta Claro” en el Municipio de Becerril, Cesar.
- Determinar la alternativa más sostenible en cuanto al uso ahorrativo y eficiente del recurso para el sistema de riego del cultivo de palma en la finca “Canta Claro” en el Municipio de Becerril, Cesar.



## **5. Marco referencial**

### **5.1. Antecedentes de la investigación**

Santacruz, Rosero, Sierra y Cristancho (2020) realizaron una investigación titulada “Optimización del riego por superficie para incrementar la productividad del cultivo de palma de aceite en los Llanos Orientales” Guaicaramo SAS en el año 2014 hizo un diagnóstico sobre su sistema de riego obteniendo una eficiencia del 10 %. Para incrementar la eficiencia al 40 % se implementó el riego por melgas rectangulares independizando riego y drenaje. El cultivar de seguimiento fue Coari x La Mé plantado a 128 palmas por ha. Se hizo un levantamiento topográfico, se identificó, evaluó y se rediseñó la infraestructura existente; se hizo un mapa textural de suelos y se calculó el déficit hídrico. El estudio se desarrolló en 824 ha. El área irrigada por melgas rectangulares durante el verano 2016-2017 fue de 425 ha y el restante como testigo con riego tradicional. En el primer año fue posible suplir hasta en un 65 % el déficit hídrico. Los componentes de rendimiento aumentaron un 18 % para siembras 2005, 14 % para siembras 2006 y 46 % para siembras 2008. Las variables de crecimiento mostraron valores adecuados en relación con el área y peso seco foliar, así como el índice de área foliar. Los esfuerzos tendientes al uso eficiente del agua reflejan mejoras importantes en el desarrollo del cultivo y la productividad. El riego por melgas rectangulares es una buena alternativa para el cultivar Coari x La Mé.

García (2019) realizó una investigación titulada estudio para la optimización del recurso hídrico con un sistema automatizado de riego en los pastos de la hacienda san pablo del cantón guano para optar por el título de ingeniero industrial de la Escuela Superior Politécnica De Chimborazo. Para el desarrollo se analizó la eficiencia y consumo de agua previo a la implementación de un sistema automático de riego por aspersión, conformado por actuadores

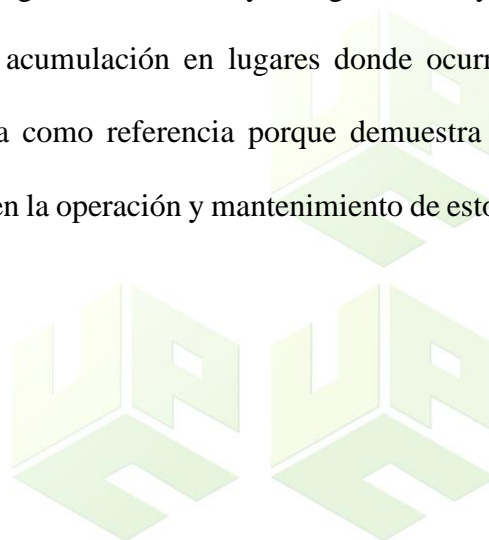
de apertura y cierre controlados por una red de sensores inalámbricos. Para llegar a cada módulo se instaló una antena que incrementa la cobertura de internet, la red de sensores posee un nodo en cada parcela de cultivo que monitorea los niveles de humedad en el suelo y un nodo; cumple la función de estación meteorológica, permite anticipar condiciones climáticas que puedan afectar las actividades agrícolas, los nodos establecen su funcionamiento en una placa ESP8266 que a más de ser un controlador es una antena Wi-Fi que envía y recibe datos mediante el protocolo MQTT a un servidor que los visualiza en tiempo real en una interfaz al propietario, el servidor MQTT es gestionado por un minicomputador Amlogic S905W X96 a nivel local. El riego automático se realiza bajo condiciones de los niveles de humedad del cultivo, que eviten saturación o deshidratación de los cultivos. Las pruebas dieron como resultados: 85% de eficiencia de riego, redujo 19,5 m<sup>3</sup> de consumo diario de agua, al hacer una comparativa con sistemas convencionales comerciales se requiere una inversión inferior en el 2,16%, sumando a que sus resultados se reflejan en la reducción del gasto hídrico en un 18,80%, calidad del cultivo e incremento en la producción del hato lechero; consolidándose en una inversión rentable con un tiempo de recuperación de 6 meses.

Torres y Peña (2015) realizaron una investigación titulada evaluación de la huella hídrica para el cultivo de palma de aceite en la finca Villa Beatriz del municipio de zona bananera, departamento del Magdalena, para optar por el título de ingeniero ambiental y sanitaria de la Universidad de la Salle. Se empleó una metodología de carácter cuantitativo y cualitativo, que se encuentra dividida en tres fases, a continuación, se indica respectivamente en cada una de ellas el procedimiento llevado a cabo de manera general, con el fin de determinar la presión ejercida sobre el recurso, en el consumo y descarga de agua del cultivo de palma de aceite. La fase 1, consiste en el diagnóstico de las etapas más importantes de consumo de agua

del proceso productivo del cultivo de Palma de Aceite, que corresponde a la etapa de mantenimiento de cultivo, más específicamente a las actividades de riego y drenaje y control de plagas, con un total de consumo de agua de 8'196,706.175 m<sup>3</sup>. La fase 2, se ejecuta mediante la determinación de la huella hídrica azul, verde y gris, en donde se obtuvo como resultado 90.24 m<sup>3</sup> Ton, 1.87 m<sup>3</sup> Ton y 5.3 m<sup>3</sup> Ton, en el orden respectivo, del cultivo de palmas de aceite a través del programa de simulación CropWat 8.0, teniendo en cuenta, la base de datos de la estación meteorológica Prado Sevilla, del municipio de Zona Bananera, Departamento del Magdalena. Finalmente, la fase 3, está relacionada con el índice del uso del agua de los componentes de la huella hídrica total (azul, verde y gris), en donde se obtiene como resultado 3.5 %, 0.07 % y 0.20 %, en el orden respectivo, situados en el rango “bajo y muy bajo”, que significa que la presión de la demanda es muy baja con respecto a la oferta disponible.

Álvarez, Posada, Montoya, García y Ardila (2007) realizaron un estudio titulado Eficiencia en el uso del agua en una plantación de palma de aceite. Importancia económica de su optimización. El estudio se desarrolló en la plantación Palmeras de Alamosa, ubicada en el municipio de El Paso (Cesar). Esta plantación posee un área de 965 hectáreas, regadas con aguas del río Calenturitas y con un reservorio que almacena 3.000.000 de m<sup>3</sup> de agua en 120 hectáreas. El proyecto contempló cuantificar la eficiencia del uso del agua en una plantación palmera representativa de la zona, obteniéndose un valor total de 5,8%, representado en una eficiencia de conducción de 35,6% y 16,1% de aplicación. Igualmente, se evaluaron, técnica y económicamente, alternativas de aplicación de riego por superficie y de revestimiento de canales, con el propósito de determinar condiciones de eficiencia potenciales.

Barrios, Arteaga, Florentino y Amaya (2003) realizaron un estudio titulado evaluación de sistemas de sub-irrigación y de aspersión en suelos cultivados con palma aceitera. Se realizaron evaluaciones para determinar el comportamiento de un sistema de sub-irrigación, una modificación del sistema de sub-irrigación y dos sistemas de riego por aspersión en el suministro de agua a la palma aceitera bajo diferentes condiciones de suelo. Las evaluaciones se realizaron en las fincas "Agropecuaria El Zamuro", "Agropecuaria El Águila" y "Agropecuaria Viboral" ubicadas en el municipio Maturín, estado Monagas. Se evaluó la distribución de agua en el sentido longitudinal y a través del perfil del suelo. Se determinó que el sistema de sub-irrigación tiene poca influencia sobre el contenido de humedad en los estratos superficiales debido a limitaciones intrínsecas de los suelos que impiden el movimiento del agua. La introducción de canales terciarios al sistema de sub-irrigación mejora la distribución de agua tanto en el sentido horizontal como en el vertical. Los sistemas de riego por aspersión presentes en las plantaciones comerciales del estado Monagas tienen una eficiencia muy baja, lo cual se atribuye a fallas en el diseño y operación de estos. El sistema de riego con aspersores de tres boquillas aporta mayor cantidad de agua en lugares ubicados cerca de la base de la palma aceitera; mientras que el sistema con aspersores giratorios distribuye el agua con mayor uniformidad en la superficie del suelo, con mayor acumulación en lugares donde ocurrió solapamiento entre aspersores. Este estudio se toma como referencia porque demuestra la deficiencia en las técnicas de riego atribuidas a fallas en la operación y mantenimiento de estos.



## **5.2. Marco teórico**

### **5.2.1. Riego**

Desde el principio de la agricultura, el riego ha sido un proceso fundamental para el crecimiento adecuado del cultivo, es el proceso mediante el cual se incorpora agua al cultivo por medio del suelo para satisfacer las necesidades de la planta, sin espera de la lluvia. Se han desarrollado diversos métodos con el uso de aspersores, acequias, canales, tuberías, tanques, etc. (García, 2019).

### **5.2.2. Sistema De Riego**

De acuerdo con (Lascano, 1998) los sistemas de riego que se utilizan en todo el mundo se pueden dividir en cinco categorías, así:

1. De superficie, en estos el agua fluye a través de la superficie del suelo por gravedad y se infiltra en el suelo mientras el frente de agua avanza o se encharca en la superficie del suelo.
2. Los sistemas de riego por rociador proporcionan agua mediante líneas presurizadas y emiten agua desde los grifos rociadores montados en soportes fijos o móviles.
3. El micro riego distribuye el agua en tubos plásticos y el agua es arrojada mediante sistemas de baja presión e incluyen métodos conocidos como el riego por goteo o por chorro delgado.
4. El sub-riego proporciona agua a los cultivos controlando el nivel de la tabla de agua, de forma que, por la vía del movimiento capilar, el agua pueda elevar y mover hacia la zona de raíces.

5. Los sistemas híbridos son aquellos métodos de riego que combinan dos o más de los cuatro sistemas discutidos antes.

### **5.2.3. Palma De Aceite**

La palma de aceite (*Elaeis guineensis Jacq*) es un importante cultivo de plantaciones en toda la zona tropical húmeda y es una especie importante como fuente de aceite y lípidos. En las zonas tropicales húmedas, en ocasiones la lluvia es inadecuada para proveer las demandas de agua de la palma de aceite. y los déficits de agua del suelo que comúnmente se observan en África Occidental, Suramérica e Indonesia se reconocen como uno de los factores limitantes para la productividad de la palma de aceite (Lascano, 1998).

### **5.2.4. Requerimientos De Agua De Los Cultivos De Palma De Aceite**

La palma aceitera se cultiva usualmente en las áreas tropicales en donde la lluvia es abundante a lo largo de todo el año. En zonas en donde las lluvias no cubren las demandas de agua, la producción puede verse negativamente afectada. En tales casos, el déficit de agua debe ser complementado con riego. La palma aceitera necesita un riego adecuado, dado que es un cultivo de rápido crecimiento con una gran productividad y producción de biomasa. El requerimiento anual de agua está en el rango de los 1300 mm. En el caso de plantaciones maduras, durante el pico de verano, el requerimiento diario puede llegar a unos 300-350 litros/árbol. (NAAN DAN JAIN, S.f).

Asimismo, Mejía (2000) plantea que existe una relación directa del agua con la productividad; en el cultivo de palma de aceite. La demanda hídrica indica que el requerimiento óptimo es de 1,700 a 2,000 milímetros de precipitación año con un promedio de 150 a 200 mm/mes. Es conocido que un déficit hídrico acumulado puede disminuir la producción potencial de manera significativa, algunos estudios precisan una disminución media de 30

kg/ha por cada mm de déficit, un acumulado con déficit de 150 mm en un determinado periodo, corresponde a una media 4.5 Ton-RFF-ha/mes.

### **5.2.5. Riego De Superficie**

El riego de superficie es el más tradicional y económico, puesto que la inversión para llevarlo a cabo consiste básicamente en disponer de una serie de canales que conduzcan el agua a las parcelas y realizar una nivelación cuidadosa para que el agua escurra uniformemente. Al mismo tiempo, el de superficie es, de los tres sistemas, el que consume y desperdicia más agua, de manera que cuando el costo del agua sube puede resultar incosteable (Lesur E., 2006)

El riego de superficie se puede hacer de dos maneras: por inundación y por surcos o corrugaciones.

#### **5.2.5.1. Riego Por Inundación.**

Hay dos tipos de riego por inundación: controlado y no controlado (Lesur E., 2006).

- a) Riego por inundación no controlado El riego por inundación no controlado que todavía se practica, consiste en abrir los costados de las zanjas de riego para que sin control salga una cantidad de agua, que inunde los terrenos adyacentes. Una vez anegadas las tierras, se vuelve a regar los costados de la zanja. Con este sistema las aplicaciones de agua al suelo son muy irregulares y llevan el riesgo de que algunas plantas se ahoguen o que en partes del terreno se formen zonas salinas.
- b) Riego por inundación controlada En el riego por inundación controlada, una cantidad relativamente considerable de agua se distribuye por gravedad sobre la superficie de un terreno formado por varios compartimentos, melgas o charcos rodeados de pequeños diques o bordes. Una vez que el agua cubre una melga, pasa a la siguiente, hasta llenar con una lámina de agua todas las melgas del terreno de cultivo.

### **5.2.5.2. Riego Por Surcos O Corrugaciones.**

Los surcos y las corrugaciones son hendiduras que se hacen en la tierra con el arado y que sirve, entre otras cosas para que el agua de riego corra a través de ellas y se infiltre a la zona de absorción. Al igual que el riego por inundación controlada, en el riego por surcos o corrugaciones es necesario que se realice una muy cuidadosa nivelación del terreno, con una pendiente uniforme a todo lo largo de ellos (Lesur L, 2006). Los surcos son más apropiados para los terrenos sin pendiente o con pendiente que no pase del 3%. Tienen una sección transversal más grande que las corrugaciones y una profundidad que varía de 20 a 30 cm. Los surcos corren en el sentido de la pendiente y se abastecen del agua que escurre por la cabecera, de manera que el líquido se desliza, uniformemente, sin requerir mayor impulso hasta llegar a la zanja que corre al final, donde se recoge el sobrante para llevarlo a niveles más bajos (Lesur L, 2006).

Las corrugaciones, más apropiadas para pendientes mayores, de hasta 8% de inclinación, son ranuras de no más de 15 cm sobre la superficie del terreno, que tienen el propósito de guiar el agua en cultivos poco espaciados, como los cereales, la alfalfa y los pastos (Lesur L, 2006).

### **5.3. Marco conceptual**

**Balance de agua:** es la suma de las entradas y salidas de agua al sistema considerado. Las entradas son la cantidad de agua recibida, como lluvia y riego, y las salidas son las pérdidas de agua del sistema debido a evaporación del agua del suelo (Esuelo), el cultivo de cobertura (Ecobertura) y del cultivo (Epalma) (Lascano & Munevar, 2000).

**Infiltración:** Es el proceso por el cual el agua penetra el suelo en un periodo de tiempo, la infiltración depende de las características del suelo como la densidad, porosidad y textura (León Ruiz, 2012).

**Evaporación:** Este fenómeno se define como la conversión de agua de forma líquida a gaseosa, pasando del suelo al aire por efectos climáticos, como la radiación, temperatura ambiente, viento y humedad. La evaporación está relacionada con la fuerza que presenta el suelo al retener agua conocida como potencial hídrico. (Hernández, 2013)

**Evapotranspiración:** Es un proceso que resulta de la evaporación y transpiración simultáneamente, por la similitud de estos procesos es casi imposible distinguir entre ellos. La evaporación se presenta en las primeras etapas del cultivo, mientras la transpiración es el proceso principal en el desarrollo de la planta (Allen & al., 2006).

**Lamina de riego:** Se define como una determinada cantidad de agua que se debe aplicar al suelo para que satisfaga las necesidades del cultivo; depende del peso específico aparente del suelo, profundidad de las raíces y zona de adsorción. (López, 2011).

**Lamina máxima de riego:** Es la máxima lámina de agua que retiene el suelo para satisfacer las necesidades del cultivo, su capacidad de retención se produce hasta la profundidad de raíces del cultivo. (López, 2011).

**Lámina o dosis netas de agua:** Es la lámina que se utiliza para diseñar un sistema de riego y la humedad fácilmente aprovechable por la planta. (López, 2011).

**Lamina bruta:** En todo método de riego siempre hay pérdidas considerables que se dan desde la derivación del agua hasta el nivel de la parcela, por eso no es recomendable aplicar la lámina neta, sino que hay que aplicar una cantidad mayor a esta y se le conoce como lámina bruta. (López, 2011).

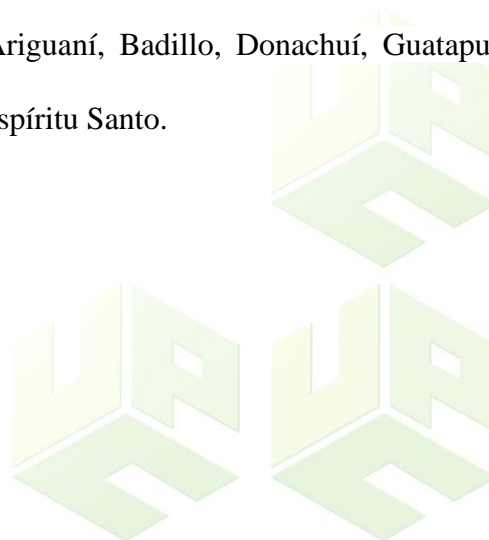
**Transpiración:** Es un proceso fundamental para el crecimiento de una planta, consiste en la eliminación de agua absorbida por las raíces hacia la atmosfera, luego de recorrer el tallo y ocurriendo en las hojas. Al igual que la evaporación depende de la temperatura ambiente, presión de vapor y velocidad del viento (TRAXCO, 2011).

#### **5.4. Marco contextual**

El Departamento del Cesar, es uno de los treinta y dos departamentos que, junto con Bogotá, Distrito Capital, componen el territorio de la República de Colombia. Se localiza en el norte del país, en la llanura del Caribe, siendo el límite por el Este de la Región Caribe. Cuenta con una superficie 22.905 Km<sup>2</sup>, lo que representa el 2.01 % del territorio nacional. Su capital es la ciudad de Valledupar y está dividido política y administrativamente en 25 municipios.

El Cesar limita por el Norte con los departamentos de Magdalena y La Guajira, por el Este con la República de Venezuela y el departamento de Norte de Santander, por el Sur con los departamentos de Norte de Santander y Santander, y por el Oeste con los departamentos de Bolívar y Magdalena.

La hidrografía del departamento se ve representada por Ríos y corrientes menores riegan el territorio departamental del Cesar en diferentes direcciones; entre los principales se pueden mencionar el Magdalena, Cesar, Lebrija, Ariguaní, Badillo, Donachuí, Guatapurí, Manaure, María Angola, Magiriaimo y Cáchira del Espíritu Santo.



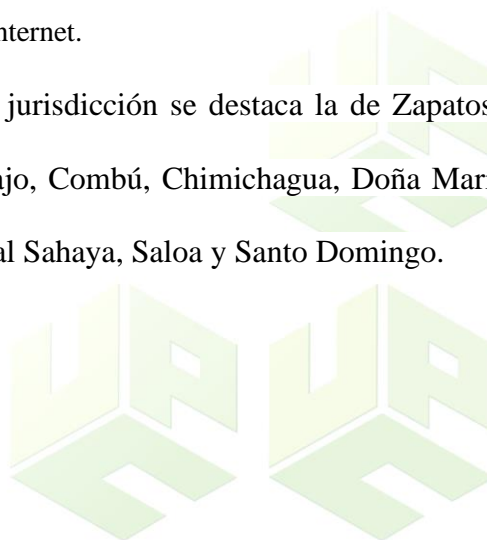
**Figura 1**

*División Político-administrativa del departamento del Cesar*



*Nota:* En esta figura se aprecia el territorio del departamento del Cesar con la jurisdicción para cada uno de los 25 municipios que lo componen. Obtenido de Internet.

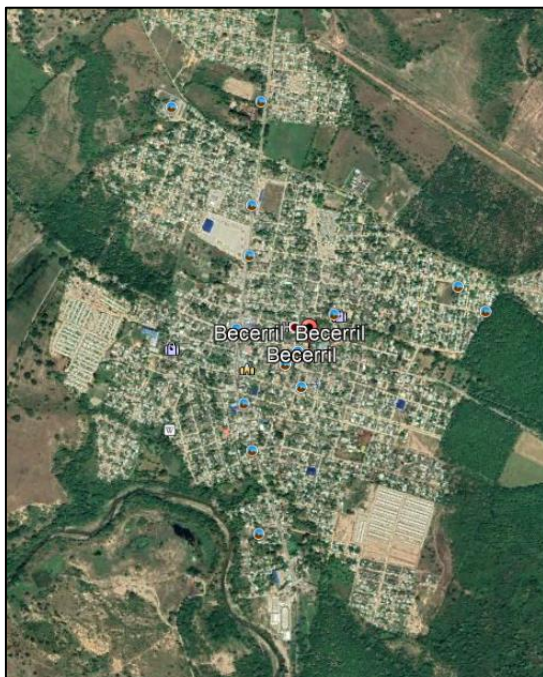
Entre las numerosas ciénagas situadas en su jurisdicción se destaca la de Zapatos, formada por el río Cesar, y otras como las de Cascajo, Combú, Chimichagua, Doña María, Guamalito, Mata de Palma, Morales, Panchuiche, Pital Sahaya, Saloa y Santo Domingo.



### 5.4.1. Área De Estudio

#### Figura 2

*Zona Urbana del Municipio de Becerril, departamento del Cesar*



*Nota:* en esta Figura se aprecia la cabecera municipal del Municipio de Becerril, departamento del Cesar. Captura hecha por las autoras con Google Earth.

**Geografía:** Becerril se encuentra localizado en la zona Noreste del Departamento del Cesar y sus coordenadas extremas son: Latitud Norte, entre  $9^{\circ}53'23''$  y  $9^{\circ}38'38''$ ; Latitud Este - Oeste,  $72^{\circ}56'08''$  y  $73^{\circ}38'34''$ , según Meridiano de Greenwich.

**Habitantes:** Tiene una población de 15 584 habitantes.

**Economía del municipio:** Es principalmente minera con la explotación de carbón de hulla, seguida de la agropecuaria basada en el cultivo de la palma africana, yuca, ñame, plátano, malanga; y en las estribaciones de la serranía de Perijá, café, frijol y aguacate son las actividades productivas desarrolladas por campesinos minifundistas cuyos productos sirven de base alimentaria de la misma comunidad y el excedente para comerciar con las poblaciones

vecinas y la capital. La actividad ganadera también es relevante en Becerril, donde se cría ganado bovino en las haciendas ganaderas para surtir los centros urbanos del país; y en las pequeñas propiedades para consumo interno. También se cría ganado ovino, caprino y porcino en menor escala. Limita con los municipios de Agustín Codazzi, La Jagua de Ibérico y la frontera con Venezuela por la Serranía del Perijá, llamada también la Serranía de los Motilones. Al norte, con el municipio de Agustín Codazzi; al sur, con el municipio de la Jagua de Ibérico; por el este con Venezuela y por el oeste con los municipios de Agustín Codazzi y El Paso (Alcaldía Municipal de Becerril, 2020).

### 5.5. Marco legal

**Tabla 1**

*Normativa Ambiental aplicable al contexto de la investigación.*

<b>Normativa Aplicable</b>	<b>Artículo</b>	<b>Aplicación</b>
Constitución política de Colombia	Artículo 79	Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. La Ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarlo. Es deber del Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines.
	Artículo 80	El Estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación o sustitución. Además, deberá prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental, imponer las sanciones legales y exigir la reparación de los daños causados. Así mismo, cooperará con otras naciones en la protección de los ecosistemas situados en zonas fronterizas

<b>Normativa Aplicable</b>	<b>Artículo</b>	<b>Aplicación</b>
Ley 101 de 1993	Artículo 64	Es deber del Estado promover el acceso progresivo a la propiedad de la tierra de los trabajadores agrarios, en forma individual o asociativa, y a los servicios de educación, salud, vivienda, seguridad social, recreación, crédito, comunicaciones, comercialización de los productos, asistencia técnica y empresarial, con el fin de mejorar el ingreso y calidad de vida de los campesinos.
Ley 99 de 1993.	Artículos 10,11,24	Prevención y control de contaminación de las aguas. Tasas retributivas.
Ley 373 de 1997	Artículos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 11, 15, 16 y 17	Por la cual se establece el programa para el uso eficiente y ahorro del agua, considerando las obligaciones e información que se debe obtener con la generación de datos en la investigación.
Decreto 1594 de 1984	Artículos 22-23,29,37-50,60-71,72-97 Y 142	Ordenamiento del recurso del agua. Uso de agua. Criterios de calidad de agua. Norma de vertimientos.
Decreto ley 2811 de 1974	Art. 34 (b) La investigación científica y técnica se fomentará para: 4. Perfeccionar y desarrollar nuevos métodos para el tratamiento, recolección, depósito, y disposición final de los residuos sólidos, líquidos o gaseosos no susceptibles de nueva utilización	También conocido como código de recurso naturales se toma en cuenta ya que este estudio toma en cuenta el recurso hídrico y dicta lineamiento para su conservación y preservación.
Decreto 1076 del año 2015	Artículo 2.2.1.1.18.1 Protección y aprovechamiento de las aguas. En relación con la conservación, protección y	Siendo así, el decreto citado se enmarca en este estudio porque por medio de la optimización del recurso agua mediante un sistema de riego eficaz permitirá cumplir con la normatividad y los artículos ya mencionados en este decreto.

<b>Normativa Aplicable</b>	<b>Artículo</b>	<b>Aplicación</b>
	<p>aprovechamiento de las aguas, los propietarios de predios están obligados a: Aprovechar las aguas con eficiencia y economía en el lugar y para el objeto previsto en la resolución de concesión No utilizar mayor cantidad de agua que la otorgada en la concesión</p>	
Resolución 1257 del año 2018	Artículos 2 y 3	Programa de uso eficiente y ahorrativo del recurso hídrico
Decreto 1090 de 2018	Artículos 2.2.3.2.1.1.2. y 2.2.3.2.1.1.3.	Por el cual se adiciona el Decreto 1076 de 2015, Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible, en lo relacionado con el Programa para el Uso Eficiente y Ahorro de Agua y se dictan otras disposiciones

*Nota:* las normativas presentadas son una recopilación de información aplicable al contexto de la investigación y se relacionan con la gestión del recurso hídrico y su uso ahorrativo y eficiente. Para mayor consulta visitar la página oficial del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.



## **6. Marco metodológico**

### **6.1. Línea de investigación**

La línea de investigación de soporte del presente estudio corresponde a Sostenibilidad y Gestión Ambiental y la sub línea de investigación correspondiente es Gestión Integral del Recursos Hídrico.

### **6.2. Tipo de investigación**

El tipo de investigación es cualitativa, debido a que el método científico se fundamenta en la subjetividad y observación para la recopilación de información y cuantitativa, porque se fundamenta en la obtención de información a través de herramientas como encuestas, cuestionarios, etc. Y por lo general permite concluir una relación entre dos o más variables dentro de un público objetivo (Torres C., y otros, 2021).

Conforme a esto el estudio se clasifica con alcance Descriptivo, ya que busca que los autores de este proyecto describan situaciones y eventos. En ella se destacan las características o rasgos de la situación, fenómeno u objeto de estudio; y Explicativo, porque el interés se centra en explicar por qué ocurre un fenómeno y en qué condiciones se manifiesta o por qué se relacionan dos o más variables (Sampieri, Fernández C., Baptista L., & Collado., 2014).

### **6.3. Nivel de investigación**

De acuerdo con Hernández (2012), los niveles de investigación correspondientes a los alcances investigativos descritos son de tipo Perceptual porque se concentra en objetivos y tipo de investigación clasificadas como exploratorias y descriptivas; y de tipo Comprensivo, puesto que se concentra en objetivos y tipo de investigación clasificadas como Explicativa, predictiva y propositiva.

#### **6.4. Población de estudio**

La población de una investigación está compuesta por todos los elementos (personas, objetos, organismos, historias clínicas) que participan del fenómeno que fue definido y delimitado en el análisis del problema de investigación (Toledo & Díaz de León, 2018).

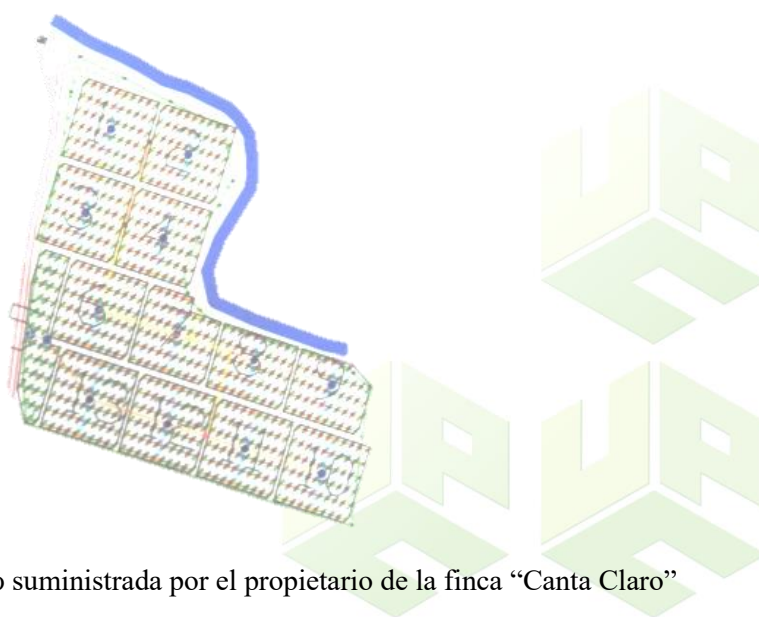
La población está conformada por la extensión de cultivos de palma sembrados en el municipio de Becerril, Cesar. De acuerdo con el informe del Ministerio de Agricultura de las Evaluaciones agropecuarias Municipales (MINAGRICULTURA, 2018) donde se muestran los principales cultivos por Área sembrada actualizados a 2016, en municipio de Becerril, Cesar posee un área sembrada de 4.100 Ha de cultivo de palma y 3.080 Ha cosechadas.

#### **6.5. Muestra poblacional**

La finca Canta Claro, del municipio de Becerril, Cesar tiene una extensión de 48 Ha, la cual tiene un cultivo de palma que para la muestra del estudio fue dividido en 13 cuadrantes, cada uno de 1 Ha.

#### **Figura 3**

*Parcelas de las Plantaciones que serán parte para el diseño de la alternativa del sistema de riego*



*Nota: la imagen de la figura ha sido suministrada por el propietario de la finca “Canta Claro”*

Las fuentes hídricas de abastecimiento corresponden a los caños denominados El Zorro y Tupula, que sirven de suministro a muchas otras fincas aguas abajo.

## **6.6. Desarrollo metodológico**

### **6.6.1. Fase 1. Realizar Diagnóstico De Las Condiciones Ambientales Del Uso De La Fuente Hídrica De Suministro, El Abastecimiento Y Sistema De Riego De La Finca “Canta Claro” En El Municipio De Becerril, Cesar**

#### **6.6.1.1. Actividad I. Revisión Bibliográfica Y Descripción Del Sistema De Riego.**

**Descripción:** se realizó una compilación de información referente a la fuente hídrica y sus condiciones ambientales para comprender a profundidad el contexto de esta, de igual manera se buscó, recopiló y se obtuvo información complementaria relacionada con la operatividad e hidráulica del sistema que ayudó a comprender el estado actual del riego de la finca Canta Claro.

Para conocer las características de las plantaciones y su relación con la fuente hídrica, las investigadoras se dirigieron a la zona de estudio y tomaron mediciones para hacer representaciones gráficas de las mismas y tener información de primera mano de la operatividad y funcionamiento del Sistema de Riego de la finca “Canta Claro”, de igual manera se aplicó formatos de Buenas Prácticas Agrícolas del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA, 2017) para la identificación y valoración de los riesgos asociados a este tipo de plantaciones y el uso intensivo del agua.

#### **6.6.1.2. Actividad II. Análisis Hidrológico De Las Fuentes Hídrica.**

**Descripción:** se recopiló información del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) referente a serie de datos meteorológicos como la precipitación de las estaciones Hacienda Centenario, Socomba, La Jagua de Ibirico, La Loma, y Guaymaral para un lapso referente máximo de 33 años, información que sirvió como sustento para determinar los caudales correspondientes a las fuentes hídricas caños El Zorro y Tupula.

Este análisis hidrológico se compone principalmente de la estimación de datos faltantes, el análisis de consistencia para la identificación y tratamiento de datos atípicos que se presentan en el procedimiento de la estimación.

### **6.6.1.3. Actividad III. Obtención De Caudales Con El Método Manning y SCS.**

**Descripción:** con los datos provenientes se elabora la curva de Intensidad-Duración-Frecuencia y en conjunto con las mediciones de la geometría transversal de los caños se realizará la estimación de los caudales mínimo y máximo de transporte de estos, empleando la formulación de la velocidad de Manning:

$$V = \frac{1}{n} \times R^{\frac{2}{3}} \times S^{\frac{1}{2}}$$

Dónde,

V = Velocidad del canal natural

R = Radio Hidráulico.

S = Pendiente del canal natural.

n = coeficiente de Manning (0,045 para canales con formaciones naturales)

Para luego determinar el caudal, Q, (velocidad por área) y complementando con la metodología del Servicio de Conservación de Suelos (SCS), se estima el tiempo de concentración, tiempo de la punta, tiempo base (tb) y la precipitación neta, esto se hace mediante las siguientes formulaciones:

$$A = \frac{1,8 \times Q \times t_b}{P}$$

Dónde, el tiempo base se calcula así:

$$t_b = 2,67 \times t_p$$

El tiempo punta ( $t_p$ ) se calcula así:

$$t_p = 0,5 \times D + 0,6 t_c$$

El tiempo de concentración ( $t_c$ ), para pequeñas cuencas, se determina con la fórmula de California:

$$t_c = \left( \frac{0,87 \times L}{\nabla M - \nabla m} \right)^{0,385}$$

Dónde,

L = Longitud del cauce principal

$\nabla M$  = Cota Mayor

$\nabla m$  = Cota Menor

La precipitación neta se obtiene multiplicando la intensidad por la duración.

## **6.6.2. Fase 2. Formular un modelo alternativo de sistema de riego de plantaciones de Palma de Aceite para el uso ahorrativo y eficiente del recurso hídrico de la Finca “Canta Claro” en el Municipio de Becerril, Cesar**

### **6.6.2.1. Actividad V. Determinación De La Necesidad Neta Y Bruta Del Cultivo.**

**Descripción:** la necesidad neta del cultivo se calcula conforme a la tasa de evapotranspiración del conjunto suelo-cultivo y la cantidad de lluvia que precipita en la zona. Esta es la cantidad de agua que se requiere para la manutención de las condiciones ambientales que favorecen la planta.

$$N_n = ET - p$$

Dónde,

$N_n$ : Necesidad neta del cultivo (mm)

ET: Evapotranspiración suelo-cultivo (mm)

p: precipitaciones (mm)

La necesidad bruta del cultivo se calcula conforme a la necesidad neta del cultivo respecto a la eficiencia de la aplicación del riego. La formulación matemática es la siguiente:

$$Nb = \frac{Nn}{Ea} \times 100$$

Dónde,

Nb: Necesidad bruta del cultivo (%)

Ea: Eficiencia de aplicación del riego (mm)

#### **6.6.2.2. Actividad VI. Plantear Estrategias De Acuerdo Con La Necesidad De Riego Del Cultivo Y La Eficiencia De La Técnica.**

**Descripción:** Se tendrá en cuenta la eficiencia que presenten estudios previos e instituciones agrícolas sobre la eficiencia de sistemas de riegos (superficie, aspersión, localizado) para la elección y diseño de un sistema de riego que optimice el uso del recurso hídrico, reduciendo las pérdidas y garantizando el aprovechamiento del agua. Las estrategias que se considerarán en el análisis será el riego por inundación, riego canalizado y de estancamiento, riego por aspersor y otros diseños que serán estudiados desde la factibilidad técnica y las condiciones del terreno.



### **6.6.3. Fase 3. Determinar La Alternativa Más Sostenible En Cuanto Al Uso**

#### **Ahorrativo Y Eficiente Del Recurso Para El Sistema De Riego Del Cultivo De Palma En La Finca “Canta Claro” En El Municipio De Becerril, Cesar**

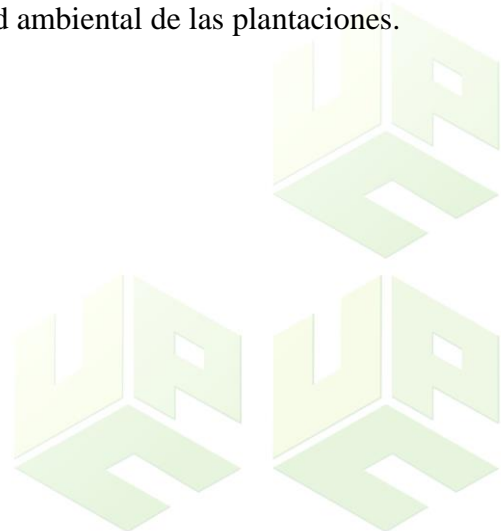
##### **6.6.3.1. Actividad VII. Comparar Las Alternativas Para El Sistema De Riego Del Cultivo De Palma De Aceite.**

**Descripción:** Se establecerá un comparativo de las alternativas teniendo en cuenta los criterios de consumo de agua, adaptación a la forma del terreno, costo de materiales y operatividad, eficiencia de riego, necesidad energética y si representa riesgo de erosión.

##### **6.6.3.2. Actividad VIII. Proponer Alternativas De Uso Eficiente y Ahorrativo Del Agua**

**Descripción:** Se realizará un análisis financiero del costo y el beneficio ambiental en la posible implantación de los Sistemas de Riegos, con la finalidad definir cuál de todos es más factible dentro del término económico y conocer el punto de equilibrio al relacionarlo con los impactos ambientales positivos que generaría conforme a la economía recircular del agua.

Hecho esto se formularán estrategias de buenas prácticas agrícolas para que puedan ser aplicadas con el objeto de trabajar en la sostenibilidad ambiental de las plantaciones.



## **7. Resultados y análisis**

### **7.1. Realización del diagnóstico de las condiciones ambientales del uso de la fuente hídrica de suministro, el abastecimiento y sistema de riego de la Finca “Canta Claro” en el municipio de Becerril, Cesar**

#### **7.1.1. Revisión Bibliográfica Y Descripción Del Sistema De Riego.**

##### **7.1.1.1. Contexto De Las Fuentes Hídricas Locales.**

La primera intención era tener un análisis documental y descriptivo de los caños El Zorro y Tupula, sin embargo, se tiene muy poca información referente, puesto que ambos poseen derivaciones y anexos hídricos que permiten la variación volumétrica de agua importante, así como el estancamiento pasivo de esta. Algunas características importantes que hay que mencionar de los caños:

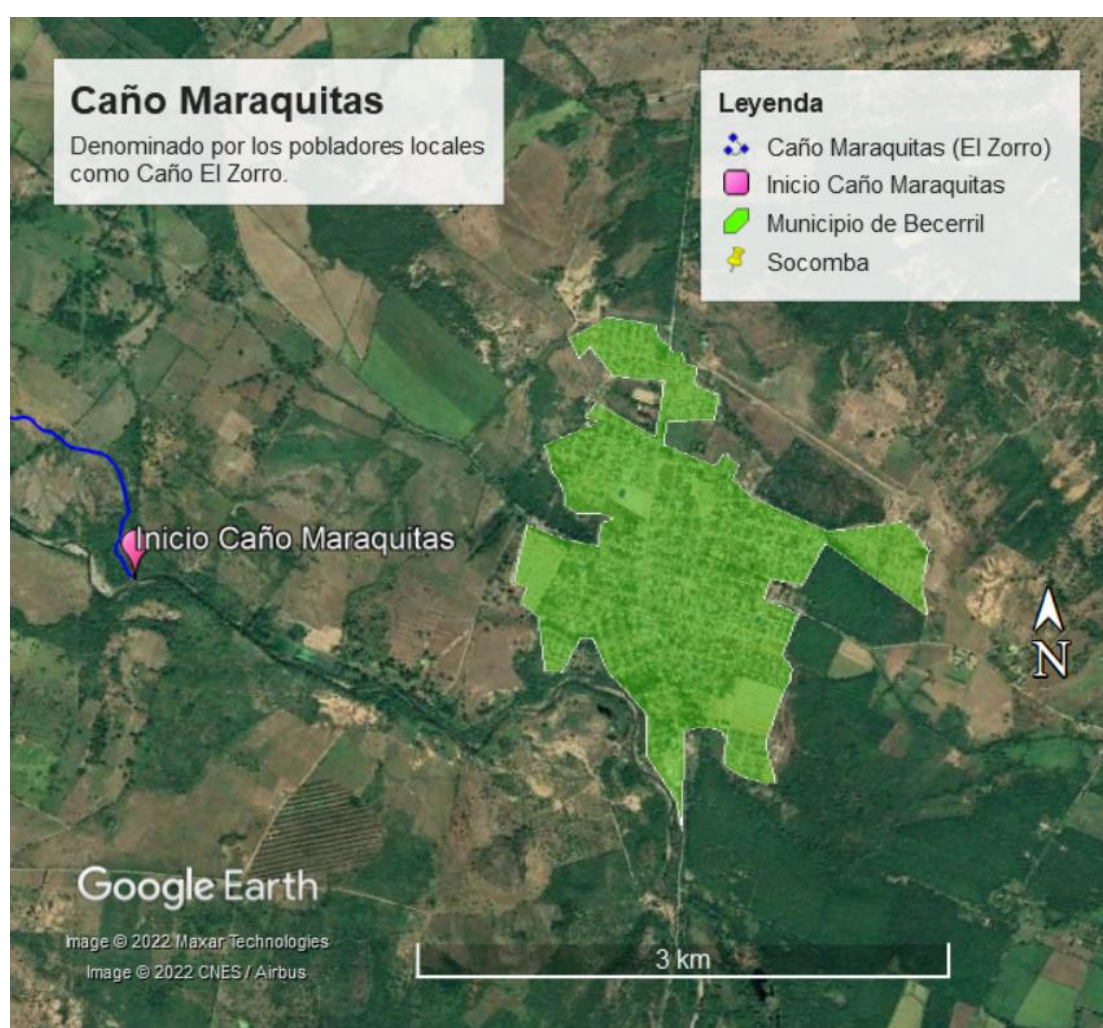
- Caño El Zorro (nombre comúnmente asignado por los pobladores locales), nominalmente llamado Caño Maraquitás, posee una extensión lineal de 16,6 kilómetros y es una derivación natural con intervención intencionada antigua por parte de pobladores locales, provocada en una zona inundable del río Maracas (de allí proviene su nombre en diminutivo) localizada en la siguiente coordenada geográfica: 9,702974° Norte y -73,306976° Este.
- Caño Tupula (nombre comúnmente asignado por los pobladores locales), nominalmente llamado Caño Zanjón, posee una extensión lineal de 27,8 kilómetros y tiene nacimiento natural en las estribaciones de la Serranía del Perijá, montañas cercanas a la vereda Sabana Pedro Vásquez, zona rural de Becerril. Recibe su nombre debido a la fisiografía del lugar de nacimiento, denominado cañón del Zanjón. Su

nacimiento se encuentra localizado en la siguiente coordenada geográfica: 9,777771° Norte y -73,181724° Este.

En la siguiente figura se representa el lugar de derivación causada sobre el río Maracas para la extensión hídrica del caño El Zorro (Maraquitas):

#### Figura 4

*Representación geográfica de la derivación del caño El Zorro*



*Nota:* Elaborado por las Autoras (2022), utilizando herramientas del Sistema de Información Geográfica Google Earth.

El inicio del Caño El Zorro (Maraquitas) dista a 2,14 kilómetros del Área Urbana del Municipio de Becerril, antes de un meandro en una zona intervenida antiguamente por

pobladores locales, quienes realizaron barreras con rocas para lograr derivar el agua a través de una sección irregular que permite el ingreso de agua, la cual está condicionada por la disponibilidad y flujo volumétrico que se desplace en el río Maracas, puesto que no todo el tiempo tiene la capacidad de albergar agua, habiendo segmentos o sectores en donde el flujo del caño es subsuperficial.

### Figura 5

*Representación geográfica del Nacimiento del Caño Zanjón*



*Nota:* Elaborado por las Autoras (2022), utilizando herramientas del Sistema de Información Geográfica Google Earth.

El nacimiento del caño Tupula (Zanjón) a 12,23 kilómetros del Área Urbana del Municipio de Becerril, siendo una fuente hídrica cuyas características permiten ser perenne la

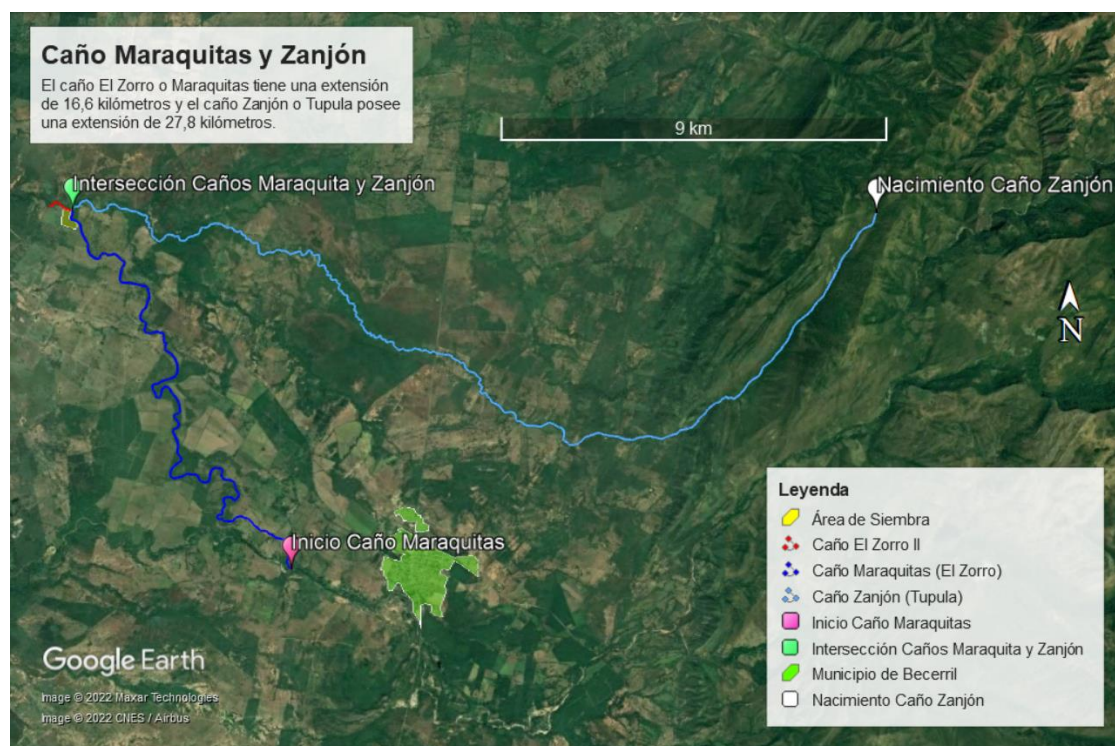
mayoría del tiempo y cuyo nacimiento se encuentra una elevación equivalente a 883 metros sobre el nivel del mar. La oferta hídrica de este caño es desconocida, sin embargo, en su recorrido presenta anexos tributarios del arroyo Arena y Vásquez, los cuales son intermitentes la mayoría del tiempo. Este caño también presenta segmentos o sectores en donde el flujo es subsuperficial.



En la siguiente figura se presenta la extensión territorial de los caños El Zorro y Tupula, de interés para el desarrollo del presente proyecto:

**Figura 6**

*Extensión Territorial de los caños El Zorro (Maraquitas) y Tupula (Zanjón)*



*Nota:* Elaborado por las Autoras (2022), utilizando herramientas del Sistema de Información Geográfica Google Earth.

En la figura anterior se presenta un segmento denominado Caño El Zorro II, el cual, es producto de la intersección de los Caños El Zorro y Tupula. En la figura 7 se observa a mayor detalle.

### Figura 7

*Sección o segmento denominado Caño Zorro II*

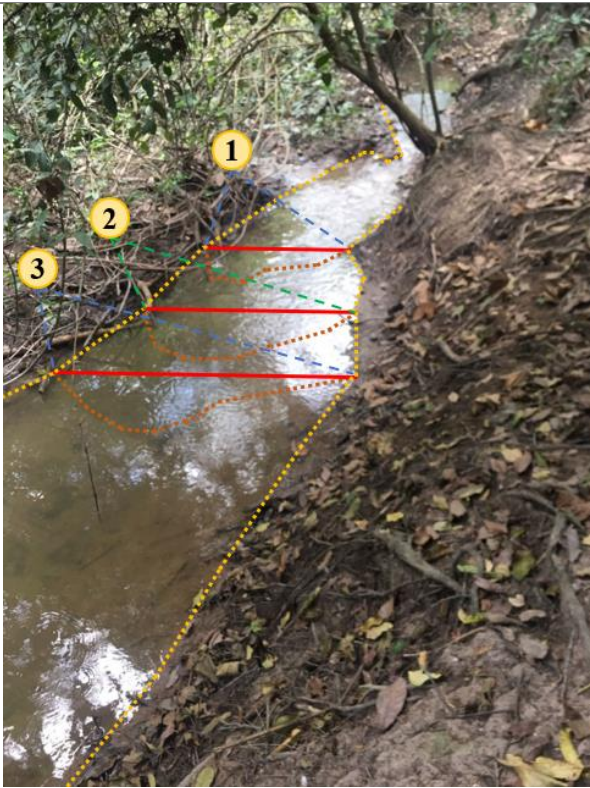


*Nota:* Esta representación corresponde a un segmento de interés para el área de siembra. Elaborado por las Autoras (2022), utilizando herramientas del Sistema de Información Geográfica Google Earth.

Esta sección tiene una extensión longitudinal de 700 metros, de los cuales, 220 metros son paralelos al área de siembra Palmícola y es una zona de interés potencial puesto que la sumatoria de los flujos de los dos caños El Zorro y Tupula, permiten mayor oferta de agua para el uso eficiente y ahorrativo de la irrigación. A continuación, se presenta un registro fotográfico en donde se suma un análisis de características geométricas de los caños.

**Tabla 2**

*Descripción y registro fotográfico del área de estudio*

Registro Fotográfico	Descripción
	<p>En la fotografía Anexa, se observa sección del caño El Zorro o Maraquitas, dividido en tres zonas que representan las secciones transversales que cambian debido al lecho irregular:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Sección 1: Longitud Perpendicular Cota Inferior: 134 centímetros. Longitud Perpendicular Cota Superior: 345 centímetros. Altura Promedio Lámina de Agua: 34 centímetros.</li><li>• Sección 2: Longitud Perpendicular Cota Inferior: 145 centímetros. Longitud Perpendicular Cota Superior: 374 centímetros. Altura Promedio Lámina de Agua: 32 centímetros.</li></ul>

### Registro Fotográfico



### Descripción

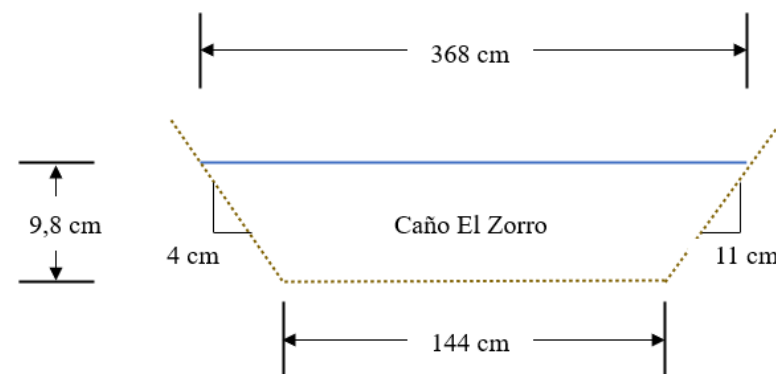
- Sección 3

Longitud Perpendicular Cota Inferior: 153 centímetros.

Longitud Perpendicular Cota Superior: 386 centímetros.

Altura Promedio Lámina de Agua: 29 centímetros.

Por lo tanto, se estima que, en promedio, la sección transversal propia de este caño sea como se presenta en a la siguiente figura anexa:



La cota de inundación visible es equivalente a aproximadamente 1 metro respecto a la cota inferior.

## Registro Fotográfico

## Descripción



Sobre el caño El Zorro y en su área de influencia y ronda hídrica se observa estructuras construidas en hormigón resistente y bloques de cemento, cuyo propósito se destinaba para la retención del agua, desvió y aprovechamiento para la irrigación de los cultivos.

El inventario estructural sobre el caño El Zorro permitió evidenciar la existencia de un muro de contención cuyo tamaño o proporción se clasifica entre pequeño-mediano, también consumido entre la maleza hay un canal de derivación que destinaba el agua del muro de contención hacia una caja de sedimentación o reposo de dimensiones pequeño y posteriormente esa agua llegaba a la caja de bombeo, en donde se posicionaba una tapa de hormigón y encima de él se situaba una bomba hidromecánica de ACPM, que permitía la irrigación.

## Registro Fotográfico



## Descripción

El muro de contención presenta una sección trapezoidal irregular con anexos paralelos y perpendiculares propios de la necesidad y utilidad planificada y planteada para el aprovechamiento del recurso agua en el proceso de la irrigación.

- Sección del Muro de Contención

La base mayor tiene una dimensión de 10,75 metros (rojo)

La base menor tiene una dimensión de 7,45 metros (amarillo)

La altura del muro de contención de 4,50 metros.

La altura de la lámina de agua en embalse de 3,15 metros.

Longitud Base de Compuerta de 2,00 metros.

Longitud Alto de Compuerta de 2,20 metros.

El muro de contención está integrado con una compuerta de llave rotatoria de perno / tornillo y una pasarela superior. Actualmente se encuentra destruido debido a la caída de un árbol sobre este.

## Registro Fotográfico

## Descripción



La Cámara de sedimentación / filtración es un volumen de reposo, en donde el canal de derivación repartía el agua y se acumulaban los sedimentos en el fondo.

Como se observa en la fotografía anexa, hay un desecho sólido compactado en su fondo, a consecuencia del tiempo operativo y funcional de esta cámara.

- Sección Cámara de Sedimentación / Filtración

Altura de la cámara de sedimentación de 2,30 metros.

Ancho de la cámara de sedimentación de 3 metros.

Largo de la cámara de sedimentación de 3 metros.

Volumen de 20,7 metros cúbicos.

Esta cámara se integraba de una tapa de hormigón resistente en su parte superior, la cual impedía la contaminación y vertimiento de residuos, desechos u otros agentes que pudieran ingresar en ella.

### Registro Fotográfico



### Descripción

La zona dónde reposaba la cámara de Bombeo fue consumida por la maleza y, por lo tanto, la accesibilidad es difícil. También que no se tiene certeza en donde está localizada la placa de hormigón resistente, desconociendo su estructura actual representa un peligro por su condición de seguridad, debido a que esta puede ceder a un peso ligero y ocasionar un accidente por la profundidad considerable que debería tener.

En todo caso, fue imposible distinguir su localización, puesto a lo enmontado y considerando los criterios de peligrosidad asociado a ella.

## Registro Fotográfico



## Descripción

En la fotografía Anexa, se observa el caño El Zorro II (combinación de los caudales de los caños El Zorro y Tupula), dividido en tres zonas que representan las secciones transversales:

- Sección 1:

Longitud Perpendicular Cota Inferior: 12,45 metros.

Longitud Perpendicular Cota Superior: 16,80 metros.

Altura Promedio Lámina de Agua: 47 centímetros.

- Sección 1:

Longitud Perpendicular Cota Inferior: 13,89 metros.

Longitud Perpendicular Cota Superior: 18,79 metros.

Altura Promedio Lámina de Agua: 53 centímetros.

- Sección 1:

Longitud Perpendicular Cota Inferior: 13,71 metros.

Longitud Perpendicular Cota Superior: 17,56 metros.

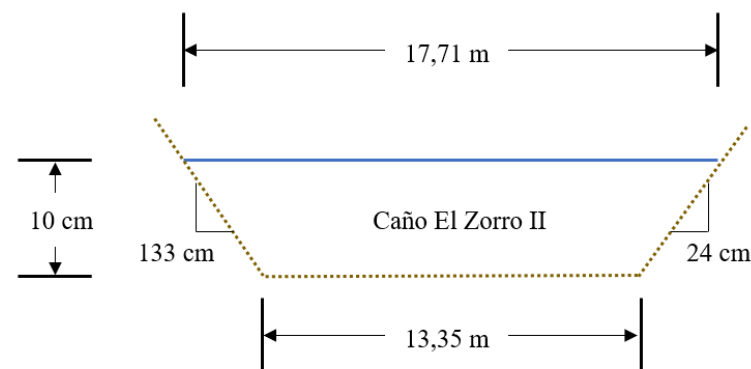
Altura Promedio Lámina de Agua: 56 centímetros.

### Registro Fotográfico

### Descripción



Por lo tanto, se estima que, en promedio, la sección transversal propia de este caño sea como se presenta en a la siguiente figura anexa:



La cota de inundación visible es equivalente a aproximadamente 3,25 metros respecto a la cota inferior.

Nota: Todas las fotografías fueron practicadas por las Autoras, así como las figuras anexas son propias de su diseño, 2022.

No se pudo tener una evidencia fotográfica del caño Tupula (Zanjón) primeramente a que acceder al punto donde converge con el caño El Zorro (Maraquitas) es de difícil acceso por la maleza y las pendientes del terreno, así como la posible presencia de animales peligrosos. Por otra parte, que el recorrido del Tupula hasta el punto de convergencia no hace parte de la propiedad de la finca Canta Claro, era necesario gestionar sus permisos y para acceder hasta allí era un recorrido costoso en términos financieros y de tiempo.

### **7.1.1.2. Contexto Del Riego Del Cultivo De Palma.**

Primeramente, se indica que el área de cultivo equivale a 107.366 metros cuadrados (10,7 hectáreas) y se dividen en 13 zonas, las cuales poseen un área particular, definida por la distribución de la red hidráulica de riego actual.

El tipo de Palma Africana implementada posee características genéticas tales que no reducen el ancho de su copa, así como la altura de esta, lo que le permite reducir su densidad de siembra, sin embargo, el principal problema que enfrenta es la disponibilidad de agua, puesto que de acuerdo con el administrador se trata de proveer a cada especie con 200 litros diarios.

### **Figura 8**

*Palma Africana de la finca Canta Claro*



*Nota:* Fotografía practicada por las Autoras, 2022.

El cultivo implementado tiene 10 años en crecimiento y restan 20 años para su etapa de cosecha, ya que el tiempo de vida estimado es de 30 años, por lo tanto, es indispensable que se

mantenga irrigado, pero, sobre todo, mejorada para que el uso de los recursos implicados y sobre todo el agua, sean usados eficientemente.

Contextualizando, el sistema de riego de la finca Canta Claro, depende de un sistema de bombeo fotovoltaico a través de pozo profundo, sin embargo, la dependencia de las jornadas solares incide en la oferta volumétrica en la red y así mismo, afecta la cabeza de presión en el momento de la irrigación.

### **Figura 9.**

*Seccionamiento de red de riego como control del flujo locativo mediante Válvulas*



Nota: Fotografía practicada por las Autoras, 2022.

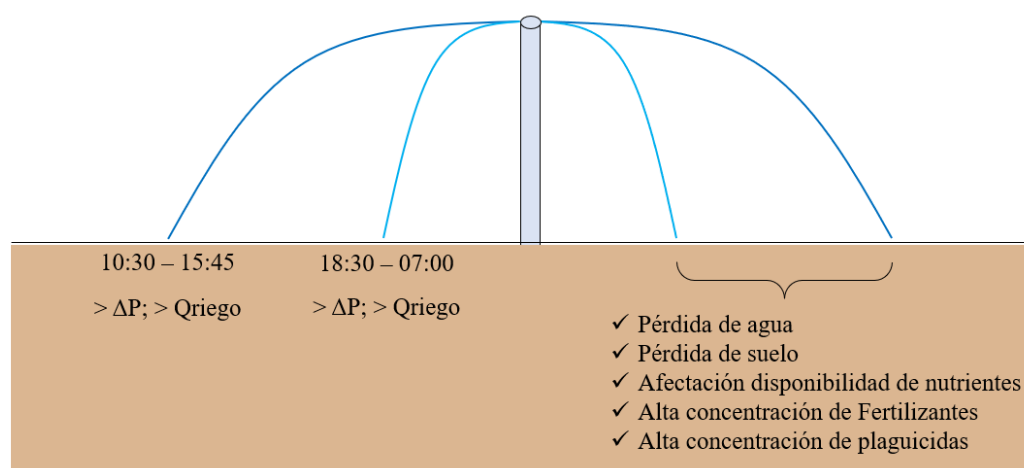
La afectación de la variabilidad del flujo de suministro en la red permite la aparición de algunos daños importantes en los surcos, puesto que la irrigación es mayor cuando el sol se eleva a su asta mayor, por ende, la presión permite que el chorro tenga mayor alcance, sin

embargo, a medida el sol va terminando su surco se reduce la presión y por ende el alcance del chorro del agua. Ante la continuidad de este proceso se crea un surco que permite la erosión interna, no forma encharcamientos y hay mayores pérdidas que superávit.

En la siguiente figura, se hace una representación gráfica de la situación presentada, la cual se considera como el principal defecto de la red de riego, puesto que su condición no favorece la utilidad adecuada del recurso agua y la calidad final del cultivo.

### Figura 10

*Representación de la irrigación en horas específicas*



*Nota:* Elaborado por las Autoras, 2022.

Este problema fue puesto en conocimiento por el administrador, puesto que tener un concepto claro de esta dificultad tomó muchos años de observación y la pérdida del muro de contención y el sistema alterno de inundación permitió obtener una visión más clara de la situación poco perceptible.

Para mejorar la tenencia del agua en la orilla de las plantas se propuso poner unas lonas plásticas oscuras que ayudan a desplazar el agua al centro del surco de las Palmas, sin embargo,

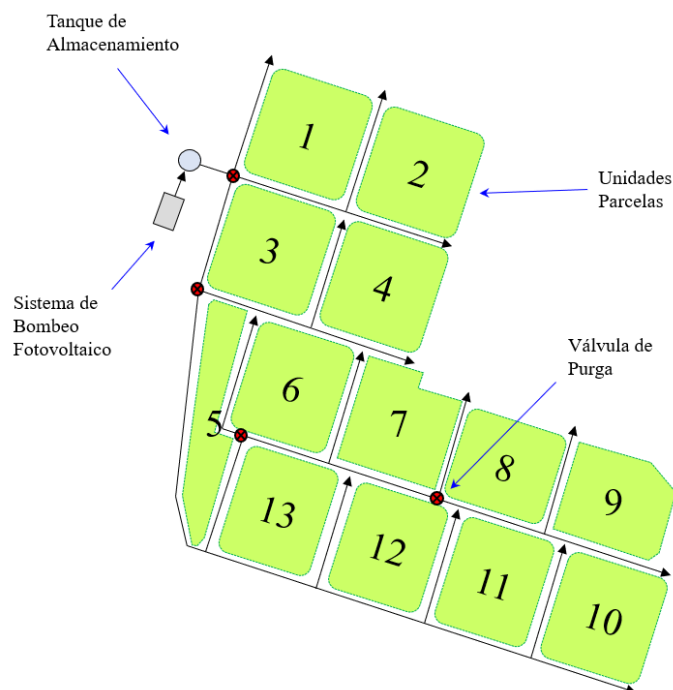
esto también tiene repercusiones en el suelo, su oxigenación y otras características importantes para el crecimiento sano y la calidad de los productos.

Por lo tanto, se identifica que se debe crear un buen sistema de almacenamiento del agua, de tal manera que se supla el suministro de manera constante, logrando mantener la cabeza de presión, logrando la potencia deseada, además, anexando otros accesorios y emplear alternativas de riego que permitan la reducción de las concentraciones de fertilizantes, insecticidas, biosidas y pesticidas, utilizados en la plantación, todo esto en el marco de un uso sostenible y sustentable.

En la siguiente figura, se hace una representación de los elementos integrales que conforman la red de riego del cultivo de Palma Africana de la finca Canta Claro.

### Figura 11

*Área de Siembra de Palma Africana y componentes del sistema de riego*



*Nota:* Elaborado por las Autoras (2022), a partir de referentes presentados por el administrador de la finca Canta Claro.

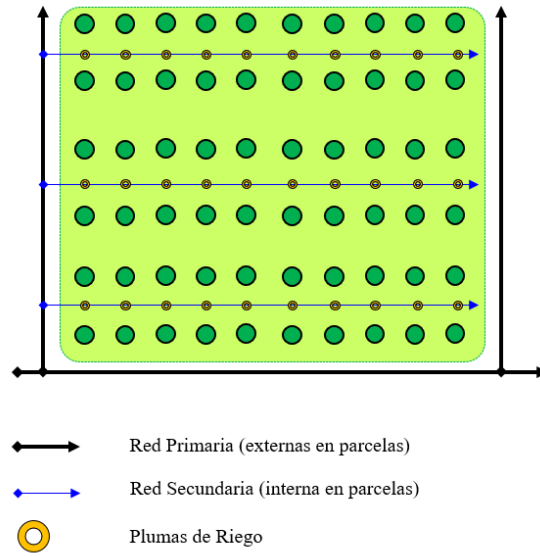
De acuerdo con el administrador de la finca Canta Claro, la extensión de la red tiene un aproximado de 2.400 metros de tubería de Polivinilo de Cloruro (PVC) cuyo diámetro nominal es de 1 pulgada que suministra agua a trece unidades de parcelación, las cuales, en algunos nodos se tienen válvulas de purga, con el objeto de reducir la presión y de regular el paso a otras zonas de la red. Agregando información, internamente, las unidades de parcelación se componen de otro seccionamiento de tuberías y de plumas de irrigación.

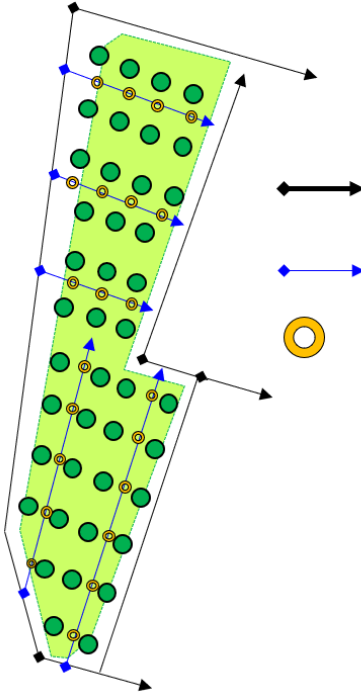





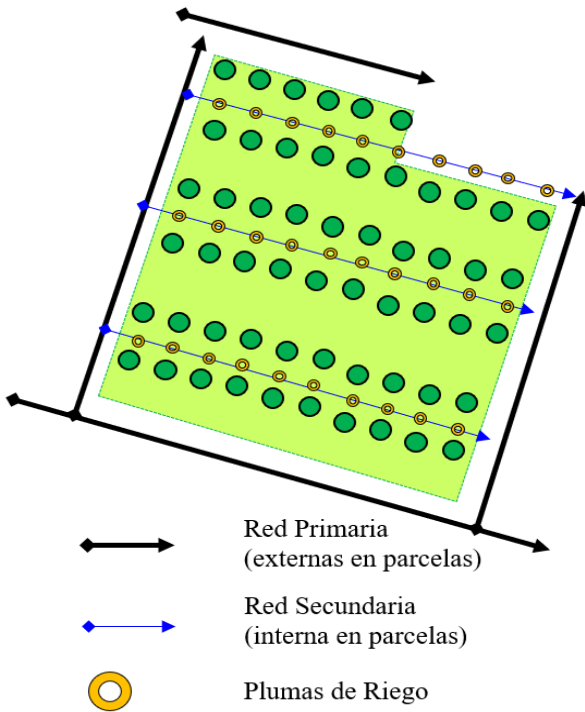
En la siguiente tabla se dan más especificaciones sobre cada una de las trece unidades de parcelación, así como de la red de riego interna para cada una de ellas, considerando la densidad de siembra.

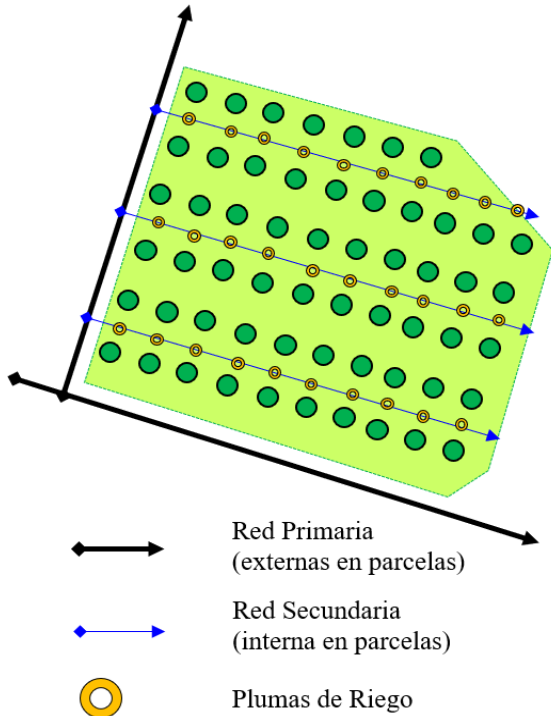



**Tabla 3**

*Descripción de las unidades de parcelación y red de riego interna*

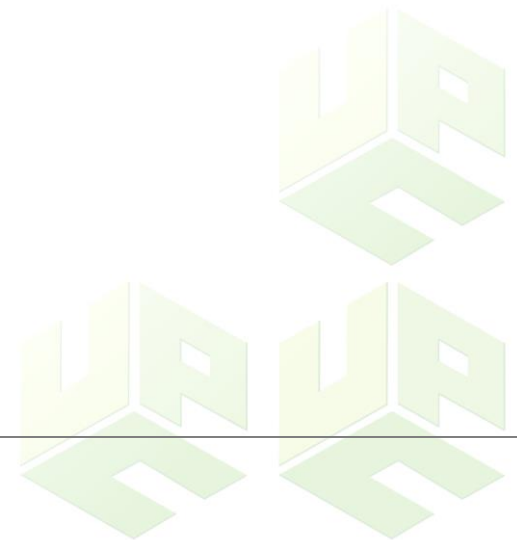
ID Parcela	Representación de la Parcelación	Descripción
1		Las parcelas 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 11, 12 y 13, poseen la misma densidad de siembra de 60 plantas por hectárea (valor que varía entre más a menos), teniendo 6 hileras y cada una de estas se constituye de 10 plantas.
2		Las hileras son paralelas a la red interna y para dos hileras se tiene una línea de suministro (tres líneas de riego interna).
3		Esta línea posee diez plumas de irrigación y cada pluma surte de agua a dos plantas. Cada pluma posee una válvula en su pie, por lo tanto, puede controlarse si se irriga o no a las palmas.
4		
6		
8		
10		
11		
12		
13		

ID Parcela	Representación de la Parcelación	Descripción
5	 <p>  Red Primaria        (externas en parcelas)   Red Secundaria        (interna en parcelas)   Plumas de Riego     </p>	<p>La parcela 5, se encuentra irrigada y más favorecida por el sistema de riego, sin embargo, es la más lejana de la corriente hídrica del caño El Zorro (Maraquitas), cuenta con 42 plantas en un aproximado de 700 a 750 metros cuadrados (0,7 a 0,75 hectáreas).</p> <p>Se tienen cinco redes de riego interna, integradas con veintidós plumas de riego, de las cuales se destaca que dos de estas riegan a dos plantas y las demás si comparten pares de plantas.</p>

ID Parcela	Representación de la Parcelación	Descripción
7		<p>La parcela 7, se encuentra irrigada por el sistema de riego y es la más cercana de la corriente hídrica del caño El Zorro (Maraquitas), cuenta con 56 plantas en un aproximado de 900 metros cuadrados (0,9 hectáreas).</p> <p>Se tienen tres redes de riego interna, integradas con treinta plumas de riego, de las cuales se destaca que cuatro de estas riegan a cuatro plantas y las demás si comparten pares de plantas.</p>
9		<p>La parcela 9, se encuentra irrigada por el sistema de riego y es la más cercana a las estructuras de riego construidas sobre el caño El Zorro</p>

ID Parcela	Representación de la Parcelación	Descripción
	 <p>  Red Primaria        (externas en parcelas)   Red Secundaria        (interna en parcelas)   Plumas de Riego     </p>	<p>(Maraquitas), cuenta con 57 plantas en un aproximado de 950 metros cuadrados (0,95 hectáreas).</p> <p>Se tienen tres redes de riego interna, integradas con treinta plumas de riego, de las cuales se destaca que tres de estas riegan a tres plantas y las demás si comparten pares de plantas.</p>

Nota: Elaborado por las Autoras, 2022.



Considerando lo expuesto en la tabla anterior, se puede decir que el área de siembra posee una plantación de setecientas cincuenta y cinco (755) Palmas de Aceite, las cuales diariamente se surte de 200 litros diarios a cada una de estas, lo que implica un suministro equivalente a 151 metros cúbicos de agua a todas las especies, lo cual, no parece real, puesto que el valor de suministro máximo para Palma Aceitera es de 30 litros diarios (Revista Semana, 2017), para un volumen dimensionado en 22,65 metros cúbicos diarios (85% menos del valor presentado por el administrador de la finca), que es un valor más razonable, sin embargo, aún precisa ser excesivo, aunque es muy osado definir o dar una cifra aun cuando no se han desarrollado otros estudios que interfieren en la disponibilidad del recurso, como lo es la transpiración y evapotranspiración.

#### **7.1.1.3. Evaluación De Las Buenas Prácticas Agrícolas.**

De acuerdo con el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) se implementó una lista de chequeo de diagnóstico de las Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) de la siembra de Palma de Aceite Africana en la finca Canta Claro.

Los elementos de evaluación de las BPA son los siguientes:

- Planeación del cultivo, instalaciones, equipos, utensilios y herramientas.
- Manejo del agua y manejo del cultivo.
- Protección del cultivo.
- Cosecha.
- Documentación, registros y trazabilidad.
- Salud, seguridad y bienestar del trabajador.
- Protección ambiental.

A continuación, se presenta el desarrollo y diligenciamiento de los resultados:

**Tabla 4.**

*Evaluación de los criterios de Planeación del Cultivo, Instalaciones, Equipos, Utensilios y Herramientas*

Planeación del Cultivo, Instalaciones, Equipos, Utensilios y Herramientas	Calificación			Total
	Bajo	Medio	Alto	
<i>Planeación Del Cultivo</i>				
Se cuenta con un documento expedido por planeación municipal que sustente el proyecto de siembra para uso agrícola	X			1
Se tiene un mapa de la finca que señale (lotes, aguas, linderos, construcciones como vivienda, empacadora, bodegas, vías de acceso, entre otras)	X			1
Se cuenta con una evaluación de riesgos para la siembra que incluya (suelo, agua, plagas, disposición de residuos, clima, precipitación)	X			1
<i>Instalaciones, Equipos, Utensilios Y Herramientas</i>				
Cuenta la finca con: áreas de almacenamiento de insumos agrícolas, área de dosificación de insumos y preparación de mezclas de insumos agrícolas, áreas de almacenamiento de equipos, utensilios y herramientas, área de acopio en finca y área de postcosecha		X		2

Planeación del Cultivo, Instalaciones, Equipos, Utensilios y Herramientas	Calificación			Total
	Bajo	Medio	Alto	
¿Se encuentran debidamente identificadas y demarcadas cada una de las áreas?			X	3
¿Cuenta la bodega de insumos con un seguro que evite la entrada de personal no calificado y de niños?	X			1
Todos los equipos y utensilios empleados para las labores del cultivo deben estar: limpios y organizados.	X			1
Se cuenta con un programa de mantenimiento preventivo y de calibración de equipos, de acuerdo con los requerimientos de cada uno de ellos.	X			1

*Nota:* Evaluación practicada siguiendo los lineamientos de Autodiagnóstico de Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) del ICA, 2022.

En la siguiente tabla se evalúan los criterios de manejo del agua y manejo del cultivo.



**Tabla 5.**

*Evaluación de los criterios de Manejo del Agua y Manejo del Cultivo*

Manejo del Agua y Manejo del Cultivo	Calificación			Total
	Bajo	Medio	Alto	
<i>Agua</i>				
¿Conoce la procedencia o la fuente de agua?			X	3
¿Se cuenta con un programa de análisis de agua y su respectivo plan de acción?	X			1
Se cuenta con una evaluación de riesgo del agua que determine la posible fuente de contaminación (física, química o microbiológica)	X			1
¿Se cuenta con un abastecimiento suficiente y a su vez se evidencia desperdicios de agua en la finca?			X	3
¿Se cuenta con un documento de concesión de aguas de riego?	X			1
<i>Suelo</i>				
¿Se realizan análisis de suelos para determinar las características fisicoquímicas?		X		2

Manejo del Agua y Manejo del Cultivo	Calificación			Total
	Bajo	Medio	Alto	
Se evidencia el buen manejo del suelo (labranza mínima, aplicación de materia orgánica compostada)		X		2
<i>Material de propagación</i>				
Se conoce la procedencia del material de propagación (semillas, estacas, esquejes, plántulas, acodos, etc.)			X	3
¿Se cuenta con el instructivo y registro de la limpieza y desinfección del material de propagación?	X			1
¿Se cuenta con el certificado del vivero donde se compró el material de propagación?			X	3
<i>Nutrición del cultivo</i>				
¿Se cuenta con un plan de nutrición del cultivo recomendado por un profesional competente y de acuerdo con el análisis del suelo?		X		2
¿Los productos utilizados para la fertilización cuentan con su respectiva ficha técnica, registro ICA?		X		2

Manejo del Agua y Manejo del Cultivo	Calificación			Total
	Bajo	Medio	Alto	
¿Se tienen los registros de aplicaciones?	X			1
En caso de que se realice en la finca el compostaje. ¿Se tiene evidencia del proceso de elaboración de este?	X			1

Nota: Evaluación practicada siguiendo los lineamientos de Autodiagnóstico de Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) del ICA, 2022.

En la siguiente tabla se evalúan los criterios de protección del cultivo.

**Tabla 6.**

*Evaluación de los criterios de Protección del Cultivo*

Protección del Cultivo	Calificación			Total
	Bajo	Medio	Alto	
Uso de plaguicidas				
Se evidencian actividades de prevención de plagas como: monitoreo, distancias de siembra, podas sanitarias y de formación, desinfección de herramientas, limpieza dentro del cultivo, trampas, entre otras.		X		2

Protección del Cultivo	Calificación			Total
	Bajo	Medio	Alto	
¿Se utilizan productos específicos para el cultivo y la plaga?			X	3
¿Los productos utilizados son recomendados por un profesional idóneo?			X	3
¿Cuentan los productos con el registro del ICA?	X			1
¿Se tienen registros de las aplicaciones y las dosis utilizadas?		X		2
El personal que realiza esta labor se encuentra debidamente certificado (¿calibración de Cuenta el personal con los elementos de protección personal adecuados?	X			1
¿Se guardan las facturas de compra de estos productos?			X	3
¿Se respetan los periodos de reentrada?	X			1
¿Se cuenta con un cardex o una lista actualizada de los productos que se están utilizando?	X			1
¿Existe evidencia de que se han respetado los periodos de carencia recomendados en la etiqueta?	X			1

Protección del Cultivo	Calificación			Total
	Bajo	Medio	Alto	
¿Se tiene destinado un sitio para la destinación final de los sobrantes de los tratamientos?	X			1
¿Se realiza el triple lavado?	X			1
¿Se realiza una disposición adecuada de envases y se asegura que estos no vuelvan a reutilizarse?			X	3
¿Existe evidencia de que se realizan muestreos de residuos de plaguicidas?	X			1
Se almacenan los productos en una bodega que: tenga buena ventilación, buena iluminación, con seguro, de estructura sólida, resistente al fuego, separado de otros productos como fertilizantes, con kit de prevención de desastres (arena, aserrín, pala, bolsa, etc)	X			1
¿Se cuenta con una fuente de agua limpia en el caso de emergencia de contaminación del personal?		X		2

Protección del Cultivo	Calificación			Total
	Bajo	Medio	Alto	
¿Se evidencia la participación de la finca en un sistema de disposición de envases adecuado?		X		2
¿Los productos vencidos o caducados se conservan en un lugar seguro y separado hasta su disposición final?	X			1

Nota: Evaluación practicada siguiendo los lineamientos de Autodiagnóstico de Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) del ICA, 2022.

En la siguiente tabla se evalúan los criterios de cosecha.

**Tabla 7**

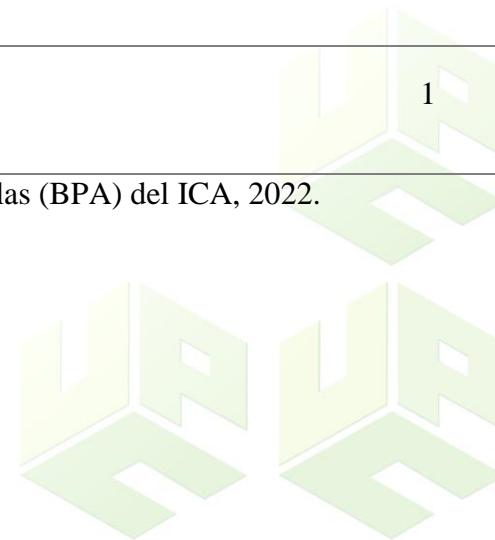
*Evaluación de los criterios de Cosecha*

Cosecha	Calificación			Total
	Bajo	Medio	Alto	
¿Se cuenta con una planificación de toda la operación incluyendo mano de obra, materiales y equipos, transporte interno y externo, puntos de acopio en lotes, permanencia en finca?	X			1
¿Cuenta el personal con un buen estado de salud y una buena higiene personal?		X		2

Cosecha	Calificación			Total
	Bajo	Medio	Alto	
Se emplean recipientes de recolección, herramientas, estibas, canastillas, limpios y desinfectados.	X			1
Son los puntos de acopio lugares protegidos de condiciones climáticas adversas, plagas, contaminantes y limpios.	X			1
El vehículo en el que se transporte la fruta u hortaliza debe estar limpio, ofrecer protección contra el sol, la lluvia, el viento o cualquier otro factor que pueda convertirse en un riesgo.		X		2
Cuenta la finca con un plan de saneamiento que contemple: limpieza y desinfección, manejo y disposición de residuos sólidos y líquidos.	X			1

Nota: Evaluación practicada siguiendo los lineamientos de Autodiagnóstico de Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) del ICA, 2022.

En la siguiente tabla se evalúan los criterios de documentación, registros y trazabilidad.



**Tabla 8**

*Evaluación de los criterios de Documentación, Registros y Trazabilidad*

Documentación, Registros y Trazabilidad	Calificación			Total
	Bajo	Medio	Alto	
Desinfección de material de propagación o tratamientos de semillas	X			1
Registro de aplicación de fertilizantes			X	3
Registro de aplicación de productos fitosanitarios en el cultivo			X	3
Registro de siembra			X	3
Registro de la calidad del material de propagación del vivero			X	3
Registro de información general de los trabajadores	X			1
Registro de cosecha	X			1
Registro de limpieza y desinfección de instalaciones, equipos, utensilios, etc	X			1
Cardex de productos fitosanitarios y de fertilizantes	X			1
Registro de inspección de roedores	X			1

Documentación, Registros y Trazabilidad	Calificación			Total
	Bajo	Medio	Alto	
Procedimiento de trazabilidad	X			1
procedimiento de retiro del producto en caso de ser rechazado por problemas de inocuidad	X			1
Procedimiento de manejo de plagas y enfermedades	X			1
Instructivo del intervalo de reentrada	X			1
procedimiento manejo de envases vacíos de fitosanitarios		X		2
procedimiento de accidentes y emergencias		X		2
procedimiento de higiene para la manipulación de productos		X		2
Plan de fertilización		X		2
Plan de manejo ambiental	X			1
Panorama de riesgos profesionales	X			1
Plan de saneamiento	X			1

*Nota:* Evaluación practicada siguiendo los lineamientos de Autodiagnóstico de Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) del ICA, 2022.

En la siguiente tabla se evalúan los criterios de salud, seguridad y bienestar del trabajador.

**Tabla 9**

*Evaluación de los criterios de Salud, Seguridad y Bienestar del Trabajador*

Salud, Seguridad y Bienestar del Trabajador	Calificación			Total
	Bajo	Medio	Alto	
Cuenta la finca con un panorama de factores de riesgos	X			1
se cuenta con un instructivo de higiene	X			1
Se cuenta con un procedimiento de emergencias		X		2
¿Se cuenta con un extintor cerca del área de almacenamiento de insumos?	X			1
Cuenta la finca con un botiquín de primeros auxilios	X			1
Pegar en un sitio visible la lista de instituciones de emergencia (Centro de salud, inspección, alcaldía, etc.)	X			1
¿Se cuenta con operarios capacitados en 1ros auxilios y uso del extintor?	X			1
Cuentan los operarios con toda la dotación para su protección personal	X			1

Salud, Seguridad y Bienestar del Trabajador	Calificación			Total
	Bajo	Medio	Alto	
Existe un área específica para comer y sanitarios	X			1

*Nota:* Evaluación practicada siguiendo los lineamientos de Autodiagnóstico de Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) del ICA, 2022.

En la siguiente tabla se evalúan los criterios de Protección Ambiental.

**Tabla 10**

*Evaluación de los criterios de Protección Ambiental.*

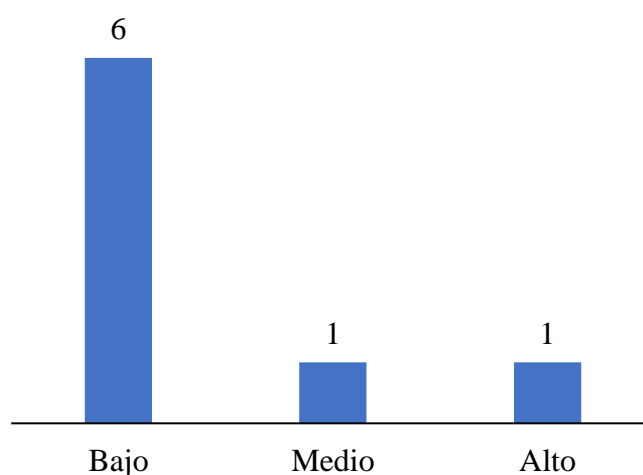
Protección Ambiental	Calificación			Total
	Bajo	Medio	Alto	
Se realiza una disposición adecuada de los residuos líquidos y sólidos	X			1
¿En caso de tener pozo séptico, se hace el mantenimiento adecuado del mismo?	X			1
¿Se aplican medidas de prevención, control o mitigación de impactos ambientales negativos?	X			1

*Nota:* Evaluación practicada siguiendo los lineamientos de Autodiagnóstico de Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) del ICA, 2022.

A continuación, se hace un resumen gráfico de los resultados obtenidos:

**Figura 12**

*Calificación de la Planeación del Cultivo, Instalaciones, Equipos, Utensilios y Herramientas*



*Nota:* Elaborado por las Autoras, 2022

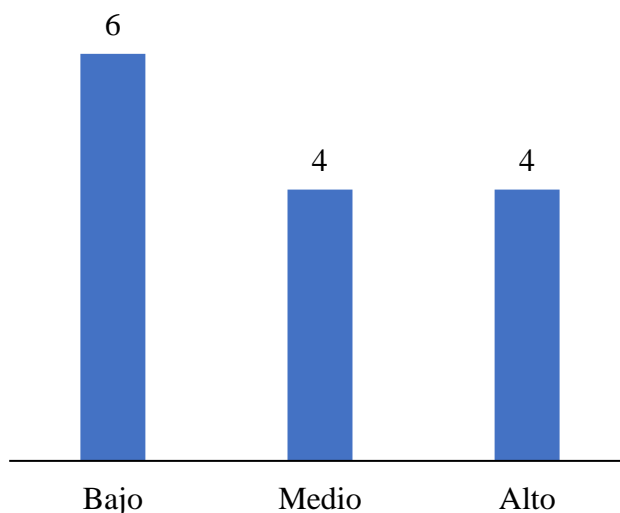
Como se aprecia en el gráfico anterior, al realizar la evaluación de la planeación del cultivo, instalaciones, equipos, utensilios y herramientas, permitió observar que en la mayoría de sus criterios no cumple.

Netamente, el incumplimiento toma como base la existencia de información estratégica y operativa, así como elementos físicos que mejoran los procesos que se llevan a cabo en la finca, aunque se cuente con algunas funciones y elementos que ayuda a mejorar el desempeño de trabajo, sin embargo, aún es muy pobre para llevar a cabo un trabajo correctamente planificado.

Se resalta que las áreas de siembra se encuentran bien demarcadas y definidas, así como la tenencia de productos e insumos agrícolas para la mejora y beneficio de la calidad de la producción, que ayuda significativamente a la palma.

**Figura 13**

*Calificación del Manejo del Agua y Manejo del Cultivo*



*Nota:* Elaborado por las Autoras, 2022

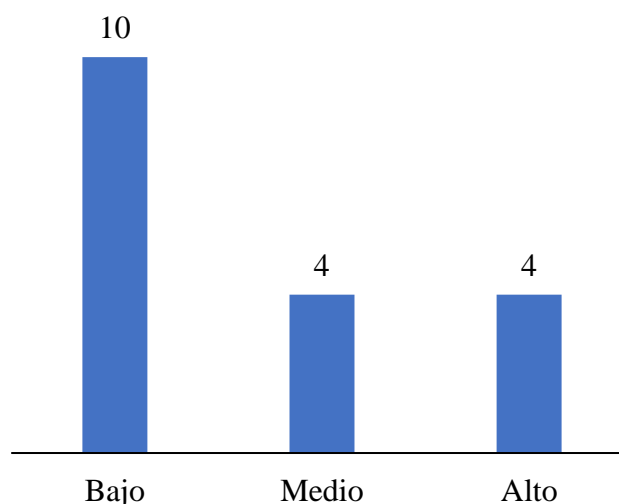
En este apartado se analizaron los componentes: agua, suelo, material de propagación y nutrición del cultivo, obteniendo un puntaje mayoritariamente bajo, pero bien distribuido en los valores medio y alto.

En referencia al componente agua, se conoce la fuente hídrica y se tiene evidencia sólida del desperdicio del agua. Se conoce medianamente del componente suelo en sus características fisicoquímicas y en el buen manejo del suelo. En cuanto a materiales de propagación no se cuenta con un instructivo y registro de limpieza y desinfección de este. Por nutrición del cultivo, no se conservan registros de aplicación de fertilizantes y otros productos, tampoco de que se realice compostaje dentro del área de la finca.

Esto se traduce prácticamente en un no cumplimiento inferior pero significativo para el manejo del agua y manejo del cultivo.

**Figura 14**

*Calificación de la Protección del Cultivo*



*Nota:* Elaborado por las Autoras, 2022

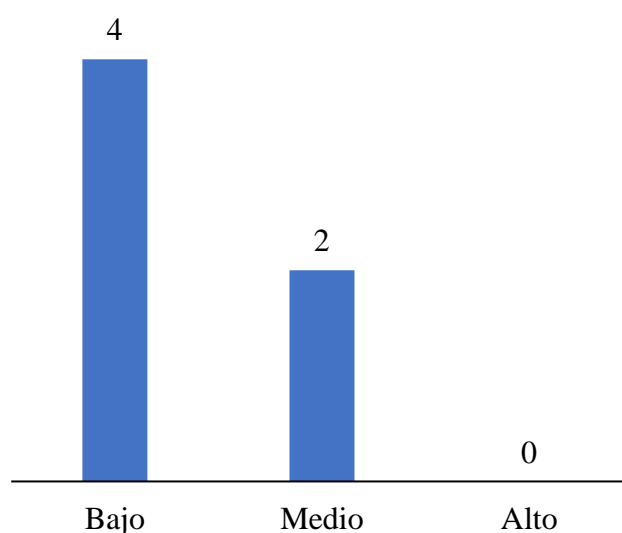
En cuanto a la protección del cultivo se indaga sobre el uso de plaguicidas, en el cual se encuentra un no cumplimiento importante pero un poco significativo.

De este componente se puede destacar que el no cumplimiento es fuertemente asociado a tareas de inventariado, control y gestión de los plaguicidas. La mayoría de los elementos son desconocidos, por ende, se puede manifestar que no se tiene evidencia o registro de que se hagan los procedimientos adecuados.

Solo se tiene certeza de que los productos utilizados son recomendados por un profesional y son los adecuados para las especies de Palma, se lleva un registro contable que permite acceder a las facturas y los tipos de productos y al terminar su uso, la gestión en la disposición final es oportuna, puesto que se impide la reutilización de estos.

**Figura 15**

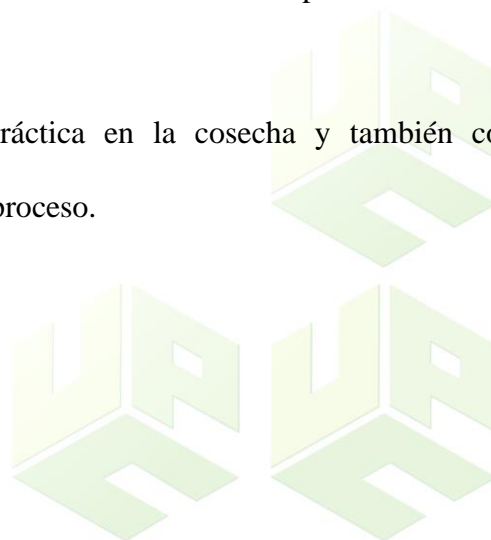
*Calificación de los Criterios de Cosecha*



*Nota:* Elaborado por las Autoras, 2022

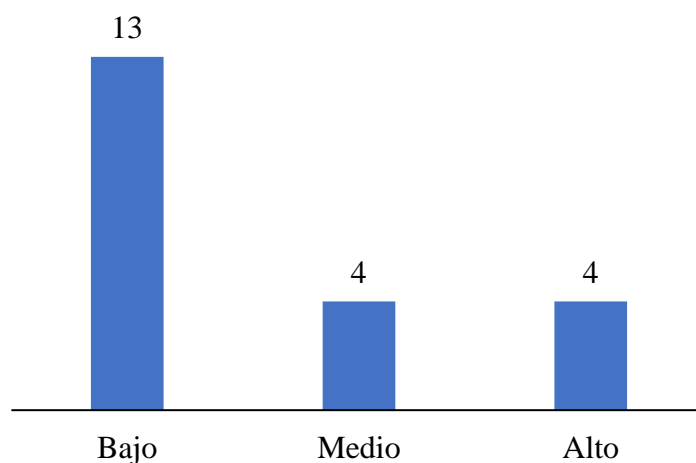
El no cumplimiento se debe a que no se tiene planificación sobre los niveles operativos que se tienen sobre la plantación. A parte que aún no se ha pensado en los puntos de acopio y las herramientas necesarias para poder iniciar cosecha, sin embargo, desde este análisis se le entrega un resultado que permite visionar el futuro de la finca Canta Claro para esta valiosa etapa.

Actualmente solo se tiene personal con práctica en la cosecha y también con herramientas de transporte idóneo que facilitarían el proceso.



**Figura 16.**

*Calificación de los Criterios de Documentos, Registros y Trazabilidad*



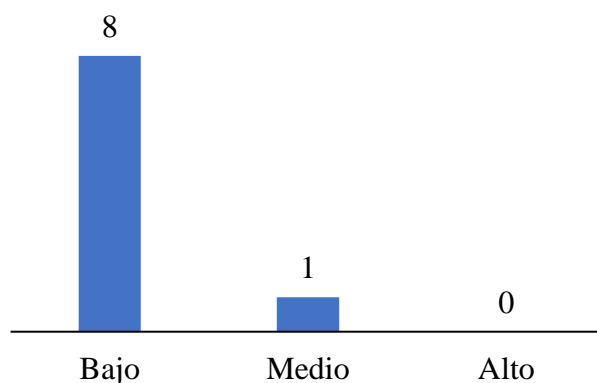
*Nota:* Elaborado por las Autoras, 2022

En cuanto a documentación, registros y trazabilidad del proyecto de siembra se ve pobremente respaldado por la no tenencia de material o tratamiento de semillas, información sobre los trabajadores, sobre la cosecha misma, la limpieza y desinfección en equipos, instalaciones, infraestructura, entre otras, tampoco se tienen elementos de gestión y documentación de fertilizantes, productos agroquímicos etc. Y no se cuenta con planes como los de manejo ambiental, riesgos profesionales y de saneamiento.



**Figura 17**

*Calificación de los criterios de Salud, Seguridad y bienestar del trabajador*

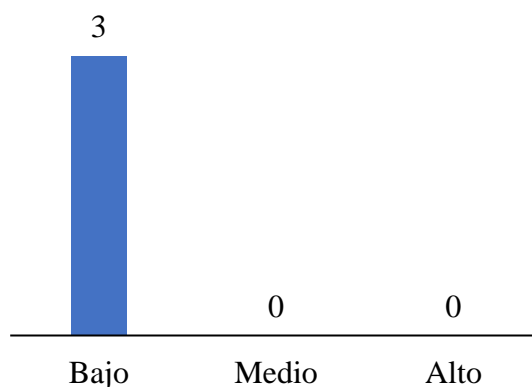


*Nota:* Elaborado por las Autoras, 2022

En términos referente a la seguridad, salud y bienestar del trabajador no se cuentan con las condiciones idóneas. Se tiene una información muy somera en cuanto a procedimientos de emergencia, sin embargo, el panorama en tema de riesgos laborales es muy grave.

**Figura 18**

*Calificación de los Criterios de Protección Ambiental.*



*Nota:* Elaborado por las Autoras, 2022

Como se observa, en términos ambientales, no se cumple, puesto que no se prevé el tema ambiental o se controlan o mitigan los impactos ambientales.

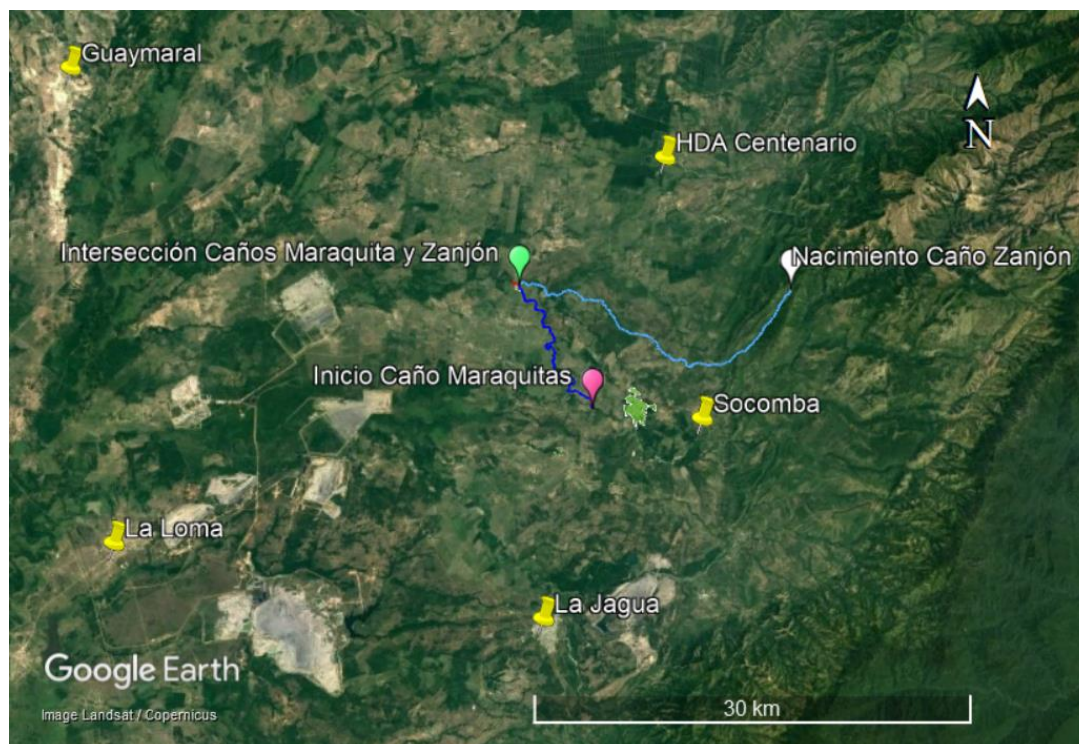
## 7.1.2. Análisis Hidrológico De Las Fuentes Hídrica

### 7.1.2.1. Información De Precipitación.

Se solicitó al Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), información referente a las cinco estaciones meteorológicas más próximas a la zona de estudio. En la siguiente figura se presenta la localización geográfica de las estaciones respecto a las zonas de interés del presente proyecto.

#### Figura 19.

*Localización de las Estaciones Meteorológicas de Interés*



*Nota:* Elaborado por las Autoras (2022), utilizando herramientas del Sistema de Información Geográfica Google Earth.

El área creada entre las estaciones meteorológicas presentadas equivale a 1.305 kilómetros cuadrados y estas poseen información de interés para el desarrollo del proyecto.

La información suministrada de cada una de las estaciones se ve contenida en el Anexo 1 del presente documento. En la siguiente tabla se hace un resumen de su información:

**Tabla 11.**

*Información General de Precipitación de las Estaciones Meteorológicas*

N°	Nombre	Norte (N)	Oeste (W)	Serie Temporal	¿Datos Faltantes?
1	HDA Centenario	9,850373°	-73,265402°	1978 - 2015 (38 años)	
2	Socomba	9,686780°	-73,240490°	1972 – 2011 (32 años)	
3	La Jagua	9,562279°	-73,339408°	1963 – 2017 (55 años)	Sí
4	La Loma	9,606643°	-73,611919°	1963 – 2017 (55 años)	
5	Guaymaral	9.905035°	-73.647480°	1972 – 2017 (2017)	

*Nota:* Elaborado por las Autoras (2022), considerando la información obtenida de la página web de consulta y descarga de Datos Hidrometeorológicos del IDEAM.

En la siguiente tabla se discrimina que tipo de información meteorológica fue suministrada por el IDEAM.

**Tabla 12**

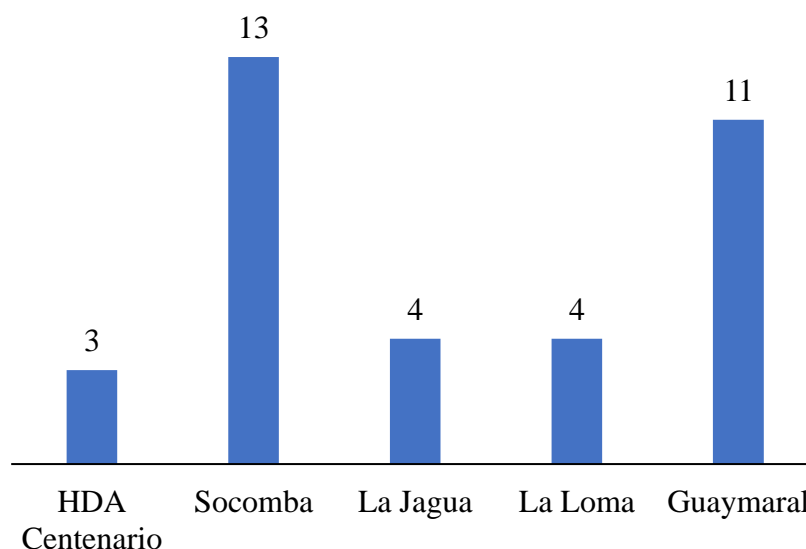
*Tipo de Información Meteorológica de las Estaciones obtenidas*

N°	Nombre	BS (h)	Evap. (mm)	HR (%)	Nub. (octa)	Pto. R. (°C)	P. mes (mm)	No. P. (día)	P. Max (mm)	T mes (°C)	T. Max (°C)	T min (°C)	TVp (Mb)	V.Vt (m/s)
1	HDA Centenario						X	X	X					
2	Socomba	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
3	La Jagua				X		X	X	X					
4	La Loma				X		X	X	X					
5	Guaymaral	X	X	X	X		X	X	X	X	X	X	X	

*Nota:* Elaborado por las Autoras (2022), considerando la información obtenida de la página web de consulta y descarga de Datos Hidrometeorológicos del IDEAM. BS: Brillo solar; Evap: Evaporación; HR: Humedad Relativa; Nub: Nubosidad; Pto. R: Punto de Rocío; P. mes: Precipitación Mensual; No. P.: Número diario de precipitaciones; P. Max: Precipitación Máxima Mensual en 24 horas; T mes: Temperatura Media Mensual; T max: Temperatura Máxima Mensual; T min: Temperatura Mínima Mensual; TVp: Tensión de Vapor media mensual; V.Vt: Velocidad del Viento media mensual (IDEAM, 2019).

**Figura 20**

*Contabilidad de la información meteorológica contenida en las estaciones*



*Nota:* Elaborado por las Autoras, 2022.

Como se aprecia en la tabla 11, todas las estaciones tienen datos faltantes lo cual puede ser aducido a ausencia del observador, desperfectos instrumentales, ausencia instrumentales, rechazo del dato por inconsistente, nivel superior o inferior superado o infraestimado, curvas de gastos incompatibles, secciones inestables, instrumentos sedimentados, máximos no extrapolados y datos insuficientes, por lo tanto, será necesario implementar un proceso de análisis de curva de masas a posterioridad de la estimación de datos faltantes (que se realizará mediante mínimos ordinarios cuadrados M.C.O.), que ayuden al tratamiento, suavización y estandarización de los datos dentro de intervalos de confianza coherentes a los datos más representativos.

De la tabla 12 se hace la representación gráfica de la figura 20, en donde se presenta que estaciones como Socomba y Guaymaral son las más completas al presentar mayor variabilidad de información meteorológica, teniendo netamente más datos referentes a

precipitaciones, lo que, en parte, obliga a las autoras a indagar información restante de otras fuentes secundarias.

### 7.1.2.2. Estimación De Datos Faltantes.

El periodo de estimación fue seleccionado por recomendación de Medina & Campo (Medina & Campo, 2020) y corresponde a una serie multianual desde el año 1978 hasta el 2011 (34 años de análisis), en el cual se incluirá la extrapolación de la información para los años 2012 hasta la actualidad.

Las estimaciones se harán con los valores totales mensuales de precipitación medido en unidades de litro por metro cuadrado (equivalente a milímetros). A continuación, se presenta una tabla con un análisis multianual de las estaciones meteorológicas que presentan datos faltantes.

**Tabla 13**

*Datos Faltantes detectados por cada serie de precipitación mensual analizada*

N°	Nombre	Años con Datos Faltantes	Meses con Datos Faltantes	Número de Datos Faltantes
1	HDA Centenario	1978	Enero, febrero, marzo, abril, mayo, junio y julio	7
		1996	Agosto y diciembre	2
		2009	Abril	1
2	Socomba	1986	Enero, febrero, marzo, junio, julio, agosto, septiembre, noviembre y diciembre	9
		1989	Febrero	1

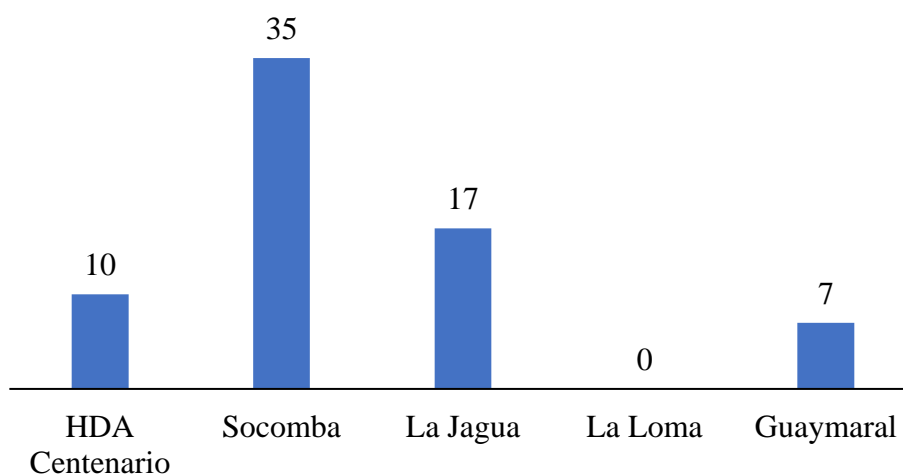
N°	Nombre	Años con Datos Faltantes	Meses con Datos Faltantes	Número de Datos Faltantes
		2002	Mayo, junio, julio, agosto, septiembre, octubre, noviembre y diciembre	8
		2003	Todos	12
		2004	Noviembre y diciembre	2
		2011	Octubre, noviembre y diciembre	3
		2002	Octubre, noviembre y diciembre	3
		2003	Enero, febrero y marzo	3
		2005	Mayo, junio, julio, agosto, septiembre, octubre, noviembre y diciembre	8
		2006	Enero, febrero y noviembre	3
4	La Loma	N/A	N/A	0
		1985	Marzo, agosto, septiembre y diciembre	4
5	Guaymaral	2003	Mayo	1
		2004	Noviembre y diciembre	2

*Nota:* Elaborado por las Autoras (2022), considerando la información obtenida de la página web de consulta y descarga de Datos Hidrometeorológicos del IDEAM. (La estación “La Loma” no presenta datos faltantes en el lapso temporal presentado).

Para las estaciones meteorológicas en referencia, en total, se detecta sesenta y nueve (69) datos faltantes, distribuidos tal como se presenta en la gráfica de la siguiente figura, en donde se evidencia cual de estas estaciones es la que presenta más información restante.

### Figura 21

*Contabilidad de los datos faltantes para cada estación meteorológica*



Nota: Elaborado por las Autoras, 2022.

La que presenta más información faltante es la estación Socomba, siendo la segunda más cercana, después de la estación Hacienda Centenario, a la zona de estudio. Se destaca que, para el periodo seleccionado, la estación La Loma no presenta ausencia de la información, por lo tanto, puede ser un referente importante para completar datos de otras estaciones.

De la tabla 13, se tiene un análisis particular respecto a los meses en los cuales ausenta información puesto que algunas estaciones coinciden, por lo tanto, se realizará una matriz de correlación considerando la distancia entre sí y la altitud de las estaciones meteorológicas, con la finalidad de definir como las estaciones completarán sus datos faltantes al compararla e implementar el método de Mínimos Cuadrados Ordinarios M.C.O.

Dentro de este análisis también se considerará la distancia de cada una de las estaciones respecto al área de estudio y también se correlacionará con su altitud promedio, para identificar cual de todas tiene mayor índice correlativo con el propósito del proyecto de cultivo de siembra de Palma de Aceite Africana en la finca Canta Claro.

A continuación, se presenta la correlación entre distancias:

**Tabla 14.**

*Matriz de correlación de distancias entre estaciones meteorológicas*

	HDA Centenario	Socomba	La Jagua	La Loma	Guaymaral	Zona de Estudio
HDA Centenario	0					
Socomba	18,3	0				
La Jagua	32,79	17,45	0			
La Loma	46,61	41,72	30,31	0		
Guaymaral	42,34	50,76	50,74	33,22	0	
Zona de Estudio	12,77	16,15	23,79	33,87	34,96	0

Nota: Elaborado por las Autoras (2022). Las distancias fueron medidas utilizando herramientas del Sistema de Información Geográfica Google Earth. (Análisis Vertical).

De acuerdo con la tabla 14, se establecen los siguientes lineamientos de estimación de datos faltantes de acuerdo con las distancias:

- Se completarán los datos faltantes de la estación HDA Centenario con los datos de la estación Socomba.

- Se completarán los datos faltantes de la estación Socomba con los datos de la estación La Jagua.
- Se completarán los datos faltantes de la estación La Jagua con los datos de la estación La Loma.
- Se completarán los datos faltantes de la estación La Loma con los datos de la estación Guaymaral.
- Se completarán los datos faltantes de la estación Guaymaral con los datos de la estación La Loma.

Esto se hace considerando, en todo caso, que la información con la que se completarán los datos sean tales que permitan hacerlo, esto significa que los datos no deben precisamente tener muchos datos faltantes, también que sea una información cuya consistencia no integre muchos valores iguales a cero, ya que el método de los M.C.O., debe presentar un coeficiente de correlación ( $r^2$ ) en lo posible mayor a 50% (que es un valor esperado por las autoras).

**Tabla 15**

*Matriz de correlación de altitud entre estaciones meteorológicas*

	HDA Centenario	Socomba	La Jagua	La Loma	Guaymaral	Zona de Estudio
HDA Centenario	0					
Socomba	0,7203	0				
La Jagua	0,7518	1,0438	0			
La Loma	2,3953	3,3256	3,1860	0		
Guaymaral	1,7759	2,4655	2,3621	0,7414	0	

<b>Zona de Estudio</b>	1,3553	1,8816	1,8026	0,5658	0,7632	0
------------------------	--------	--------	--------	--------	--------	---

*Nota:* Elaborado por las Autoras (2022). Las distancias fueron medidas utilizando herramientas del Sistema de Información Geográfica Google Earth. (Análisis Vertical).

De acuerdo con la tabla 15, se establecen los siguientes lineamientos de estimación de datos faltantes de acuerdo con la altitud:

- Se completarán los datos faltantes de la estación HDA Centenario con los datos de la estación Socomba.
- Se completarán los datos faltantes de la estación Socomba con los datos de la estación La Jagua.
- Se completarán los datos faltantes de la estación La Jagua con los datos de la estación Guaymaral.
- Se completarán los datos faltantes de la estación La Loma con los datos de la estación Guaymaral.
- Se completarán los datos faltantes de la estación Guaymaral con los datos de la estación La Loma.

Esto se hace considerando, en todo caso, que la información con la que se completarán los datos posteriores al análisis de las distancias no sea concluyente, debido a inconsistencias en los datos o información que no facilite el proceso. También se debe tener en cuenta que no exista muchos datos faltantes o información igual a cero, ya que esto afecta la estimación mediante los M.C.O., que debe presentar un coeficiente de correlación ( $r^2$ ) en lo posible mayor a 50% (que es un valor esperado por las autoras).

En las tablas 14 y 15, se hizo una exposición referente a la idea de correlacionar las estaciones que tengan la relación más sólida (primaria) seleccionándolas a partir de su distancia

y de su altitud y explicando el patrón que se debe llevar a cabo para las estimaciones mediante los M.C.O., sin embargo, si no es posible realizar la correlación con la relación más sólida, esta se debe realizar con la segunda opción relativa (secundaria) o consiguiente.

Habiendo definido esto, entonces se procederá a analizar como los datos faltantes se relacionan entre sí y decidir si el tipo de correlación dependerá de la distancia o de la altitud y si esta se realizará con la correlación más sólida (primaria) o la consiguiente a la más sólida (secundaria).

**Tabla 16**
*Análisis de las condiciones de correlación.*

<b>Estimación M.C.O. Entre:</b>	<b>Año</b>	<b>Con Distancias</b>	<b>Con Altitud</b>	<b>¿Primaria o Secundaria?</b>	<b>Observación</b>
HDA Centenario y Socomba	1978	X	X	Primaria	Correlación con estación de referencia
	1996	X	X	Primaria	
HDA Centenario y La Jagua	2009		X	Secundaria	Correlación con estación consiguiente
Socomba y La Jagua	1986	X	X	Primaria	Correlación con estación de referencia
	1989	X	X	Primaria	
Socomba y La Loma	2002	X		Secundaria	Correlación con estación consiguiente
Socomba	2003				No posee datos para correlacionarse con otras estaciones
Socomba y La Jagua	2004	X	X	Primaria	Correlación con estación de referencia

<b>Estimación M.C.O. Entre:</b>	<b>Año</b>	<b>Con Distancias</b>	<b>Con Altitud</b>	<b>¿Primaria o Secundaria?</b>	<b>Observación</b>
	2011	X	X	Primaria	
La Jagua y La Loma	2002	X		Primaria	Correlación con estación de referencia
La Jagua y Guaymaral	2003		X	Primaria	Correlación con estación consiguiente
La Jagua y La Loma	2005	X		Primaria	Correlación con estación de referencia
	2006	X		Primaria	
Guaymaral y HDA Centenario	1985	X		Secundaria	Correlación con estación consiguiente
Guaymaral y La Loma	2003	X	X	Primaria	Correlación con estación de referencia
	2004	X	X	Primaria	

*Nota:* Elaborado por las Autoras, 2022.

Se realizaron dieciséis correlaciones mediante Mínimos Cuadrados Ordinarios (M.C.O.) de los cuales se destaca que algunas estaciones tuvieron que correlacionarse con otras. También se resalta que debido a la inexistencia de información no se pudo completar la información de la estación Socomba para el año 2003 mediante correlación entre meses, por lo tanto, se descartará; de esta manera se trabajará y procederá a realizar futuros cálculos referentes al propósito del proyecto.

La estimación de los datos faltantes se puede apreciar en el Anexo 2 del presente documento.

### 7.1.2.3. Consistencia De La Información.

Habiendo completado el proceso de estimación de datos faltantes mediante los Mínimos Cuadrados Ordinarios (M.C.O.), se procede a realizar la reproducción de los gráficos multianuales de la precipitación anual acumulada, con la cual se puede observar el comportamiento tendencial y definir si se requiere una corrección y tratamiento que permita suavizar y estandarizar los datos tal que sean representativos del área de interés.

**Tabla 17**

*Precipitación Anual Acumulada de las Estaciones Meteorológicas*

<b>Años</b>	<b>HDA Centenario</b>	<b>Socomba</b>	<b>La Jagua</b>	<b>La Loma</b>	<b>Guaymaral</b>
1978	1504,31	1649,3	2207	1520	1181,7
1979	3021,91	3612,9	4573	3671	2470,1
1980	4000,21	4664,2	6224	4863	3217,3
1981	6147,51	6820,2	8934,9	6785	4544
1982	7210,91	7992,6	10850,9	8365	5725,6
1983	8913,91	9203,9	12760,1	9396,3	6779,8
1984	11009,11	10806,3	14953,3	10963,3	8111
1985	12461,11	12207,7	16703,2	12136,3	8380,15
1986	13722,61	12873,9	18360	13173,7	9364,75
1987	15493,11	14329,6	19809,1	14637,6	10657,75
1988	17185,31	16309,8	21660,6	15952	12172,25
1989	18486,81	17273,53	23913,6	17142,4	13676,35
1990	20064,31	18504,43	26128,6	18499,8	14830,45

<b>Años</b>	<b>HDA Centenario</b>	<b>Socomba</b>	<b>La Jagua</b>	<b>La Loma</b>	<b>Guaymaral</b>
1991	21195,41	19546,63	27325,6	19296,4	16129,15
1992	22435,71	20782,63	29005,6	21454,4	17446,05
1993	23878,61	22311,93	31227,6	23296,4	18873,85
1994	25111,31	23841,73	33232,6	24286,4	20208,15
1995	26724,81	25578,13	35660,9	25517,8	21337,25
1996	27649,06	27731,23	37379	27154,7	22887,15
1997	28561,66	28650,43	38256	27669,7	23890,45
1998	30491,06	30497,33	40405	29274,6	25091,95
1999	32524,96	32687,63	42784,9	31174,5	26885,35
2000	33876,56	33993,83	45305,9	32654,5	28337,15
2001	35122,96	35272,83	47661,9	33917,5	29464,65
2002	36143,96	36156,29	48301,62	35248,5	30166,55
2003	37631,36	36156,29	48789,96	37303,5	30516,99
2004	38989,86	38777,74	49715,96	39138,6	32621,26
2005	40563,26	40486,04	51065,84	40832,6	33989,16
2006	42252,26	41804,64	52627,29	43004,6	35328,66
2007	44334,16	43687,64	56127,29	44981,7	36729,66
2008	46426,46	45482,64	58710,29	46747,2	38031,36
2009	47120,77	46603,84	60743,29	48042,2	39220,06
2010	49897,97	48989,54	63667,29	51309,2	41619,06

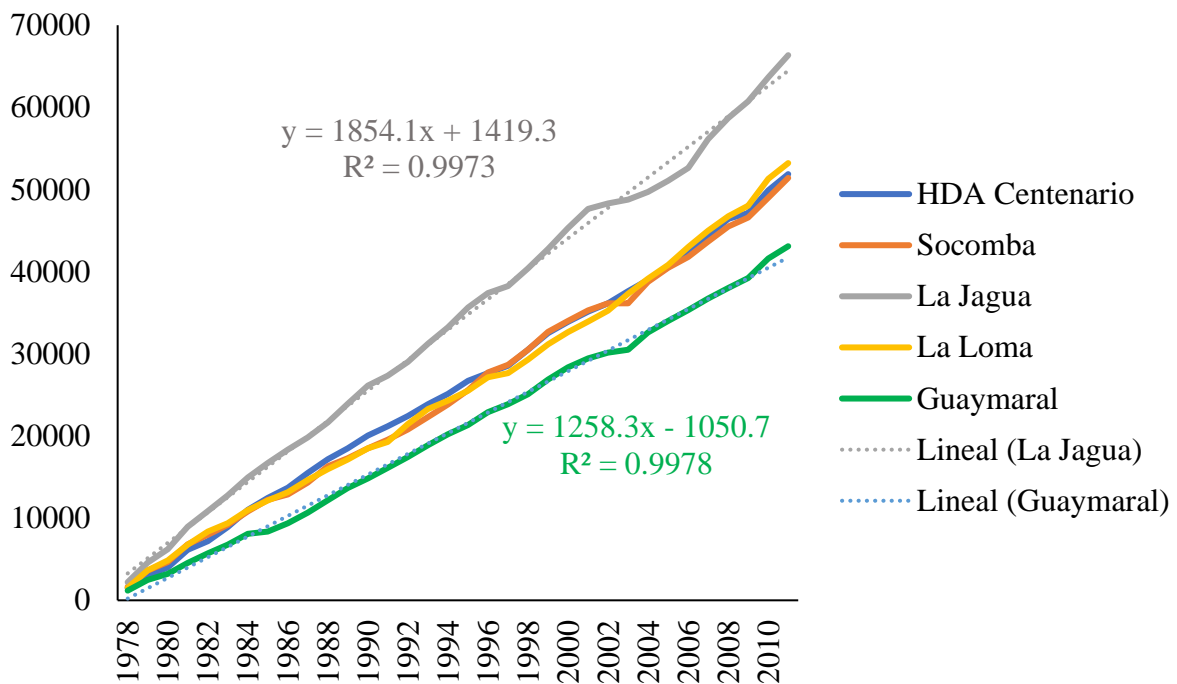
Años	HDA Centenario	Socomba	La Jagua	La Loma	Guaymaral
2011	51874,57	51414,04	66355,29	53219,3	43098,96

Nota: Elaborado por las Autoras, 2022.

A partir de la información presentada en la tabla anterior se crea el gráfico de análisis que permite ver las desviaciones de los datos.

**Figura 22.**

*Comportamiento de las precipitaciones acumuladas de las estaciones meteorológicas*



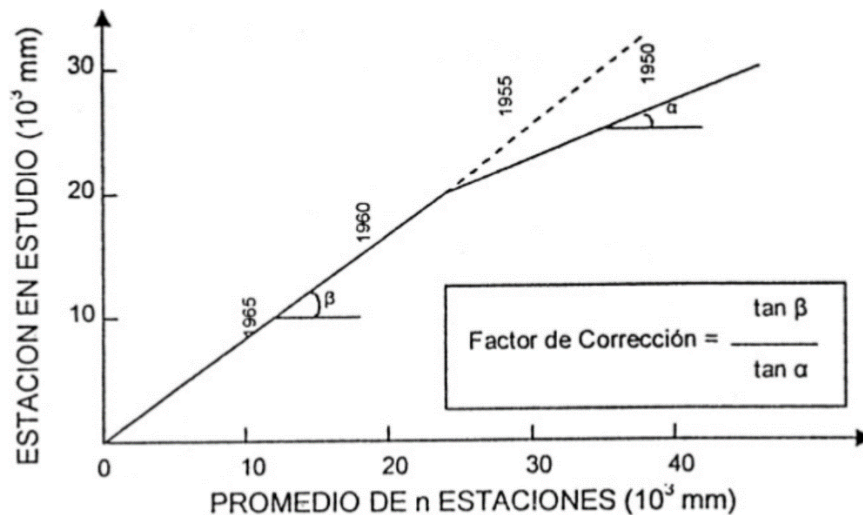
Nota: Elaborado por las Autoras, 2022.

Como se observa, las estaciones Guaymaral y La Jagua, presentan comportamientos diferentes a los representados para las estaciones de Socomba, La Loma y HDA Centenario. Esto no significa que presenten alguna inconsistencia, puesto que su cambio no es abrupto debido a que el comportamiento inesperado sería un cambio exponencial en algún punto, así como se aprecia en la figura 23, pero como se mencionó y observa, se aprecia linealidad en los

datos y crecimiento singular probable a las distintas condiciones y pisos climáticos en donde se desarrollan los eventos de precipitación representados en los datos.

**Figura 23.**

*Análisis de Curva de Masa con inconsistencias*



*Nota:* Tomado de Guía “Precipitación: el agua en la atmósfera” de la Universidad de Nuevo Oriente. (Herrera G., 2009).

Estadísticamente se evaluó el coeficiente de determinación y se definió una línea tendencial, corroborando que el comportamiento es lineal y con coeficientes de determinación superior al 99%, a diferencia de comportamientos exponenciales, parabólicos, polinómico, o potencial.

### **7.1.3. Obtención De Caudales Con El Método Manning y SCS.**

Para poder estimar los caudales mínimos y máximos primeramente se debe considerar que el periodo de retorno del evento de precipitación para el área de siembra se debe estimar en 30 años, también se requiere la definición y delimitación del polígono de escurrimiento de los caños El Zorro (Maraquitas) y Tupula (Zanjón), el diseño de la ecuación y curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) a partir de las precipitaciones de las estaciones

meteorológicas distribuidas en la zona de estudio y que miden la influencia de las lluvias cercanas a las siembras de Palma de Aceite Africana.

### 7.1.3.1. Determinación De La Intensidad-Duración-Frecuencia.

Obedece a una secuencia de pasos con base a la distribución de probabilidades pluviométricas mediante el método de Gumbel, en donde se busca determinar la precipitación máxima probable, las precipitaciones máximas y las intensidades para diferentes tiempos de duración de lluvias, regresiones potenciales para diferentes eventos y periodos, la regresión potencial del área de estudio y finalmente con ello se constituye la ecuación y curvas IDF.

#### 7.1.3.1.1. Distribución De Precipitaciones Probabilísticas De Gumbel.

Considerando la guía metodológica de Cálculos de Hidrología de la Universidad de Salamanca (USAL, 2017), se procede a estimar las variables probabilísticas empleando los valores máximos de precipitación para el registro de lluvia en la serie de años estudiados correspondientes a las estaciones meteorológicas.

**Tabla 18.**

*Valores Máximos de Precipitaciones Anuales de las Estaciones Meteorológicas*

Año	HDA Centenario	Socomba	La Jagua	La Loma	Guaymaral
	Mes (max P)	Mes (max P)	Mes (max P)	Mes (max P)	Mes (max P)
1978	326,88	274,2	369	257	317,4
1979	263,2	395,1	437	383	386
1980	199,9	206,6	293	254	165,4
1981	421,5	405	551	352	303
1982	221,9	352,7	560	563	299,6
1983	345,4	338,8	390,8	202,5	226,6

Año	HDA Centenario	Socomba	La Jagua	La Loma	Guaymaral
	Mes (max P)	Mes (max P)	Mes (max P)	Mes (max P)	Mes (max P)
1984	334,5	272,6	383,1	278	238,2
1985	330,1	302,8	334,8	324	150,08
1986	289,8	179,65	335,8	469,8	331,2
1987	414,3	213,6	253,2	383	249,8
1988	294,2	496,9	372	248,9	395,9
1989	218,5	233,3	515	259,7	339,3
1990	292,6	267,9	514	410,5	200
1991	270,4	271,7	224	217	229,8
1992	235,3	341,7	421	555	244,4
1993	321,3	269,1	561	579	323
1994	229,1	334,7	451	255	205
1995	266	401,1	490	322	195,6
1996	197,17	372,8	290,6	339	228,6
1997	308,2	192,2	229	140	185
1998	278,1	318,4	400	318,9	253,7
1999	351	301,6	501	430	320,2
2000	260	279	605	393	341,1
2001	248,5	280	619	242	276,4
2002	207	162,35	134,89	255	143
2004	239,2	440,81	275	385	325,62
2005	311,6	374	264,37	354	317

Año	HDA Centenario	Socomba	La Jagua	La Loma	Guaymaral
	Mes (max P)	Mes (max P)	Mes (max P)	Mes (max P)	Mes (max P)
2006	343,5	269,5	232,17	340	252,3
2007	446,9	397	739	377	313
2008	504,6	345,3	472	307	223
2009	180,06	151	352	353	228
2010	395,6	355,5	428	749	425
2011	431	479,35	587	358	261

*Nota: Elaborado por las Autoras, 2022.*

El número de datos con el que se trabaja es de treinta y tres años ( $n = 33$ ). De estos datos se hace una sumatoria y se extrae la media.

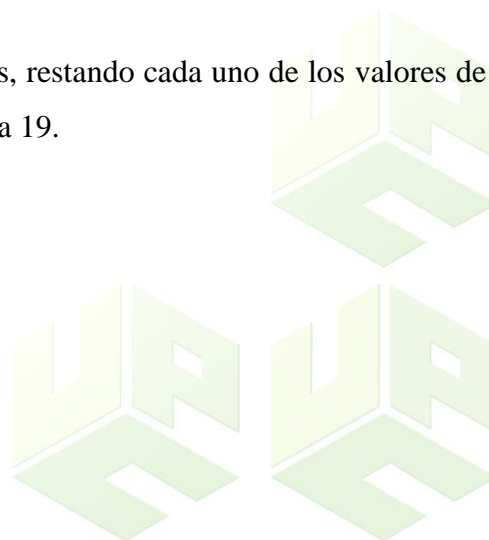
**Tabla 19.**

*Sumatoria y Media de los Valores Máximos de Precipitación.*

Estaciones	HDA Centenario	Socomba	La Jagua	La Loma	Guaymaral
Suma	9977,31	10276,26	13584,73	11654,3	8893,2
x (media)	302,342	311,401	411,658	353,160	269,490

*Nota: Elaborado por las Autoras, 2022.*

Se determina la desviación media de los datos, restando cada uno de los valores de la tabla 18, respecto al valor medio respectivo de la tabla 19.



**Tabla 20.**
*Desviación media de los Valores Máximos de Precipitación*

<b>HDA Centenario</b>	<b>Socomba</b>	<b>La Jagua</b>	<b>La Loma</b>	<b>Guaymaral</b>
<b>Precipitación (mm)</b>	<b>Precipitación (mm)</b>	<b>Precipitación (mm)</b>	<b>Precipitación (mm)</b>	<b>Precipitación (mm)</b>
<b>(xi-x)<sup>2</sup></b>	<b>(xi-x)<sup>2</sup></b>	<b>(xi-x)<sup>2</sup></b>	<b>(xi-x)<sup>2</sup></b>	<b>(xi-x)<sup>2</sup></b>
602,08	1383,98	1819,75	9246,86	2295,28
1532,15	7005,39	642,19	890,39	13574,37
10494,51	10983,42	14079,84	9832,83	10834,92
14198,46	8760,62	19416,06	1,35	1122,86
6471,03	1705,54	22005,21	44032,57	906,56
1853,93	750,66	435,08	22698,62	1839,63
1034,09	1505,58	815,59	5649,12	979,12
770,47	73,99	5907,23	850,34	14258,97
157,32	17358,54	5754,51	13604,75	3808,01
12534,43	9565,20	25109,09	890,39	387,73
66,30	34409,58	1572,80	10870,27	15979,26
7029,60	6099,89	10679,47	8734,88	4873,31
94,92	1892,41	10473,79	3287,81	4828,99
1020,34	1576,23	35215,71	18539,71	1575,37
4494,73	917,98	87,26	40739,14	629,55
359,38	1789,44	22302,89	51003,43	2863,22

<b>HDA Centenario</b>	<b>Socomba</b>	<b>La Jagua</b>	<b>La Loma</b>	<b>Guaymaral</b>
<b>Precipitación (mm)</b>	<b>Precipitación (mm)</b>	<b>Precipitación (mm)</b>	<b>Precipitación (mm)</b>	<b>Precipitación (mm)</b>
<b>(xi-x)<sup>2</sup></b>	<b>(xi-x)<sup>2</sup></b>	<b>(xi-x)<sup>2</sup></b>	<b>(xi-x)<sup>2</sup></b>	<b>(xi-x)<sup>2</sup></b>
5364,50	542,81	1547,75	9635,50	4159,08
1320,79	8045,76	6137,39	970,98	5459,87
11061,30	3769,74	14655,16	200,52	1672,07
34,31	14209,07	33364,12	45437,44	7138,71
587,71	48,97	135,92	1173,79	249,35
2367,53	96,08	7981,91	5904,29	2571,41
1792,91	1049,88	37380,94	1587,18	5127,86
2899,04	986,07	42990,50	12356,68	47,74
9090,24	22216,44	76600,79	9635,50	15999,95
3987,00	16746,48	18675,54	1013,75	3150,47
85,70	3918,53	21693,90	0,70	2257,11
1693,92	1755,76	32216,12	173,20	295,53
20896,81	7327,05	107152,47	568,32	1893,04
40908,00	1149,09	3641,10	2130,80	2161,40
14953,07	25728,74	3559,13	0,03	1721,50
8696,92	1944,65	267,05	156688,83	24183,08
16552,69	28206,59	30744,65	23,42	72,10

*Nota:* Elaborado por las Autoras, 2022.

De estos datos se procede a determinar las variables probabilísticas de Gumbel, como lo son sumatoria, desviación estándar, Alpha ( $\alpha$ ) y Mniu ( $\mu$ ). Estos dos últimos parámetros están dados por las siguientes fórmulas (USAL, 2017):

$$\alpha = \frac{\sqrt{6}}{\pi} * S$$

$$u = x - 0,5403 * \alpha$$

Dónde la constante 0,5403, corresponde a un valor determinístico de área de la curva equivalente a un número de datos de  $n \geq 35$ , en el cual se engloban los 33 datos de años de precipitación que se vienen trabajando.

**Tabla 21.**

*Variables Probabilísticas de Gumbel de los Valores Máximos de Precipitación*

Estaciones	HDA Centenario	Socomba	La Jagua	La Loma	Guaymaral
Suma	205006,170	243520,165	615060,879	488373,39	158917,408
Sx (dv. Std.)	80,0402	87,2353	138,638	123,538	70,4710
alpha (a)	62,4071	68,0171	108,096	96,3222	54,9460
Mniu (u)	268,624	274,652	353,254	301,117	239,803

*Nota:* Elaborado por las Autoras, 2022.

Con esto se procede a obtener las precipitaciones probabilísticas, la probabilidad de ocurrencia según Gumbel y la corrección del intervalo fijo que incluye el riesgo de fallo. Las siguientes formulaciones son las empleadas para el cálculo (USAL, 2017):

- Variable Reducida del Periodo de Retorno

$$YT = -\text{Ln} \left[ \text{Ln} \left( \frac{\text{Periodo de retorno}}{\text{Periodo de retorno}-1} \right) \right]$$

- Precipitación Probabilística de Gumbel

$$XT' = u + (\alpha * YT)$$

- Probabilidad de Ocurrencia de la Precipitación para el Periodo de Retorno

$$F(xT) = e^{-e^{-\left(\frac{x-u}{\alpha}\right)}}$$

- Corrección del Intervalo Fijo

$$XT(mm) = T * XT'$$

- Riesgo de Fallo (T)

El Riesgo de que se produzca un fallo en la precipitación probabilística está dado por la siguiente formulación:

$$T = 1 + \left\{ 1 - \left[ 1 - \left( \frac{1}{n} \right) \right] \right\}$$

Considerando que  $n = 33$ , entonces el riesgo de fallo será igual a 1,03.

En la siguiente tabla se presenta los cálculos de las precipitaciones probabilísticas de Gumbel para cada una de las estaciones meteorológicas de incidencia en el área de estudio.

**Tabla 22**

*Precipitaciones Probabilísticas de Gumbel Estación HDA Centenario*

<b>Estación:</b>		<b>HDA Centenario</b>		
<b>Periodo de Retorno (años)</b>	<b>Variable Reducida YT</b>	<b>Precipitación XT' (mm)</b>	<b>Prob. De Ocurrencia</b>	<b>Corrección Intervalo Fijo</b>
2	0,36651	291,4972	0,5000	300,3304
5	1,49994	362,2311	0,8000	373,2078

10	2,25037	409,0631	0,9000	421,4590
25	3,19853	468,2355	0,9600	482,4245
30	3,38429	479,8283	0,9667	494,3685
50	3,90194	512,1330	0,9800	527,6521
100	4,60015	555,7063	0,9900	572,5459
500	6,21361	656,3976	0,9980	676,2884

Nota: Elaborado por las Autoras, 2022.

En la siguiente tabla se presenta los cálculos de las precipitaciones probabilísticas de Gumbel para la estación Socomba.

**Tabla 23**

*Precipitaciones Probabilísticas de Gumbel Estación Socomba*

<b>Estación:</b>		<b>Socomba</b>		
<b>Periodo de Retorno (años)</b>	<b>Variable Reducida YT</b>	<b>Precipitación XT (mm)</b>	<b>Prob. De Ocurrencia</b>	<b>Corrección Intervalo Fijo</b>
2	0,36651	299,5813	0,5000	308,6595
5	1,49994	376,6738	0,8000	388,0881
10	2,25037	427,7157	0,9000	440,6768
25	3,19853	492,2073	0,9600	507,1226
30	3,38429	504,8421	0,9667	520,1404
50	3,90194	540,0508	0,9800	556,4160
100	4,60015	587,5411	0,9900	605,3453
500	6,21361	697,2838	0,9980	718,4136

Nota: Elaborado por las Autoras, 2022.

En la siguiente tabla se presenta los cálculos de las precipitaciones probabilísticas de Gumbel para la estación La Jagua.

**Tabla 24**

*Precipitaciones Probabilísticas de Gumbel Estación La Jagua*

<b>Estación:</b> La Jagua				
<b>Periodo de Retorno (años)</b>	<b>Variable Reducida YT</b>	<b>Precipitación XT (mm)</b>	<b>Prob. De Ocurrencia</b>	<b>Corrección Intervalo Fijo</b>
2	0,36651	392,8728	0,5000	404,7780
5	1,49994	515,3918	0,8000	531,0097
10	2,25037	596,5100	0,9000	614,5861
25	3,19853	699,0031	0,9600	720,1850
30	3,38429	719,0830	0,9667	740,8734
50	3,90194	775,0383	0,9800	798,5243
100	4,60015	850,5121	0,9900	876,2852
500	6,21361	1024,9206	0,9980	1055,9788

*Nota:* Elaborado por las Autoras, 2022.

En la siguiente tabla se presenta los cálculos de las precipitaciones probabilísticas de Gumbel para la estación La Loma.

**Tabla 25**

*Precipitaciones Probabilísticas de Gumbel Estación La Loma*

<b>Estación:</b> La Loma				
<b>Periodo de Retorno (años)</b>	<b>Variable Reducida YT</b>	<b>Precipitación XT (mm)</b>	<b>Prob. De Ocurrencia</b>	<b>Corrección Intervalo Fijo</b>
2	0,36651	336,4210	0,5000	346,6156

5	1,49994	445,5953	0,8000	459,0982
10	2,25037	517,8782	0,9000	533,5715
25	3,19853	609,2078	0,9600	627,6686
30	3,38429	627,1006	0,9667	646,1037
50	3,90194	676,9613	0,9800	697,4753
100	4,60015	744,2145	0,9900	766,7665
500	6,21361	899,6265	0,9980	926,8879

*Nota:* Elaborado por las Autoras, 2022.

En la siguiente tabla se presenta los cálculos de las precipitaciones probabilísticas de Gumbel para la estación Guaymaral.

**Tabla 26.**

*Precipitaciones Probabilísticas de Gumbel Estación Guaymaral*

<b>Estación:</b> Guaymaral				
<b>Periodo de Retorno (años)</b>	<b>Variable Reducida YT</b>	<b>Precipitación XT (mm)</b>	<b>Prob. De Ocurrencia</b>	<b>Corrección Intervalo Fijo</b>
2	0,36651	259,9420	0,5000	267,8190
5	1,49994	322,2193	0,8000	331,9836
10	2,25037	363,4524	0,9000	374,4661
25	3,19853	415,5504	0,9600	428,1428
30	3,38429	425,7572	0,9667	438,6589
50	3,90194	454,1997	0,9800	467,9633
100	4,60015	492,5636	0,9900	507,4898
500	6,21361	581,2168	0,9980	598,8294

*Nota:* Elaborado por las Autoras, 2022.

En la siguiente tabla se presenta un resumen de los intervalos de corrección fijo de las precipitaciones, en donde se presentan las cinco estaciones meteorológicas referentes, en la cual, se resalta que la estación La Jagua es aquella que tiene mayor probabilidad de registro pluviométrico probabilístico estimado en periodos de retorno y esto es correcto, puesto que se corrobora con la teoría, valores consignados y esperados, puesto que tiene como base la información de precipitación, así como la localización geográfica, que es favorecido por las lluvias registradas.

**Tabla 27**
*Corrección de Intervalo Fijo de las Estaciones Meteorológicas*

<b>Periodo de Retorno (años)</b>	<b>HDA Centenario</b>	<b>Socomba</b>	<b>La Jagua</b>	<b>La Loma</b>	<b>Guaymaral</b>
2	300,3304	308,6595	404,7780	346,6156	267,8190
5	373,2078	388,0881	531,0097	459,0982	331,9836
10	421,4590	440,6768	614,5861	533,5715	374,4661
25	482,4245	507,1226	720,1850	627,6686	428,1428
30	494,3685	520,1404	740,8734	646,1037	438,6589
50	527,6521	556,4160	798,5243	697,4753	467,9633
100	572,5459	605,3453	876,2852	766,7665	507,4898
500	676,2884	718,4136	1055,9788	926,8879	598,8294

*Nota:* Elaborado por las Autoras, 2022.

### **7.1.3.1.2. Precipitaciones Máximas Para Diferentes Tiempos De Lluvias**

Para determinar las Precipitaciones Máximas en diferentes tiempos de lluvia (referente a la duración y frecuencia) se debe tener en cuenta las probabilidades de lluvia por periodos horarios en un día efectivo de lluvia. El IDEAM ausenta de esta información, puesto que la

tecnología de las estaciones meteorológicas no registra la intensidad de lluvia por minuto de lluvia, lo que impide definir esta probabilidad.

Sin embargo, Campos (1978), definió los coeficientes de distribución de lluvias probables con la cual se diseñan obras hidráulicas, civiles y otras ambientales que requieren la confección de la Curva y Ecuación IDF.

**Tabla 28**

*Coefficientes de Distribución de Lluvias*

<b>Horas</b>	24	18	12	8	6	5	4	3	2	1
<b>Coefficientes</b>	1	0,91	0,8	0,68	0,61	0,57	0,52	0,46	0,39	0,3

G.----- Campos D.F., 1978.

Esta información es importante, puesto que se requiere para determinar la precipitación máxima (Pd) por tiempos de duración por cada estación y finalmente mediante una sumatoria ponderada se obtiene una sola tabla que combina la información de cada una de ellas en una sola. Para lograr esto se emplea la siguiente formulación matemática:

$$\overline{Pd} = \frac{\sum_{i=1}^n C_i \times A_i}{A_T}$$

Dónde,

C<sub>i</sub> = Corrección de Intervalo Fijo

A<sub>i</sub> = Área de incidencia de la estación pluviométrica

A<sub>T</sub> = Área Total de Incidencia de todas las estaciones pluviométricas

Considerando esto, se hará necesario determinar el área de incidencia de las estaciones pluviométricas, para esto se calcula el área mediante los polígonos de Thiessen.

**Figura 24.**

*Intercepto y puntos medios de las estaciones meteorológicas*

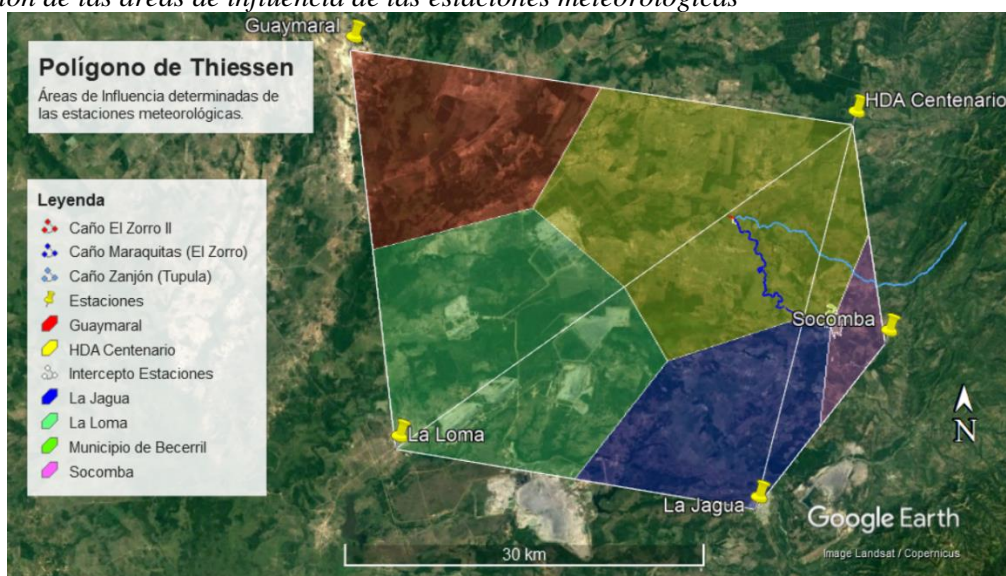


*Nota:* Elaborado por las Autoras (2022), utilizando herramientas del Sistema de Información Geográfica Google Earth.

Para esto se dibujan líneas de intersección, se definen los puntos medios entre las estaciones y se interceptan con las estaciones contrapuestas como se aprecian en la figura anterior.

**Figura 25.**

*Definición de las áreas de influencia de las estaciones meteorológicas*



*Nota:* Elaborado por las Autoras (2022), utilizando herramientas del Sistema de Información Geográfica Google Earth.

Como se aprecia, las áreas de mayor incidencia en la zona de interés y del proyecto, son la HDA Centenario y Socomba, a pesar de esto, para los cálculos se considerarán las otras estaciones. Las áreas para cada una de ellas son las siguientes:

**Tabla 29.**

*Áreas de las Estaciones Referentes*

<b>Estaciones</b>	<b>Área (km<sup>2</sup>)</b>
HDA Centenario	227
Socomba	39
La Jagua	205
La Loma	393
Guaymaral	227
<b>Total</b>	<b>1091</b>

*Nota:* Elaborado por las Autoras, 2022.

En la siguiente tabla se presentan las Precipitaciones Máximas por tiempos de duración para la zona de estudio combinada de las áreas de las estaciones meteorológicas:

**Tabla 30**

*Precipitación máxima Pd (mm) por tiempos de duración*

<b>Tiempo de Duración (h)</b>	<b>Precipitación máxima Pd (mm) por tiempos de duración</b>							
	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>25</b>	<b>30</b>	<b>50</b>	<b>100</b>	<b>500</b>
24	330,2	425,8	489,0	568,1	584,7	628,3	687,2	823,3
18	300,4	387,4	445,0	517,0	532,1	571,8	625,4	749,2
12	264,1	340,6	391,2	454,5	467,7	502,7	549,8	658,6
8	224,5	289,5	332,5	386,3	397,6	427,3	467,3	559,8
6	201,4	259,7	298,3	346,6	356,7	383,3	419,2	502,2

5	188,2	242,7	278,8	323,8	333,3	358,1	391,7	469,3
4	171,7	221,4	254,3	295,4	304,0	326,7	357,4	428,1
3	151,9	195,8	225,0	261,3	269,0	289,0	316,1	378,7
2	128,8	166,0	190,7	221,6	228,0	245,0	268,0	321,1
1	99,0	127,7	146,7	170,4	175,4	188,5	206,2	247,0

Nota: Elaborado por las Autoras, 2022.

Como se observa, conforme a la tabla anterior la precipitación máxima se registra a un tiempo de duración de 24 horas y un periodo de retorno de 500 años, puesto que es la condición de mayor probabilidad.

#### 7.1.3.1.3. Intensidades De Lluvia De Las Precipitaciones Máximas

Para determinar la intensidad se divide la precipitación máxima Pd respecto al tiempo de duración del evento de la lluvia, tal como se aprecia en la siguiente tabla:

$$I \left( \frac{\text{mm}}{\text{hora}} \right) = \frac{\text{Precipitación Máxima Pd (mm) por tiempos de duración}}{\text{Tiempo de duración en horas}}$$

En la siguiente tabla, se presenta el cálculo de la intensidad.

**Tabla 31**

*Intensidades de la Lluvia (mm/h) según el periodo de retorno*

Tiempo de duración (h)	Intensidad de la lluvia (mm /h) según el Periodo de Retorno							
	2	5	10	25	30	50	100	500
24	13,76	17,74	20,38	23,67	24,36	26,18	28,63	34,30
18	16,69	21,52	24,72	28,72	29,56	31,77	34,74	41,62
12	22,01	28,38	32,60	37,88	38,98	41,89	45,81	54,89
8	28,06	36,19	41,57	48,29	49,70	53,41	58,41	69,98
6	33,57	43,28	49,72	57,76	59,44	63,88	69,87	83,70

5	37,64	48,54	55,75	64,77	66,65	71,63	78,34	93,86
4	42,92	55,35	63,58	73,86	76,01	81,68	89,34	107,03
3	50,62	65,28	74,99	87,11	89,65	96,34	105,37	126,24
2	64,38	83,02	95,36	110,78	114,01	122,52	134,01	160,54
1	99,05	127,73	146,71	170,44	175,40	188,50	206,17	246,99

*Nota:* Elaborado por las Autoras, 2022.

Como se aprecia en la tabla anterior, se observa que el evento de Intensidad Máximo se presenta en condiciones de tiempo de duración igual a una hora y un periodo de retorno de quinientos años, siendo que en estas características se presenta la mayor probabilidad.



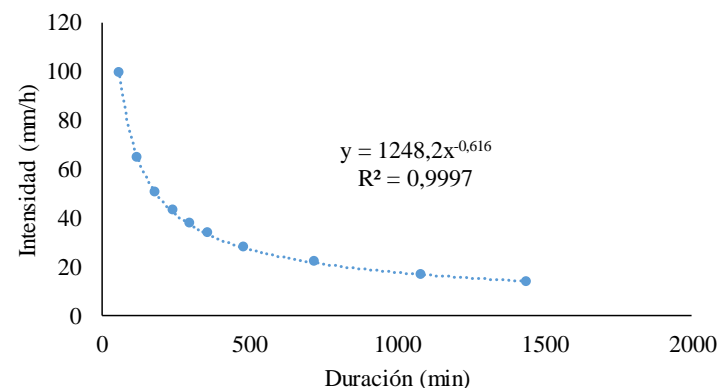
#### 7.1.3.1.4. Regresiones Potenciales IDF

Se realizan regresiones potenciales entre la duración de un evento de precipitación diaria (en unidades de minutos) para cada intensidad del periodo de retorno del estudio. En las siguientes tablas se presentan tales regresiones:

**Tabla 32**

*Regresión Potencial para un Periodo de Retorno de 2 años*

Periodo de retorno para T = 2 años						
Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx) <sup>2</sup>
1	1440	13,7567628	7,272398393	2,621530546	19,06481453	52,8877784
2	1080	16,6915389	6,98471632	2,814901939	19,66129152	48,7862621
3	720	22,0108205	6,579251212	3,091534176	20,33997997	43,2865465
4	480	28,0637962	6,173786104	3,334480354	20,58636847	38,1156349
5	360	33,5665013	5,886104031	3,513528586	20,68099477	34,6462207
6	300	37,6385031	5,703782475	3,628027546	20,69347993	32,5331345
7	240	42,9211001	5,480638923	3,759363548	20,60371419	30,037403
8	180	50,6248873	5,192956851	3,924443299	20,37946471	26,9668009
9	120	64,3816501	4,787491743	4,164828656	19,9390828	22,9200772
10	60	99,0486925	4,094344562	4,595611572	18,81601725	16,7636574
n = 10	4980	408,704253	58,15547061	35,44825022	200,7652082	346,943515
Ln (d) =	7,1294473	d =	1248,186935	n =	-0,616386088	



*Nota:* Elaborado por las Autoras, 2022.

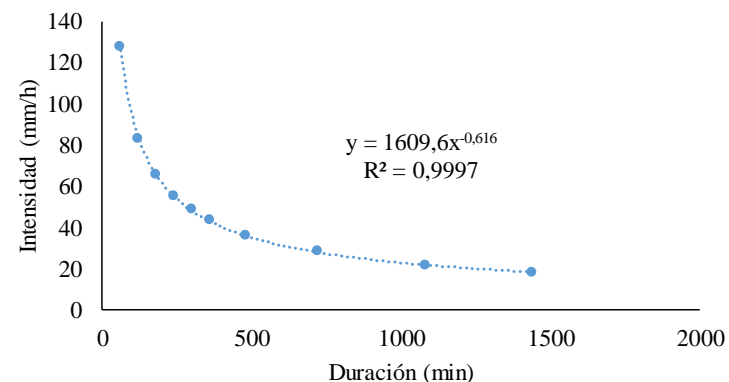
En la siguiente tabla se presenta la regresión potencial para un periodo de retorno de 5 años.



**Tabla 33**

*Regresión Potencial para un Periodo de Retorno de 5 años*

Periodo de retorno para T = 5 años						
Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx) <sup>2</sup>
1	1440	17,739706	7,272398393	2,875805407	20,91400262	52,8877784
2	1080	21,5241767	6,98471632	3,0691768	21,43732928	48,7862621
3	720	28,3835297	6,579251212	3,345809036	22,01291815	43,2865465
4	480	36,1890003	6,173786104	3,588755215	22,15620707	38,1156349
5	360	43,2848828	5,886104031	3,767803446	22,17768305	34,6462207
6	300	48,5358357	5,703782475	3,882302406	22,14380843	32,5331345
7	240	55,3478829	5,480638923	4,013638409	21,99730289	30,037403
8	180	65,2821183	5,192956851	4,178718159	21,69990309	26,9668009
9	120	83,0218243	4,787491743	4,419103517	21,1564216	22,9200772
10	60	127,725884	4,094344562	4,849886433	19,85710614	16,7636574
n = 10	4980	527,03484	58,15547061	37,99099883	215,5526823	346,943515
Ln (d) =	7,3837222	d =	1609,569749	n =	-0,616386088	



*Nota:* Elaborado por las Autoras, 2022.

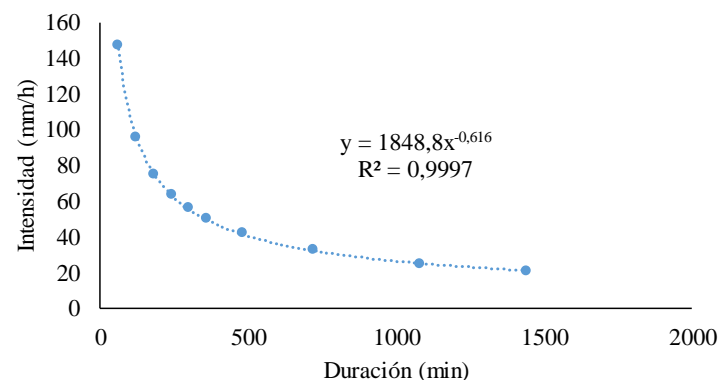
En la siguiente tabla se presenta la regresión potencial para un periodo de retorno de 10 años.



**Tabla 34**

*Regresión Potencial para un Periodo de Retorno de 10 años*

Periodo de retorno para T = 10 años						
Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx) <sup>2</sup>
1	1440	20,376761	7,272398393	3,014395086	21,92188198	52,8877784
2	1080	24,7238034	6,98471632	3,207766479	22,40533887	48,7862621
3	720	32,6028176	6,579251212	3,484398715	22,92473447	43,2865465
4	480	41,5685925	6,173786104	3,727344893	23,01183011	38,1156349
5	360	49,7192969	5,886104031	3,906393125	22,99343632	34,6462207
6	300	55,7508181	5,703782475	4,020892085	22,93429381	32,5331345
7	240	63,5754944	5,480638923	4,152228087	22,75686287	30,037403
8	180	74,9864805	5,192956851	4,317307838	22,41959331	26,9668009
9	120	95,3632416	4,787491743	4,557693196	21,81991854	22,9200772
10	60	146,712679	4,094344562	4,988476112	20,42454004	16,7636574
n = 10	4980	605,379985	58,15547061	39,37689562	223,6124303	346,943515
Ln (d) =	7,5223119	d =	1848,836617	n =	-0,616386088	



*Nota:* Elaborado por las Autoras, 2022.

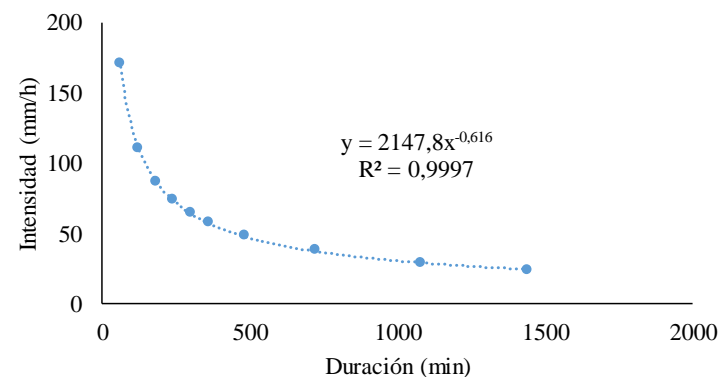
En la siguiente tabla se presenta la regresión potencial para un periodo de retorno de 25 años.



**Tabla 35**

*Regresión Potencial para un Periodo de Retorno de 25 años*

Periodo de retorno para T = 25 años						
Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx) <sup>2</sup>
1	1440	23,6719001	7,272398393	3,164288693	23,011968	52,8877784
2	1080	28,7219054	6,98471632	3,357660086	23,4523032	48,7862621
3	720	37,8750401	6,579251212	3,634292322	23,91092217	43,2865465
4	480	48,2906761	6,173786104	3,877238501	23,93724118	38,1156349
5	360	57,7594361	5,886104031	4,056286732	23,87572569	34,6462207
6	300	64,7663185	5,703782475	4,170785693	23,78925434	32,5331345
7	240	73,8563282	5,480638923	4,302121695	23,57837561	30,037403
8	180	87,1125922	5,192956851	4,467201445	23,19798435	26,9668009
9	120	110,784492	4,787491743	4,707586803	22,53753295	22,9200772
10	60	170,43768	4,094344562	5,138369719	21,03825612	16,7636574
n = 10	4980	703,276369	58,15547061	40,87583169	232,3295636	346,943515
Ln (d) =	7,6722055	d =	2147,813168	n =	-0,616386088	



*Nota:* Elaborado por las Autoras, 2022.

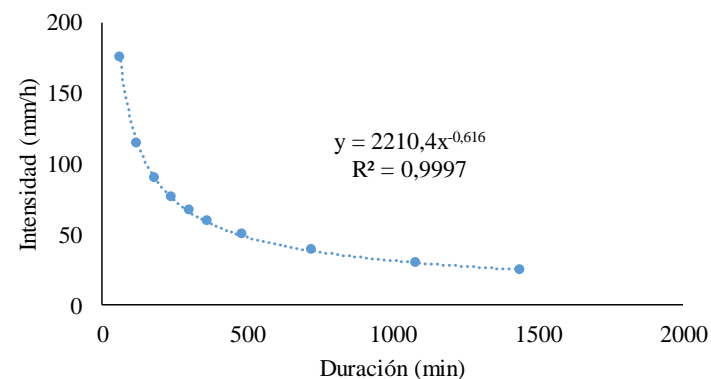
En la siguiente tabla se presenta la regresión potencial para un periodo de retorno de 30 años.



**Tabla 36**

*Regresión Potencial para un Periodo de Retorno de 30 años*

Periodo de retorno para T = 30 años						
Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx) <sup>2</sup>
1	1440	24,3614616	7,272398393	3,193002441	23,22078582	52,8877784
2	1080	29,5585734	6,98471632	3,386373834	23,65286059	48,7862621
3	720	38,9783386	6,579251212	3,663006071	24,09983713	43,2865465
4	480	49,6973817	6,173786104	3,905952249	24,11451372	38,1156349
5	360	59,4419663	5,886104031	4,085000481	24,0447378	34,6462207
6	300	66,652959	5,703782475	4,199499441	23,95303131	32,5331345
7	240	76,0077602	5,480638923	4,330835443	23,7357453	30,037403
8	180	89,6501787	5,192956851	4,495915194	23,34709361	26,9668009
9	120	114,01164	4,787491743	4,736300551	22,67499978	22,9200772
10	60	175,402524	4,094344562	5,167083467	21,1558201	16,7636574
n = 10	4980	723,762783	58,15547061	41,16296917	233,9994252	346,943515
Ln (d) =	7,7009192	d =	2210,378884	n =	-0,616386088	



*Nota:* Elaborado por las Autoras, 2022.

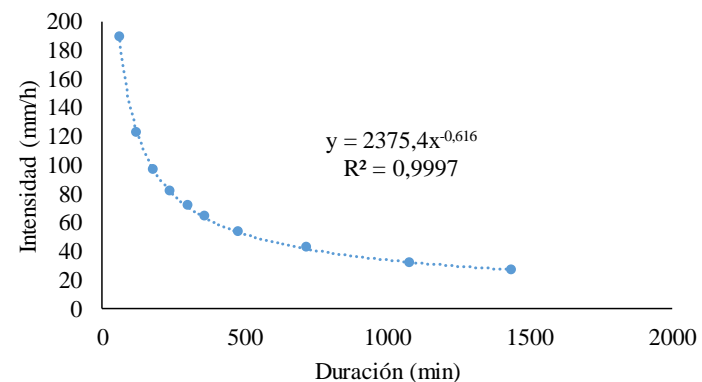
En la siguiente tabla se presenta la regresión potencial para un periodo de retorno de 50 años.



**Tabla 37**

*Regresión Potencial para un Periodo de Retorno de 50 años*

Periodo de retorno para T = 50 años						
Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx) <sup>2</sup>
1	1440	26,1805	7,272398393	3,265014857	23,7444888	52,8877784
2	1080	31,7656733	6,98471632	3,45838625	24,15584688	48,7862621
3	720	41,8887999	6,579251212	3,735018487	24,57362491	43,2865465
4	480	53,4082199	6,173786104	3,977964665	24,55910297	38,1156349
5	360	63,8804199	5,886104031	4,157012897	24,46861037	34,6462207
6	300	71,6298479	5,703782475	4,271511857	24,36377447	32,5331345
7	240	81,6831599	5,480638923	4,402847859	24,13041935	30,037403
8	180	96,3442399	5,192956851	4,56792761	23,72105097	26,9668009
9	120	122,52474	4,787491743	4,808312967	23,01975863	22,9200772
10	60	188,4996	4,094344562	5,239095883	21,45066374	16,7636574
n = 10	4980	777,8052	58,15547061	41,88309333	238,1873411	346,943515
Ln (d) =	7,7729316	d =	2375,424973	n =	-0,616386088	



*Nota:* Elaborado por las Autoras, 2022.

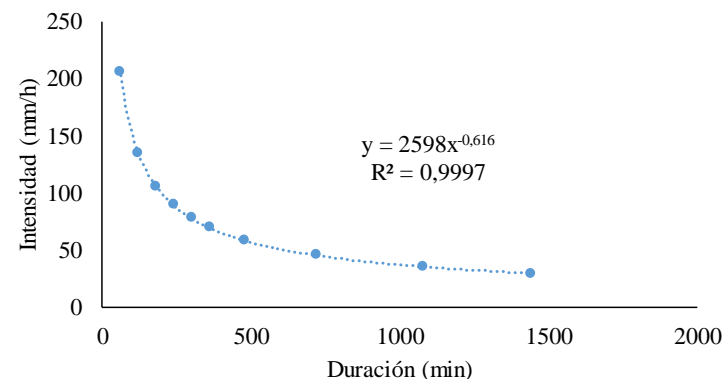
En la siguiente tabla se presenta la regresión potencial para un periodo de retorno de 100 años.



**Tabla 38**

*Regresión Potencial para un Periodo de Retorno de 100 años*

Periodo de retorno para T = 100 años						
Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx) <sup>2</sup>
1	1440	28,6340615	7,272398393	3,35459697	24,39596561	52,8877784
2	1080	34,7426613	6,98471632	3,547968363	24,78155253	48,7862621
3	720	45,8144984	6,579251212	3,8246006	25,16300813	43,2865465
4	480	58,4134854	6,173786104	4,067546778	25,11216378	38,1156349
5	360	69,86711	5,886104031	4,24659501	24,99590001	34,6462207
6	300	78,3427922	5,703782475	4,36109397	24,87473136	32,5331345
7	240	89,3382718	5,480638923	4,492429972	24,62138657	30,037403
8	180	105,373346	5,192956851	4,657509723	24,18624702	26,9668009
9	120	134,007408	4,787491743	4,89789508	23,44863225	22,9200772
10	60	206,165243	4,094344562	5,328677996	21,81744378	16,7636574
n = 10	4980	850,698877	58,15547061	42,77891446	243,397031	346,943515
Ln (d) =	7,8625137	d =	2598,043003	n =	-0,616386088	



*Nota:* Elaborado por las Autoras, 2022.

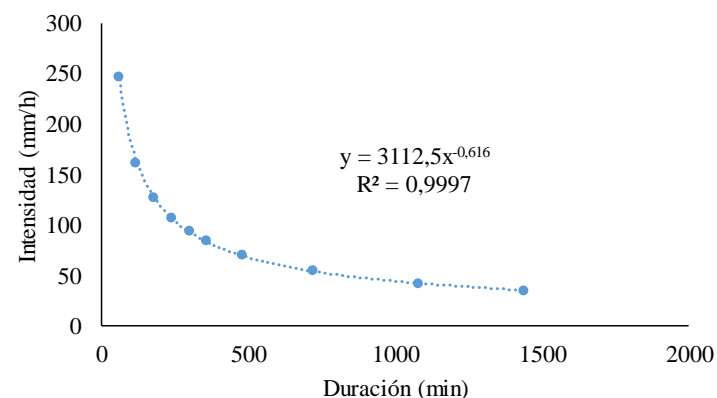
En la siguiente tabla se presenta la regresión potencial para un periodo de retorno de 100 años.



**Tabla 39**

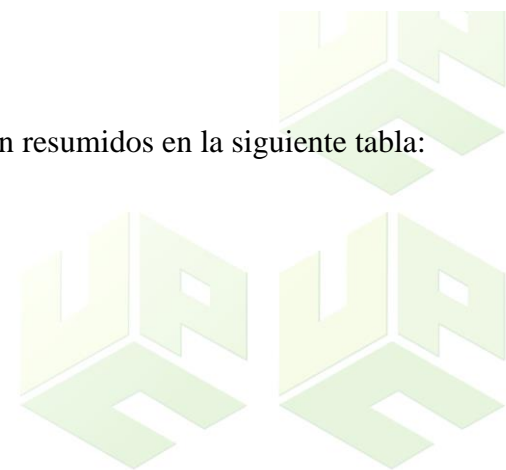
*Regresión Potencial para un Periodo de Retorno de 500 años*

Periodo de retorno para T = 500 años						
Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx) <sup>2</sup>
1	1440	34,3038676	7,272398393	3,535258106	25,70980537	52,8877784
2	1080	41,622026	6,98471632	3,728629499	26,04341932	48,7862621
3	720	54,8861882	6,579251212	4,005261736	26,35162313	43,2865465
4	480	69,9798899	6,173786104	4,248207914	26,22752699	38,1156349
5	360	83,701437	5,886104031	4,427256146	26,05929025	34,6462207
6	300	93,8553818	5,703782475	4,541755106	25,90518318	32,5331345
7	240	107,028067	5,480638923	4,673091108	25,61152502	30,037403
8	180	126,238233	5,192956851	4,838170858	25,12441251	26,9668009
9	120	160,5421	4,787491743	5,078556216	24,31354595	22,9200772
10	60	246,987847	4,094344562	5,509339132	22,55713272	16,7636574
n = 10	4980	1019,14504	58,15547061	44,58552582	253,9034644	346,943515
Ln (d) =	8,0431749	d =	3112,479286	n =	-0,616386088	



*Nota:* Elaborado por las Autoras, 2022.

En las ocho regresiones potenciales se determinaron los coeficientes  $d$  y  $n$ , los cuales se presentan resumidos en la siguiente tabla:



**Tabla 40***Resumen de la aplicación de las regresiones potenciales*

<b>Periodo de Retorno (años)</b>	<b>Término cte. De regresión (d)</b>	<b>Coef. De regresión [n]</b>
2	1248,1869	-0,61638609
5	1609,5697	-0,61638609
10	1848,8366	-0,61638609
25	2147,8132	-0,61638609
30	2210,3789	-0,61638609
50	2375,425	-0,61638609
100	2598,043	-0,61638609
500	3112,4793	-0,61638609
<b>Promedio</b>	<b>2143,8416</b>	<b>-0,61638609</b>

*Nota:* Elaborado por las Autoras, 2022.

Definidos los términos, se realiza la regresión potencial integral considerando el término constante de regresión (d) respecto a los tiempos de lluvia efectiva en minutos. En la siguiente tabla se presenta la regresión.

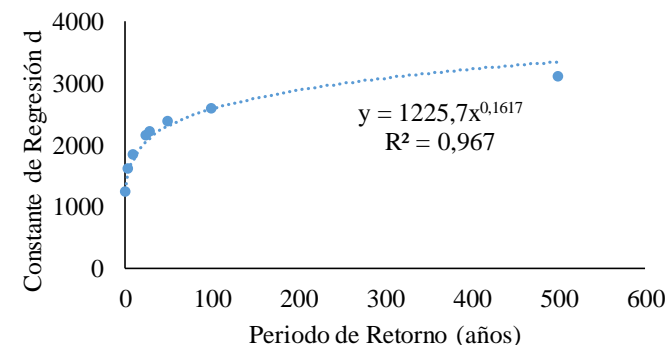


### 7.1.3.1.5. Curva y Ecuación IDF

**Tabla 41**

*Regresión Potencial Integrada*

Regresión potencial						
Nº	x	d	ln x	ln d	ln x*ln d	(lnx) <sup>2</sup>
1	2	1248,18694	0,693147181	7,129447326	4,941756313	0,48045301
2	5	1609,56975	1,609437912	7,383722186	11,88364242	2,59029039
3	10	1848,83662	2,302585093	7,522311865	17,32076316	5,30189811
4	25	2147,81317	3,218875825	7,672205472	24,69587672	10,3611616
5	30	2210,37888	3,401197382	7,700919221	26,19234629	11,5681436
6	50	2375,42497	3,912023005	7,772931637	30,40788738	15,303924
7	100	2598,043	4,605170186	7,86251375	36,20821391	21,2075924
8	500	3112,47929	6,214608098	8,043174885	49,98517978	38,6213538
n= 8	722	17150,7326	25,95704468	61,08722634	201,635666	105,434817
Ln (K) =	7,11126	K =	1225,690886	m =	0,161695862	

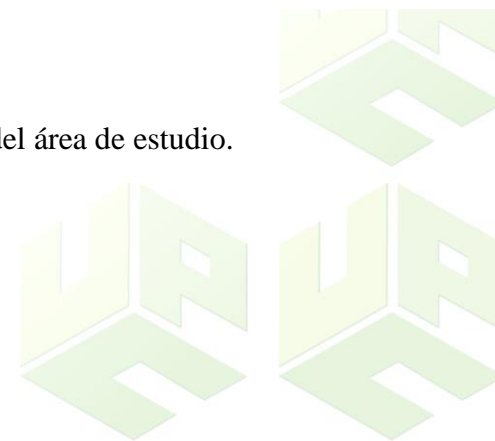


*Nota:* Elaborado por las Autoras, 2022.

A partir de los parámetros estimados con la regresión potencial se confecciona la ecuación IDF del área de estudio.

$$I = \frac{1225,69 \times F^{0,16169}}{D^{0,61638}}$$

Dónde, I: Intensidad; D: Duración; F: Frecuencia.



Para obtener la curva de Intensidad-Duración-Frecuencia se realiza la siguiente tabla usando la Ecuación IDF del área de estudio y la frecuencia en años, presentada en la misma tabla.

**Tabla 42**

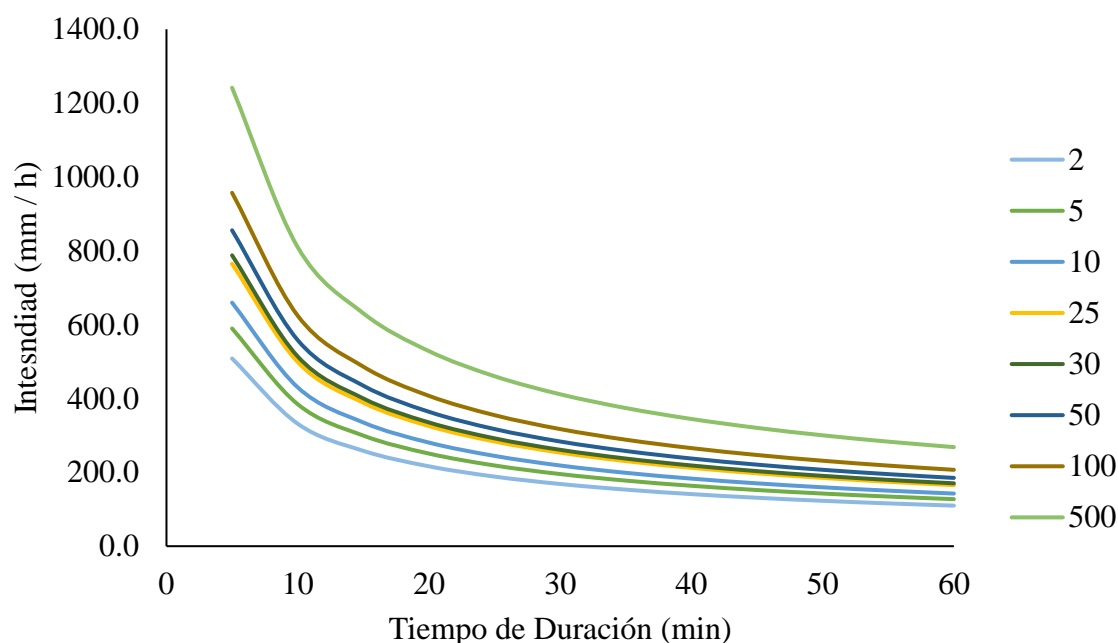
*Tabla de Intensidad y Tiempo de Duración*

Frecuencia en años (F)	Duración en minutos (D)											
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
2	508,4	331,6	258,3	216,3	188,5	168,5	153,2	141,1	131,2	123,0	116,0	109,9
5	589,6	384,6	299,6	250,9	218,6	195,4	177,7	163,6	152,2	142,6	134,5	127,5
10	659,5	430,2	335,1	280,6	244,6	218,6	198,8	183,1	170,2	159,5	150,4	142,6
25	764,9	498,9	388,6	325,5	283,6	253,5	230,5	212,3	197,4	185,0	174,5	165,3
30	787,8	513,9	400,2	335,2	292,1	261,1	237,4	218,6	203,3	190,5	179,7	170,3
50	855,6	558,1	434,7	364,0	317,3	283,5	257,8	237,5	220,8	207,0	195,1	185,0
100	957,1	624,3	486,2	407,2	354,9	317,2	288,4	265,6	247,0	231,5	218,3	206,9
500	1241,5	809,9	630,8	528,3	460,4	411,4	374,2	344,6	320,5	300,3	283,2	268,4

*Nota:* Elaborado por los Autores, 2022.

**Figura 26**

*Curvas IDF del área de influencia del cultivo de Palma de Aceite*



*Nota:* Elaborado por las Autoras, 2022.

### 7.1.3.2. Caudales Mínimos y Máximos De Precipitación

Las curvas IDF son un insumo del cual se puede obtener la intensidad para un periodo de retorno igual a 30 años (de siembra de las Palmas) para una duración específica (60 minutos de lluvia en promedio) que permite calcular el caudal máximo canalizado y el tamaño de una lluvia efectiva, empleando el método de la velocidad en canales de Manning y complementándolo con el método del Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos de América.

Considerando las secciones transversales presentadas en la tabla 2 en este documento, se determinará la velocidad de Manning para condiciones de flujo normal y condiciones de flujo máximo.

Primeramente, se supone que las secciones transversales son correspondientes con trapecios irregulares, puesto que en ambas orillas poseen diferentes pendientes en sus orillas.

Se determinará el perímetro mojado, el cual viene dado por la sumatoria de las longitudes húmedas y que tienen contacto con el agua que fluye por los canales.

$$PM = b + Z_1 + Z_2$$

Dónde,

b = Base menor del trapecio

$Z_1$  = talud de inclinación margen derecha

$Z_2$  = talud de inclinación margen izquierda

Así mismo, se determinará el área del trapecio mediante la formula:

$$A = \frac{(B + b) \times h}{2}$$

Dónde,

B = Base mayor del trapecio

h = tirante o altitud del espejo de agua.

Al dividir el área sobre el perímetro mojado se obtiene el radio hidráulico. La pendiente se determina así:

$$S = \frac{\nabla M - \nabla m}{L}$$

Que son la cota mayor, menor y la longitud del cauce principal como se había indicado en el desarrollo metodológico del presente documento. Con la fórmula de la velocidad de Manning se tiene lo necesario para determinar el caudal.

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

$$Q = A \times V$$

En la siguiente tabla se presentan los cálculos para Flujo Normal para los dos caños.

**Tabla 43**

*Flujo Normal determinado mediante las formulaciones de Manning*

Caño Tupula (Zanjón)			Caño El Zorro (Maraquitas)		
V	0,706	m/s	V	0,139	m/s
R	0,081	m	R	0,076	m
n	0,045	adim.	n	0,045	adim.
S	0,029	m/m	S	0,001	m/m
b	13,350	m	b	0,440	m
B	17,71	m	B	0,368	m
h	0,100	m	h	0,098	m
A	1,553	m	A	0,040	m
Z1	1,330	m	Z1	0,040	m
Z2	0,240	m	Z2	0,110	m
PM	19,28	m	PM	0,518	m
Qn	1,10	m <sup>3</sup> /s	Qn	0,01	m <sup>3</sup> /s

Nota: Elaborado por las Autoras, 2022.

En la siguiente tabla se presentan los cálculos para Flujo Máximo para los dos caños.

**Tabla 44.**

*Flujo Máximo determinado mediante las formulaciones de Manning*

Caño Tupula (Zanjón)			Caño El Zorro (Maraquitas)		
V	1,347	m/s	V	0,303	m/s
R	0,212	m	R	0,246	m
n	0,045	adim.	n	0,045	adim.
S	0,029	m/m	S	0,001	m/m
b	13,350	m	b	13,350	m

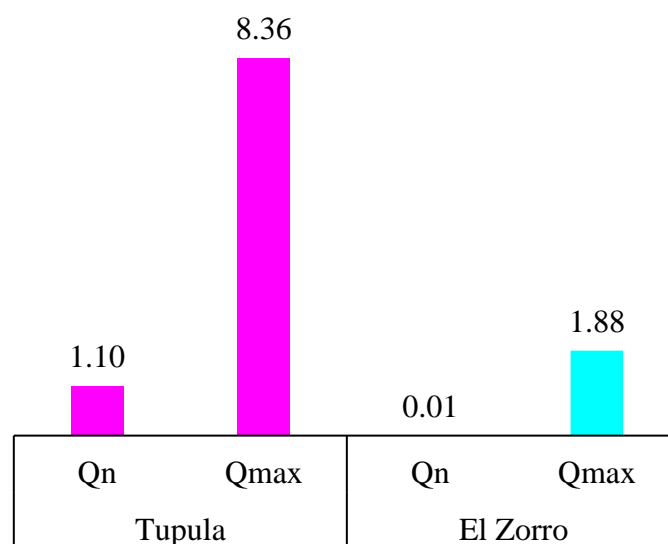
Caño Tupula (Zanjón)			Caño El Zorro (Maraquitas)		
B	17,71	m	B	17,71	m
h	0,400	m	h	0,400	m
A	6,212	m	A	6,212	m
Z1	6,330	m	Z1	4,330	m
Z2	5,240	m	Z2	3,240	m
PM	29,28	m	PM	25,28	m
Qmax	8,36	m <sup>3</sup> /s	Qmax	1,88	m <sup>3</sup> /s

*Nota:* Elaborado por las Autoras, 2022.

En la siguiente figura se resumen los flujos estimados para ambos caños:

**Figura 27**

*Caudales normales (Qn) y máximos (Qmax) de los caños Tupula y El Zorro*



*Nota:* Elaborado por las Autoras, 2022 (las unidades de los valores son metros cúbicos por segundo)

Continuo a esto se determina teniendo en cuenta un periodo de retorno de 30 años y una duración de 60 minutos de lluvia. La precipitación neta así:

$$P \text{ neta} = I \times D$$

$$P_{neta} = 170,29 \text{ mm} / h \times 60 \text{ min} / 60 \text{ min}/h$$

$$P_{neta} = 170,29 \text{ mm}$$

El área de lluvia requerida dentro de la ronda hídrica de los cauces para producir estos caudales normal y máximo es equivalente a:

**Tabla 45**

*Áreas de producción de escorrentía de flujo Normal y Máximo en los caños*

Tupula	Área para Qn	842,31
	Área para Qmax	6425,83
El Zorro	Área para Qn	12,51
	Área para Qmax	4278,99

*Nota:* Elaborado por las Autoras, 2022 (las unidades de los valores son metros cuadrados)

Hecho esto, se procede a determinar los tiempos para cada uno de los caudales de flujo normal y máximo obtenidos para las áreas de influencia considerando la longitud del cauce y las cotas mayor y menor.

**Tabla 46**

*Cálculos de los tiempos de concentración, Tiempo Pico y Tiempo Base*

Cuenca Tupula (Zanjón)			Distrito El Zorro (Maraquitas)		
Parámetro	Valor	Unidad	Parámetro	Valor	Unidad
Longitud Cauce	27,8	km	Longitud Cauce	16,6	km
	27776	m		16565	m
Cota Mayor	883	msnm	Cota Mayor	97	msnm
Cota Menor	77	msnm	Cota Menor	77	msnm

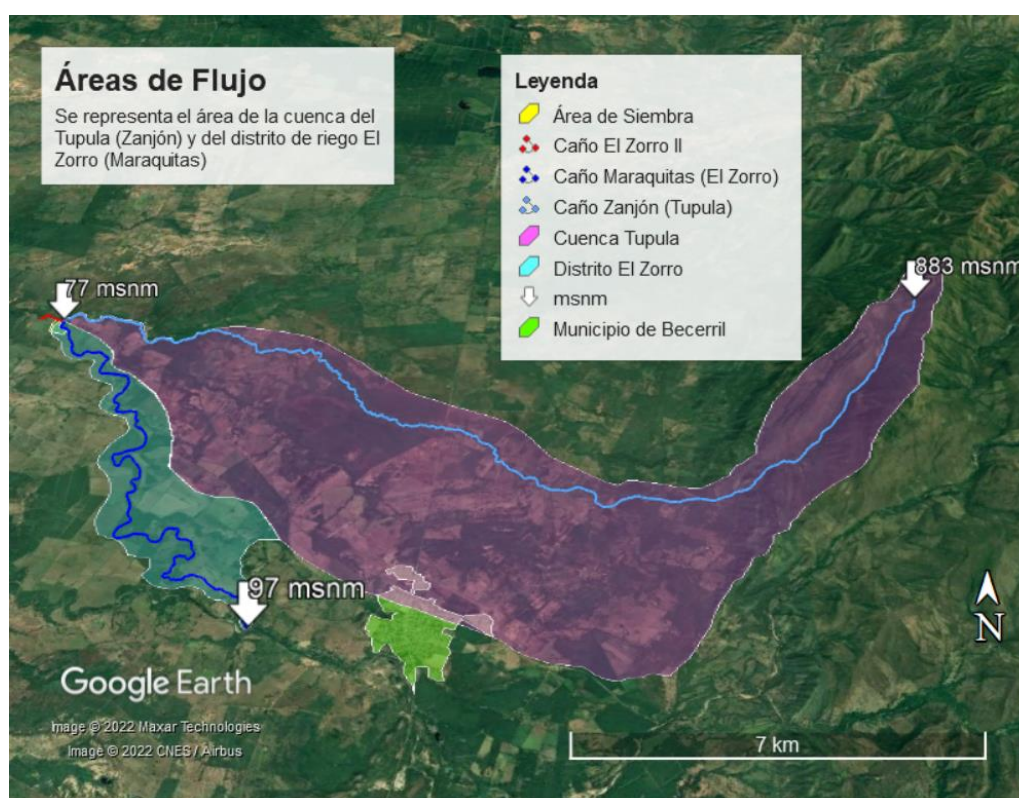
Cuenca Tupula (Zanjón)			Distrito El Zorro (Maraquitas)		
Parámetro	Valor	Unidad	Parámetro	Valor	Unidad
Tc	3,70	h	Tc	12,60	h
Tp	2,72	h	Tp	8,06	h
Tb	7,27	h	Tb	21,51	h

*Nota:* Elaborado por las Autoras, 2022.

En la siguiente figura, se presenta el área de la cuenca del caño Tupula y del distrito de riego de la derivación del caño El Zorro.

**Figura 28**

*Cuenca del caño Tupula y Distrito El Zorro*



*Nota:* Elaborado por las Autoras (2022), utilizando herramientas del Sistema de Información Geográfica Google Earth.

El área de la cuenca del caño Tupula (Zanjón) es equivalente a las 7600 hectáreas (76 km<sup>2</sup>) y el área del distrito del caño El Zorro (Maraquitas) es equivalente a 1207 hectáreas (12,7 km<sup>2</sup>), por lo tanto, si se comparan estas áreas máximas con las áreas de proyección de lluvia para generar escorrentías normales y máximas, se obtienen valores muy grandes y de proporciones y dimensiones significativos.

#### **7.1.4. Balance Hídrico**

En Consecuencia, partiendo de lo planteado anteriormente, se hace necesario desarrollar una aproximación de la disponibilidad del recurso hídrico en el Caño El Zorro y Tupula corrientes del Río Maraca en jurisdicción del municipio de Becerril, siendo el balance hídrico una herramienta que permite realizar un análisis del comportamiento del agua dentro de una cuenca, en este caso la subcuenca del Río Maracas, siendo fundamental para definir si la fuente objeto de estudio cuenta con la oferta hídrica necesaria para el riego de las plantaciones de Palma de Aceite de la Finca “Canta Claro”.

Se debe resaltar que, para el desarrollo de un análisis hidrogeológicos a profundidad que permita determinar la real disponibilidad de la fuente hídrica, se deben contar con variables y factores del área de estudio que no son de fácil acceso, a la vez que no se ha implementado una red hidroclimatológica que permita facilitar estos análisis, por lo tanto la estimación de la disponibilidad se tomara información técnica aportada por entidades y autoridades del territorio que garantizan una veracidad.

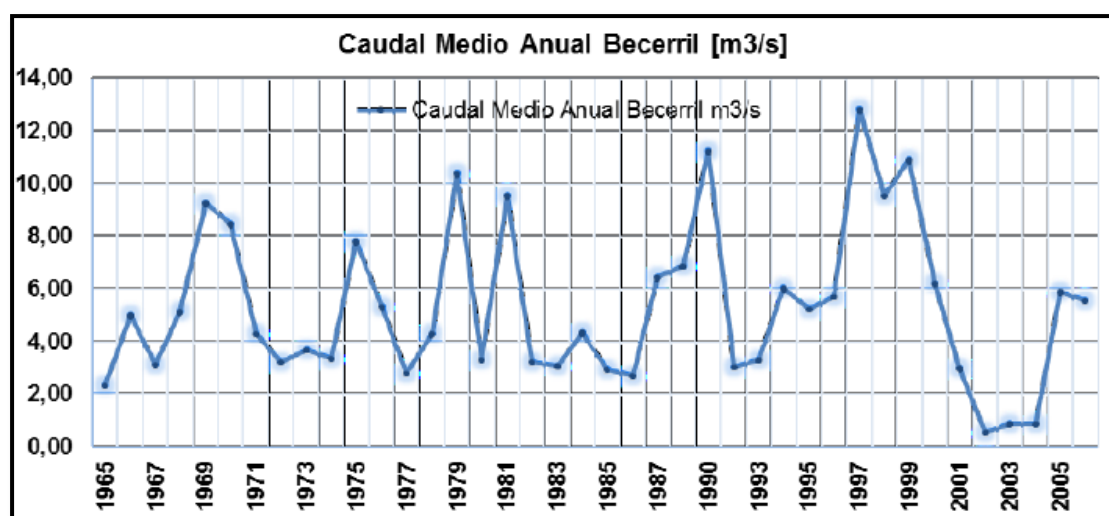
Por consiguiente, se tuvo en cuenta los valores presentados en el Informe final Fase Diagnostico del POMCA del Río Calenturitas desarrollado por CORPOCESAR- Calenturitas Consorcio (2016) teniendo en cuenta que la subcuenca del Río Maracas pertenece a la Cuenca principal del Río Calenturitas, el cauce principal presenta una alta densidad de drenaje con

características de tipo dendrítico en el cual se relacionan unos comportamientos de tipo paralelo y sub paralelo.

La estación meteorológica más cercana al punto de la zona de estudio corresponde a la estación Becerril ya mencionado en ítems anteriores, la información recogida en la estación fue la tomada para la construcción de la curva de duración de caudales presentada por CORPOCESAR- Calenturitas Consorcio (2016), mostrada en la figura 29, donde se identifica un Caudal medio anual de 5.311 m<sup>3</sup>/s, para los años 2001 a 2003 se observa como hubo un descenso significativo del caudal, debido a los fenómenos climatológicos y a las extensas temporadas de sequía que se vivió en esos años.

### Figura 29

*Caudal medio anual medido por la Estación de Becerril, Río Maracas*



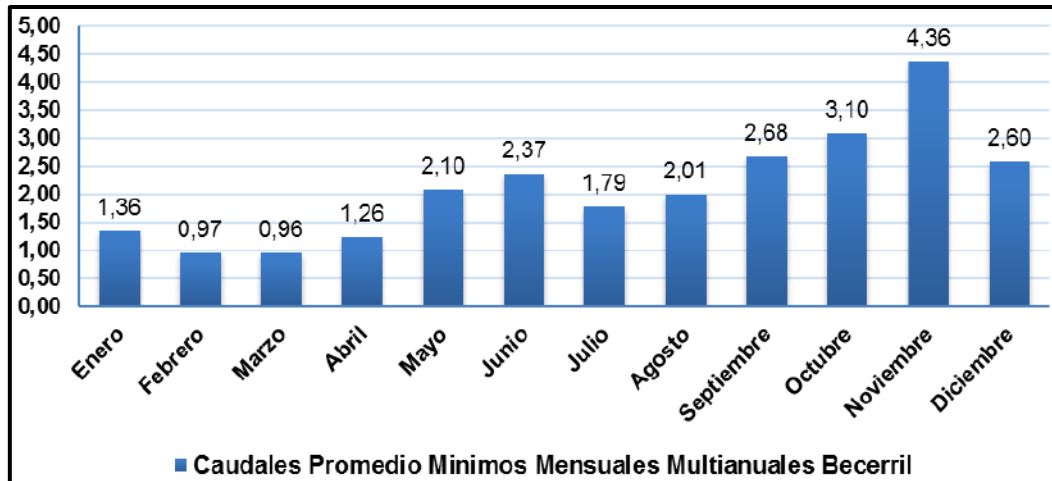
*Nota:* Grafico tomado del informe final derivado del Contrato de consultoría No. 19-6-0138-0-2015 con Consorcio Calenturitas (2016) para la Formulación del Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca 2802-08 Río Calenturitas –NSS– en el Departamento del Cesar.

Mediante el Histograma de caudales presentado en la Figura 30 para la Estación de Becerril, se identificó que el mes con caudal más bajo fue marzo con 0,96 m<sup>3</sup>/s característico

dentro de los meses de poca lluvia en la zona y el más alto se presentó en el mes de noviembre con 4,36 m<sup>3</sup>/S.

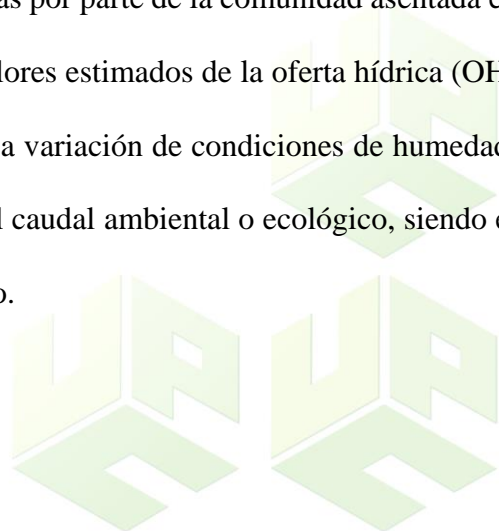
**Figura 30**

*Histograma de caudales promedios mínimos mensuales multianuales Estación de Becerril*



*Nota:* Grafico tomado del informe final derivado del Contrato de consultoría No. 19-6-0138-0-2015 con Consorcio Calenturitas (2016) para la Formulación del Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca 2802-08 Río Calenturitas –NSS– en el Departamento del Cesar.

Para el análisis del balance hídrico se examinará las condiciones de oferta y demanda hídrica para la estación Becerril y río Maracas, teniendo en cuenta que es una subcuenca en donde se desarrollan diferentes actividades económicas por parte de la comunidad asentada en el área de influencia, en la tabla 47 se presenta los valores estimados de la oferta hídrica (OH) con base a una sobre estimación teniendo en cuenta la variación de condiciones de humedad, seca y demás y realizándose una comparación con el caudal ambiental o ecológico, siendo el mínimo necesario para la preservación de este recurso.



**Tabla 47**

*Oferta hídrica estimada y oferta hídrica observada Estación Becerril*

Estación	Oferta hídrica observada (m <sup>3</sup> /s)	Oferta hídrica determinada (m <sup>3</sup> /s)	Caudal ambiental (m <sup>3</sup> /s)
Becerril	5,02	17,67	3,15

*Nota:* Datos tomado del informe final derivado del Contrato de consultoría No. 19-6-0138-0-2015 con Consorcio Calenturitas (2016) para la Formulación del Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca 2802-08 Río Calenturitas –NSS– en el Departamento del Cesar

**Tabla 48**

*Oferta hídrica final Rio Maracas*

Subcuenca	Oferta hídrica por balance hídrico (m <sup>3</sup> /s)	Oferta hídrica total superficial (m <sup>3</sup> /s)	Oferta hídrica total superficial seca (m <sup>3</sup> /s)	Caudal ambiental final (m <sup>3</sup> /s)
Rio Maracas	21,68	5,20	1,25	3,58

*Nota:* Datos tomado del informe final derivado del Contrato de consultoría No. 19-6-0138-0-2015 con Consorcio Calenturitas (2016) para la Formulación del Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca 2802-08 Río Calenturitas –NSS– en el Departamento del Cesar

En la tabla 48 se concentraron los resultados de la OH para el rio Maracas, donde la OH se estimó por diferentes alternativas, entre ellas se encuentra el Balance hídrico que se desarrolla con base a la información arrojada por el IDEAM, la cual según lo expuesto por el autor Consorcio Calenturitas (2016) presenta muchas deficiencias, por lo tanto existe un gran riesgo en la calidad de la información arrojada, de acuerdo a esto se tomó el indicador Oferta Hídrica Total Superficial, siendo una alternativa para hallar la cantidad de agua disponible en la superficie de la cuenca y que se concentra en los cauces o cuerpos hídricos, finalmente bajo los

resultados halladas por balance hídrico, se aplicaron diferentes factores de estimación arrojando la Oferta hídrica total superficial de 5,20 m<sup>3</sup>/s y Caudal ambiental final del 3,58 m<sup>3</sup>/s

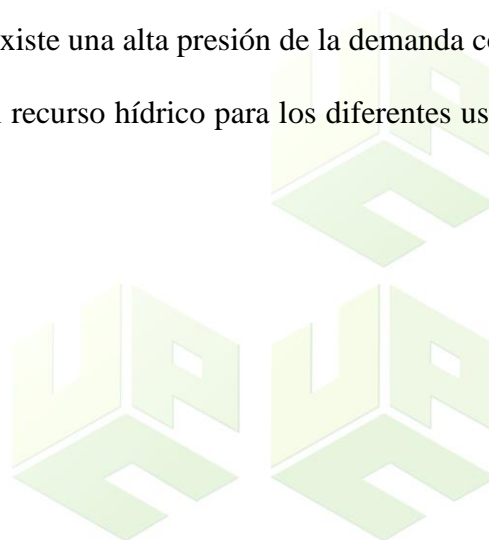
**Tabla 49**

*Demanda hídrica total subcuenca Rio Maracas*

Subcuenca	Sector agropecuario (l/s)	Sector agrícola (l/s)	Doméstico (l/s)	Demanda total (m <sup>3</sup> /s)
Rio Maracas	441,50	349,00	7,74	0,798

*Nota:* Datos tomado del informe final derivado del Contrato de consultoría No. 19-6-0138-0-2015 con Consorcio Calenturitas (2016) para la Formulación del Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca 2802-08 Río Calenturitas –NSS– en el Departamento del Cesar

Por consiguiente, al identificar la oferta hídrica para la subcuenca del rio Maracas y para determinar la disponibilidad del recurso en esta zona de estudio, se evaluaron la demanda que se tiene para cubrir las necesidades básicas de la comunidad, teniendo en cuenta, que el Rio Maracas es una corriente reglamentada mediante Resolución No 934 del 15 de septiembre de 1972 donde se establece un caudal base 1.490 l/s, asimismo en la investigación presentada se halló la demanda (tabla 49) de acuerdo a los tres principales sectores agropecuario, agrícola y doméstico, arrojando una demanda total de 0,798 m<sup>3</sup>/S esta al compararla con la oferta hídrica disponible final siendo 1,25 m<sup>3</sup>/s, se evidencia que existe una alta presión de la demanda con respecto a la oferta, por lo tanto la disponibilidad del recurso hídrico para los diferentes usos es limitado.



## 7.2. Formulación de un modelo alternativo de sistema de riego de plantaciones de palma de aceite para el uso ahorrativo y eficiente del recurso hídrico de la finca “canta claro” en el municipio de becerril, cesar

### 7.2.1. Determinación De La Necesidad Neta Y Bruta Del Cultivo.

Considerando las formulaciones, en principio, se puede decir que:

$$ETR = K_a * K_b * K_c * ETC$$

Dónde,

ETR = Evapotranspiración Real.

$K_a$  = Factor de corrección por sombreado.

$K_b$  = Factor de corrección por variabilidad climática. (Estaciones  $1,15 \leq K_b \leq 1,2$  Tropical).

$K_c$  = Factor por Advección.

ETC = Evapotranspiración del Cultivo.

El factor de corrección por sombreado ( $K_a$ ) se obtiene mediante diversas formulaciones matemáticas en donde se encuentra implicado el Factor de Área Sombreada (FAS).

$$k_a = 0,75 * FAS + 0,15 \quad \text{Fórmula de Keller}$$

$$k_a = FAS + 0,10 \quad \text{Fórmula de Decroix}$$

$$k_a = 0,50 * FAS + 0,5 \quad \text{Fórmula de Hoare}$$

$$k_a = 1,34 * FAS \quad \text{Fórmula de Aljiburi}$$

Del resultado del cálculo de los factores se descarta el valor mínimo y máximo y los dos restantes son promediados, obteniendo el Factor de corrección por sombreado.

El FAS obtenido así:

$$FAS = \frac{\text{Superficie Proyectada de la Planta}}{\text{Superficie que Ocupa la planta (Marco de Plantación)}}$$

Considerando que el radio de las Palmas es de 1 metros y que el marco de plantación utilizado es de 10 plantas cada 10 metros, entonces el FAS será igual a:

$$FAS = \frac{\pi D^2}{4 \times b \times a}$$

$$FAS = \frac{\pi(1 + 1)^2}{4 \times 10 \times 10}$$

$$FAS = 0,03 \text{ m}$$

Considerando esto, se calcula el Factor de corrección por sombreado (Ka)

Modelo de Keller:

$$ka = 0,75 * FAS + 0,15$$

$$ka = 0,75 * (0,03) + 0,15$$

$$ka = 0,1725$$

Modelo de Decroix:

$$ka = FAS + 0,10$$

$$ka = (0,03) + 0,10$$

$$ka = 0,13$$

Modelo de Hoare:

$$ka = 0,50 * FAS + 0,5$$

$$ka = 0,50 * (0,03) + 0,5$$

$$ka = 0,515$$

Modelo de Aljiburi:

$$ka = 1,34 * FAS$$

$$k_a = 1,34 * (0,03)$$

$$k_a = 0,0402$$

Descartando los dos valores máximo y mínimo, se procede a calcular el promedio de los restantes:

$$\bar{k}_a = \frac{0,0402 + 0,13}{2}$$

$$\bar{k}_a = 0,0851$$

Se toma un  $K_b = 1,2$  (para climas tropicales) y un factor  $K_c = 1$  (debido a que adyacente no hay otra parcela o cultivo que se piense satisfacer con el mismo sistema de riego). La ETC para cultivo de palma considerada es el mínimo surtido 150 mm/mes y un coeficiente de cultivo de 0,86 (etapa inicial). (Sánchez J. , 2020)

Por lo tanto, se obtiene el siguiente valor de evapotranspiración real:

$$ETR = 0,0402 * 1,2 * 1 * 150 \frac{\text{mm}}{\text{mes}} * 0,86$$

$$ETR = 6,22 \text{ mm/mes}$$

Ahora, se tiene que dar algunas consideraciones extras, cuando se calcula la necesidad de riego esta se hace para el mes de máximas necesidades, por ende, un balance con la precipitación daría una sumatoria igual a 0, entonces  $P = 0$  y la  $N_n = ETR = 6,22 \text{ mm/mes}$ .

Para 107.366 metros cuadrados con 755 plantas se requeriría 16806,72 litros de agua por día (16,80 m<sup>3</sup>/día), que sería bien satisfechos por el arroyo Tupula, puesto que este transporta 95040 metros cúbicos de agua al día y también por el distrito caño El Zorro, que transporta 864 metros cúbicos de agua al día (condiciones mínimas).

### 7.2.2. Planteamiento De Estrategias De Acuerdo Con La Necesidad De Riego Del Cultivo Y La Eficiencia De La Técnica.

**Tabla 50**

*Estrategia del sistema de riego por goteo*

<b>Sistema de riego por goteo</b>	
<b>Objetivo</b>	Implementar un sistema de riego por goteo
<b>Meta</b>	Optimizar el agua
<b>Descripción</b>	consiste en un sistema de tuberías con orificios por los cuales sale el agua directamente a la zona radicular de cada planta.
<b>Recursos humanos</b>	Ingeniero ambiental, agrónomo, administrador de la finca, ingeniero agrícola
<b>Recursos materiales</b>	Fuente de abastecimiento, cabezal principal, tubería de conducción primarias, cabezales de campo, tuberías terciarias, laterales de riego con emisores.
<b>Recursos logísticos</b>	Gestionar los materiales necesarios con las empresas suministradoras de los mismos: Homecenter, PAVCO, etc.
<b>Acciones</b>	Diseño agronómico (características del suelo, tipo de cultivo, distancia de plantación, condiciones climáticas etc)  Diseño hidráulico (caudal, tiempo de riego, longitud de tubería, diámetro de tuberías, cabezal de riego etc)
<b>Responsable</b>	Ingeniero ambiental, agrónomo y agrícola

*Nota:* Elaborado por las Autoras, 2022.

A continuación, se presenta el sistema de riego por aspersión.

**Tabla 51**

*Estrategias del sistema de riego por aspersión.*

### Sistema de riego por aspersión

<b>Objetivo</b>	Implementar un sistema de riego por aspersión
<b>Meta</b>	Optimizar el agua para el cultivo de palma
<b>Descripción</b>	Es un sistema que trabaja a presión que modela una lluvia uniforme logrando así irradiar sobre la planta
<b>Recursos humanos</b>	Ingeniero ambiental, agrónomo, administrador de la finca
<b>Recursos materiales</b>	Unidades de bombeo, tuberías principales y secundarias, aspersores, accesorios, hidratantes, elementos de control y regulación, ramal de riego
<b>Recursos logísticos</b>	Gestionar los materiales necesarios con las empresas suministradoras de los mismos: Homecenter, PAVCO, etc.
<b>Acciones</b>	Diseño agronómico (características del suelo, tipo de cultivo, distancia de plantación, condiciones climáticas etc)  Diseño hidráulico (caudal, tiempo de riego, longitud de tubería, diámetro de tuberías, cabezal de riego etc)
<b>Responsable</b>	Ingeniero ambiental y agrónomo

*Nota:* Elaborado por las Autoras, 2022.

A continuación, se presenta el sistema de riego por microaspersión.

**Tabla 52**

*Estrategia del sistema de riego por microaspersión.*

### Sistema de riego por microaspersión

<b>Objetivo</b>	Implementar un sistema de riego por microaspersión
<b>Meta</b>	Optimizar el agua para el cultivo de palma

<b>Descripción</b>	Consiste en aplicar lluvia en forma de lluvia, utilizando aspersores de menor diámetro que en el sistema de aspersión.
<b>Recursos humanos</b>	Ingeniero ambiental, agrónomo, administrador de la finca
<b>Recursos materiales</b>	Unidad de bombeo, equipo e filtrado, red de tuberías, tipo de micro aspersor.
<b>Recursos logísticos</b>	Gestionar los materiales necesarios con las empresas suministradoras de los mismos: Homecenter, PAVCO, etc.
<b>Acciones</b>	Diseño agronómico (características del suelo, tipo de cultivo, distancia de plantación, condiciones climáticas etc)  Diseño hidráulico (caudal, tiempo de riego, longitud de tubería, diámetro de tuberías, cabezal de riego etc)
<b>Responsable</b>	Ingeniero ambiental y agrónomo

*Nota:* Elaborado por las Autoras, 2022.

A continuación, se presenta el sistema de riego por superficie o gravedad.

**Tabla 53**

*Estrategia del sistema de riego por superficie o gravedad.*

<b>Sistema de riego por superficie o gravedad</b>	
<b>Objetivo</b>	Implementar un sistema de riego por superficie o gravedad
<b>Meta</b>	Optimizar el agua para el cultivo de palma
<b>Descripción</b>	Utiliza la gravedad y/o pendiente del terreno para el transporte del agua, de manera que el agua va desde la cota más alta hasta la baja y a medida que avanza va filtrando el agua en el terreno
<b>Recursos</b>	Ingeniero ambiental, agrónomo, administrador de la finca

<b>humanos</b>	
<b>Recursos materiales</b>	Captación y red de conducción (tuberías), red de distribución, red terciaria y red de avenamiento drenaje.
<b>Recursos logísticos</b>	Gestionar los materiales necesarios con las empresas suministradoras de los mismos: Homecenter, PAVCO, etc.
<b>Acciones</b>	Diseño agronómico (características del suelo, tipo de cultivo, distancia de plantación, condiciones climáticas etc)  Diseño hidráulico (caudal, tiempo de riego, longitud de tubería, diámetro de tuberías, cabezal de riego etc)
<b>Responsable</b>	Ingeniero ambiental y agrónomo

*Nota:* elaborado por las autoras, 2022.

A continuación, se presenta el sistema de riego localizado.

**Tabla 54**

*Estrategia del sistema de riego localizado.*

<b>Sistema de riego localizado</b>	
<b>Objetivo</b>	Implementar un sistema de riego localizado
<b>Meta</b>	Optimizar el agua para el cultivo de palma
<b>Descripción</b>	utiliza caudales a baja presión con el fin de aplicar agua de manera específica sobre la raíz de la planta
<b>Recursos humanos</b>	Ingeniero ambiental, agrónomo, administrador de la finca
<b>Recursos materiales</b>	embalse de regulación, cabezal de riego, red de riego, elementos de control
<b>Recursos</b>	Gestionar los materiales necesarios con las empresas suministradoras de los mismos: Homecenter, PAVCO, etc.

---

**logísticos**

---

**Acciones**                      Diseño agronómico (características del suelo, tipo de cultivo, distancia de plantación, condiciones climáticas etc)

   Diseño hidráulico (caudal, tiempo de riego, longitud de tubería, diámetro de tuberías, cabezal de riego etc)

---

**Responsable**                      Ingeniero ambiental y agrónomo

---

*Nota:* Elaborado por las Autoras, 2022.

A continuación, se presenta el sistema de riego por inundación.

**Tabla 55**

*Estrategia del sistema de riego por inundación.*

---

**Sistema de riego por inundación**

---

<b>Objetivo</b>	Implementar un sistema de riego por inundación
<b>Meta</b>	Optimizar el agua para el cultivo de palma
<b>Descripción</b>	se divide todo el terreno parcelas cuadriculadas (charcos) o rectangulares (melgas), luego se procede a abrir compuertas con el fin de inundar toda el área. No hay desagüe.
<b>Recursos humanos</b>	Ingeniero ambiental, agrónomo, administrador de la finca
<b>Recursos materiales</b>	Captación y red de conducción (tuberías), red de distribución, red terciaria y red de avenamiento drenaje.
<b>Recursos logísticos</b>	Gestionar los materiales necesarios con las empresas suministradoras de los mismos: Homecenter, PAVCO, etc.
<b>Acciones</b>	Diseño agronómico (características del suelo, tipo de cultivo, distancia de plantación, condiciones climáticas etc)

---

Diseño hidráulico (caudal, tiempo de riego, longitud de tubería,  
diámetro de tuberías, cabezal de riego etc)

---

**Responsable**            Ingeniero ambiental y agrónomo

---

*Nota:* Elaborado por las Autoras, 2022.



**7.3. Determinar la alternativa más sostenible en cuanto al uso ahorrativo y eficiente del recurso para el sistema de riego del cultivo de palma en la Finca “Canta Claro” en el municipio de Becerril, Cesar.**

**7.3.1. Comparación De Las Alternativas Para El Sistema De Riego Del Cultivo De Palma De Aceite.**

A continuación, se presenta un comparativo de las diferentes alternativas que se pueden utilizar para optimizar el uso del recurso hídrico teniendo en cuenta las especificaciones técnicas, ambientales y económicas de cada uno del sistema de riego.

**Tabla 56**

*Comparativo de los sistemas de riego*

<b>Tipo de riego</b>	<b>Eficiencia</b>	<b>Costo</b>	<b>Aplicación de fertilizantes</b>	<b>Topografía</b>	<b>Necesidades energéticas</b>
Goteo	90 – 95%	Muy Alto	Posibilidad de aplicar fertilizantes con el agua de riego	Se adaptan bien a terrenos de cualquier pendiente	Sí
Aspersión	70 – 80%	Muy alto	Aplicación de fertilizantes simultáneamente	Se adapta mejor a terrenos planos o semi planos, sin embargo, puede funcionar en	Sí

Tipo de riego	Eficiencia	Costo	Aplicación de fertilizantes	Topografía	Necesidades energéticas
				terrenos con altas pendiente, aunque trae consecuencias en la erosión	
Riesgo por micro aspersión	75 – 85%	Muy alto	Aplicación de fertilizantes simultáneamente	Se adaptan bien a terrenos de cualquier pendiente	Sí
Riego por superficie o de gravedad	55 – 60%	Bajo costo	No se puede aplicar fertilizantes de manera simultanea	Precisa una pendiente reducida y uniforme	No
Riego localizado	---	Muy costoso y/o alto	Permite llevar a cabo las labores de fertilización junto al riego	Factibilidad de aplicación en terrenos no nivelados y de topografía irregular	Sí

<b>Tipo de riego</b>	<b>Eficiencia</b>	<b>Costo</b>	<b>Aplicación de fertilizantes</b>	<b>Topografía</b>	<b>Necesidades energéticas</b>
Riego por inundación	20 – 30%	Costo Bajo	No se puede aplicar fertilizantes de manera simultanea	Terreno nivelado a cero pendiente y que no hay provisión de desagüe.	No

*Nota:* Elaborado por las Autoras, 2022.

**Tabla 57**

*Continuación del comparativo de los sistemas de riego.*

<b>Tipo de riego</b>	<b>Influencia ambiental en la eficiencia</b>	<b>Riesgo de erosión</b>	<b>Distribución del agua</b>	<b>Consumo de agua</b>	<b>Calidad del agua</b>
Goteo	Afectado por el viento	No tiene riesgo de erosión del suelo	Aplicación uniforme	Es el más eficiente en el uso del agua	Susceptible a la presencia de sólidos en suspensión
Aspersión	viento en calma, temperaturas suaves y	A medida que aumenta	Aplicación uniforme	Utiliza menos agua que el sistema de inundación, pero por lo	La presencia de detritos sólidos suele bajar la

<b>Tipo de riego</b>	<b>Influencia ambiental en la eficiencia</b>	<b>Riesgo de erosión</b>	<b>Distribución del agua</b>	<b>Consumo de agua</b>	<b>Calidad del agua</b>
	humedad relativa del aire alta	la pendiente, se incrementa el riesgo de erosión debido al desprendimiento de partículas de suelo que causa el impacto de las gotas		menos el doble que el sistema de goteo	eficiencia del sistema
Riesgo por micro aspersión	Viento en calma, temperaturas suaves y humedad relativa del aire alta	No hay riesgo de erosión ya que las gotas son muy pequeñas	Aplicación uniforme	Consume menos agua que el sistema por aspersión tradicional	Susceptible a la presencia de sólidos en suspensión
Riego por superficie o de gravedad	No se ven afectados por las condiciones climáticas	Riesgo de erosionar el suelo	Para lograr uniformidad se debe garantizar la	Consumen abundante agua	La calidad del agua no es significativa (a excepción de las sales). Es factible

<b>Tipo de riego</b>	<b>Influencia ambiental en la eficiencia</b>	<b>Riesgo de erosión</b>	<b>Distribución del agua</b>	<b>Consumo de agua</b>	<b>Calidad del agua</b>
			misma pendiente en todo el terreno		regar con aguas de baja calidad
Riego localizado	La uniformidad en el reparto del agua en riego localizado no depende de las características del suelo ni de las condiciones climáticas (especialmente el viento).	Riesgo de erosionar el suelo	Aplicando el agua sobre o bajo su superficie de manera uniforme.	Se realiza en cantidades pequeñas y con alta frecuencia. Ahorra más agua que le método de aspersión y superficie.	Susceptible a la presencia de sólidos en suspensión
Riego por inundación	Depende de variables climáticas como	Riesgo de erosionar el suelo	No es uniforme su aplicación	Es el que más consume agua	Puede trabajar con agua de mala calidad física (sedimentos,

<b>Tipo de riego</b>	<b>Influencia ambiental en la eficiencia</b>	<b>Riesgo de erosión</b>	<b>Distribución del agua</b>	<b>Consumo de agua</b>	<b>Calidad del agua</b>
	humedad relativa, temperatura.				algas, detritos, etc.).

*Nota:* Elaborado por las Autoras, 2022.

### 7.3.2. Proposición De Alternativas De Uso Eficiente y Ahorrativo Del Agua

Se realizó un análisis financiero a través del método costo oportunidad con el fin de determinar cuál era la mejor alternativa en términos económicos, los resultados se presentan en las siguientes tablas:

**Tabla 58**

*Costos unitarios del sistema de riego por goteo.*

<b>Equipo</b>	<b>Unidad</b>	<b>Total</b>
Electrobomba centrífuga de 15 hp, marca Siemens, con motor trifásico de inducción alta eficiencia cerrado y con bomba de alta presión con succión y descarga de 3"	1	3.850.000

Accesorios de succión	1	595.000
Accesorios de descarga	1	238.000
Válvula de retorno en PVC	1	57.000
Tablero de control	1	1.523.000
Fetrigación en el bombeo	1	118.000
Equipo de fetirrigación	1	1.307.000
Cabezal de filtrado	1	488.000
Tubería principal y accesorios	1	1.017.000
Tubería secundaria y accesorios	1	137.000
Tubería lateral y accesorios	1	615.000
Mano de obra instalación de riego (cuatro operarios)	4	8.960.000

*Nota:* Elaborado por las Autoras, 2022.

**Tabla 59**

*Costos unitarios del sistema de riego por aspersión.*

<b>Equipo</b>	<b>Unidad</b>	<b>Total</b>
Equipo de bombeo	1	4.200.000
Transformador de 30 KW trifásico	1	3.800.000
Tablero de control	1	1.523.000
Accesorios	1	292.000
Equipo de bombeo 2	1	24.377.000
Tubería principal y accesorios	1	1.044.000
Tubería secundaria y accesorios	1	206.000
Tubería lateral y accesorios	1	135.000
Mano de obra	6	16.800.000

*Nota:* Elaborado por las Autoras, 2022.

**Tabla 60**

*Costos unitarios del sistema de riego por microaspersión*

<b>Equipo</b>	<b>Unidad</b>	<b>Total</b>
Equipo de bombeo	1	4.200.000
Transformador de 30 KW trifásico	1	3.800.000
Tablero de control	1	1.523.000
Accesorios	1	292.000
Equipo de bombeo 2	1	24.377.000
Tubería principal y accesorios	1	1.044.000
Tubería secundaria y accesorios	1	206.000
Tubería lateral y accesorios	1	135.000
Mano de obra	6	16.800.000

<b>Equipo</b>	<b>Unidad</b>	<b>Total</b>
Equipo de bombeo	1	4.200.000

*Nota:* Elaborado por las Autoras, 2022.

**Tabla 61**

*Costos unitarios del sistema de riego por superficie o gravedad.*

<b>Equipo</b>	<b>Unidad</b>	<b>Total</b>
Tubería principal y accesorios	1	1.044.000
Tubería secundaria y accesorios	1	137.000
Tubería lateral y accesorios	1	615.000
Mano de obra instalación de riego (cuatro operarios)	2	4.480.000

*Nota:* Elaborado por las Autoras, 2022.

**Tabla 62**

*Costo unitario del riego localizado.*

<b>Equipo</b>	<b>Unidad</b>	<b>Total</b>
Equipo de bombeo	1	4.200.000
Cabezal de riego	1	488.000
Tubería principal y accesorios	1	1.044.000
Tubería secundaria y accesorios	1	206.000
Mano de obra	6	16.800.000
Fetrrigación en el bombeo	1	118.000
Equipo de fetirrigación	1	1.307.000

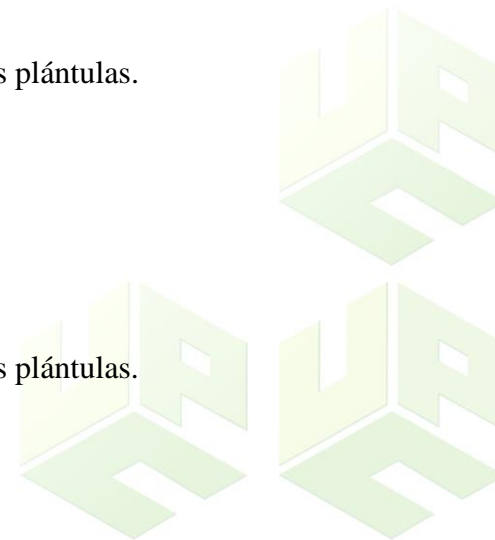
Nota: Elaborado por las Autoras, 2022.

En el caso del sistema de riego por inundación, de acuerdo con (Fedepalma, S.f), el valor por hectárea de este sistema de riego fue de \$ 450.000, teniendo en cuenta que el cultivo de palma tiene una extensión de 13 Ha. Entonces el valor de este sistema fue de \$5.850.000 COP.

A continuación, se enlistan estrategias de buenas prácticas agrícolas que pueden ser aplicadas con el objeto de trabajar en la sostenibilidad ambiental de las plantaciones del cultivo de palma que es el caso de este estudio:

- 1) Identificar y gestión del riesgo.

- 2) Programas para el aprovechamiento eficiente del recurso y planes para cuidar las fuentes de agua.
- 3) Realización de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos del agua para verificar la calidad de esta.
- 4) No arrojar plaguicidas ni agroquímicos al suelo.
- 5) Medir el caudal del agua para riego y utilizar el estrictamente necesario
- 6) Establecer un manejo integrado de plagas.
- 7) Realizar abono orgánico con los residuos derivados del cultivo de palma.
- 8) Controlar la erosión del suelo por medio de medidas ingenieriles.
- 9) Incorporar materia orgánica en el suelo, para recuperación de este y mejorar la vigorosidad de las plántulas.
- 10) Realizar mantenimiento preventivo a los equipos (motobomba, aspersores, emisores).
- 11) Gestión de residuos sólidos.
- 12) Programa de bienestar de los trabajadores.
- 13) Incorporar materia orgánica en el suelo, para recuperación de este y mejorar la vigorosidad de las plántulas.



## 8. CONCLUSIONES

En principio se pensaba que se tendría información más detallada del sistema de riego actual, sin embargo, en la recopilación de datos se encontró que no había especificidad de lo que actualmente se tiene y que este sistema si se elaboró siguiendo lineamientos agronómicos, pero finalmente, esto no se quedó plasmado. Por lo contrario, se realizó una contextualización más amplia de los caños, una descripción observacional del riego del cultivo y su distribución de riego y la evaluación de Buenas Prácticas Agrícolas, las cuales son coherentes con el nivel de complejidad y nivel de economía con el cual funciona este sistema.

Es de mencionar que los propietarios y trabajadores de la finca desconocen que el caño Maraquitás es una derivación del río Maracas y es un distrito de riego antiguo que funcionaba mediante la inundación, puesto que su descarga o flujo dependía de los periodos bimodales de lluvia y sequía. Por otra parte, el caño Zanjón tiene un nacimiento lejano y en su trayecto recibe la descarga de otros tributarios menores hasta llegar al punto de interés, con buen flujo, pero con indicios de contaminación por las actividades agrícolas, ganaderas y pecuarias.

Se pudo corroborar que la cantidad de agua suministrada a las palmas de aceite es exuberante y descontrolada, generando procesos erosivos importantes, condiciones de humedad en el suelo y factores cárcavas que posibilitan la pérdida del agua. A parte, se utilizan lonas para poder conservarla, sin embargo, esto permite la alteración de los micro climas del cultivo, creando condiciones térmicas indeseadas para el cultivo, que desfavorece significativamente el buen desarrollo de la planta y el uso eficiente y ahorativo del recurso hídrico suministrado.

Al practicar el análisis hidrológico se contó con la participación de cinco estaciones meteorológicas con un área de influencia de 1305 kilómetros cuadrados, cuya información que

compone ausentaba de datos, por tanto, se realizó la estimación mediante mínimos cuadrados ordinarios y un análisis de consistencia, logrando determinar que la regresión fue fidedigna de las tendencias. Se trabajó además con un periodo hasta el año 2011, considerando que en este año se inició el cultivo y que la idea es optimizar el sistema de riego, también que años posteriores se encuentran en revisión por posibles errores en la medición.

Se obtuvieron los caudales mínimos y máximos mediante la utilidad del método de Manning y SCS, teniendo como insumo la información de Intensidad-Duración-Frecuencia calculada siguiendo las recomendaciones de la Universidad de Salamanca, con la cual se tiene también insumo la geometría de los puntos o sitios de interés para la intervención en proyectos, obras y actividades. Con esto, se logra estimar que el caudal normal del arroyo Tupula es de 1,10 metros cúbicos por segundo y puede transportar un máximo de 8,36 metros cúbicos por segundo. Así mismo, el caudal normal del distrito caño El Zorro es de 0,01 metros cúbicos por segundo y puede transportar un máximo de 1,88 metros cúbicos por segundo, agua que es suficiente para regadío con la reparación del dique de contención, canaletas y cajas de servicio.

Asimismo, se realizó un análisis de las condiciones hídricas de la zona de estudio, por medio de la información aportada en el Informe final Fase Diagnostico del POMCA del Rio Calenturitas desarrollado por CORPOCESAR- Calenturitas Consorcio (2016), en el cual se presenta el estudio de la subcuenca rio Maracas, en donde con el uso de los datos arrojados por la estación Becerril se construye un histograma con los caudales máximos diarios anuales, donde el mes con menor caudal corresponde a marzo y el mayor a noviembre, esto siendo correspondiente con los meses de lluvia, asimismo se evidencia que esta subcuenca cuenta con una demanda total de 0,798 m<sup>3</sup>/S y una oferta hídrica disponible final siendo 1,25 m<sup>3</sup>/s la

presión observada de la demanda contra la oferta es alta y claramente se deriva que la disponibilidad del recurso es limitada.

Para demostrar su suficiencia se considera la evapotranspiración normal del cultivo y los factores de corrección de sombreado, climatológico y advección, para determinar la evapotranspiración real, la cual, es igual a la necesidad neta del cultivo, la cual dio un valor de 6,22 mm/mes, la cual considerando el área de riego y el número de plantas indicaría un caudal requerido de 16806,72 litros de agua por día, que es un valor sumamente ínfimo para los caudales transportados por el arroyo Tupula y el distrito caño El Zorro. Caudal que puede ser provisionado siempre y cuando se hagan proyectos, obras y actividades de ingeniería acordes que faciliten el suministro.

Se plantearon estrategias de acuerdo con la necesidad de riego del cultivo dentro de las cuales se resalta el sistema de riego por goteo, aspiración, microaspersión, superficie o gravedad, localizado, inundación, asimismo, para cada uno de estas estrategias se planteó un análisis comparativo desde el punto de vista técnico, económico y ambiental, y , por último se plantearon estrategias de buenas prácticas agrícolas.



## 9. RECOMENDACIONES

Es importante que se haga una evaluación hidráulica del sistema de riego técnica-económica y operativa, para poder elaborar una memoria de cálculos y documentar manuales de diseño, operación, mantenimiento y condiciones de operatividad en situaciones anormales, riesgo y emergencia.

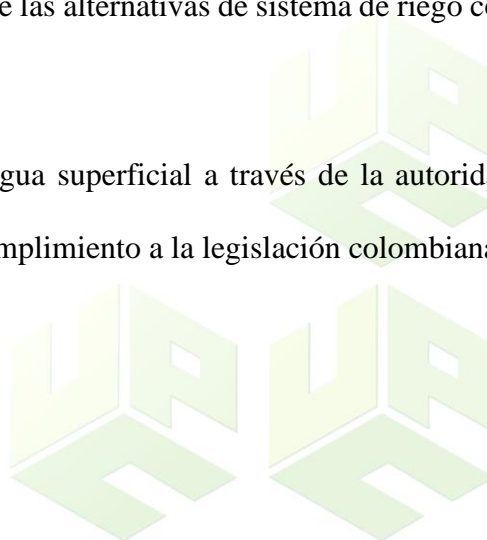
También es considerable que se tenga una referencia más precisa del marco de siembra de la plantación y se realicen estudios topográficos y de levantamiento vertical para entender cual es la mejor estrategia de riego operativo y poder mejorar las condiciones de optimización de los sistemas de riego en cuanto a la zonificación de presiones.

Es necesario complementar el estudio añadiendo otras variables de estudio como la calidad del suelo, la calidad de las fuentes hídricas superficiales y subterráneas, la calidad del cultivo y otros estudios ambientales y socio ecológicos que ayuden a proyectar la tendencia del producto en equilibrio con los resultados deseados de la plantación.

Involucrar los Sistema de Información Geográfica con el fin de reconocer la mejor alternativa de sistema de riego en el cultivo de palma.

Realizar una gestión de riesgo para cada una de las alternativas de sistema de riego con el fin de recomendar de acuerdo con este factor.

Se debe autorizar o reglamentar el uso del agua superficial a través de la autoridad ambiental de territorio, siendo CORPOCESAR en cumplimiento a la legislación colombiana



## 10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alcaldía Municipal de Becerril. (30 de Abril de 2020). *Nuestro municipio*. Obtenido de Alcaldía Municipal de Becerril - Cesar: <https://www.becerril-cesar.gov.co/municipio/nuestro-municipio>
- Allen, R., & al., e. (2006). *Evapotranspiración del Cultivo*. Roma, Italia: FAO.
- Álvarez, Ó. M., Posada, J. F., Mosquera Montoya, M., García, T., & Ardila, G. (2007). Eficiencia en el uso del agua en una plantación de palma de aceite. *PALMAS*, 11-22.
- Barrios, R., Arteaga, A., & Amaya, G. (2003). Evaluación de sistemas de subirrigación y de aspersión en suelos cultivados con palma aceitera. *UDO*, 39-46.
- Calenturitas Consorcio- CORPOCESAR. (2016). *Formulacion del POMCA - Rio Calenturitas. Fase Diagnostico*. Valledupar: Corporación Autónoma Regional del Cesar –.
- Campos, D. (1978). *Cálculo de las curvas IDF, a partir de registros de lluvia máxima en 24 horas y Relaciones Duración Lluvia Promedio*. San Luis de Potosí, México: Subdirección Regional Noreste de Obras Hidráulicas e Ingeniería Agrícola para el Desarrollo Rural.
- CROPLIFELA. (22 de Marzo de 2018). *Uso sostenible del agua, un desafío de la agricultura del futuro*. Obtenido de CropLife Latin America: <https://www.croplifela.org/es/actualidad/noticias/uso-sostenible-del-agua-un-desafio-de-la-agricultura-del-futuro>
- CRUDOTRASPARENTE. (Julio de 2018). *Realidades socioambientales del aceite de palma y los bio-combustibles en Colombia*. Obtenido de CRUDOTRASPARENTE: POR UN SECTOR MINERO-ENERGÉTICO ABIERTO, INFORMADO Y RESPONSABLE: <https://crudotransparente.com/2018/06/19/realidades-socioambientales-del-aceite-de-palma-y-los-agrocombustibles-en-colombia/>
- Diario del Cesar. (01 de Agosto de 2019). *El Cesar cuenta con 78.000 hectáreas de palma africana*. Obtenido de Diario del Cesar: <https://www.diariodelcesar.com/archivos/41875>

- Enriquez Bernal, L. M. (2009). *Estrategia para la implementación de la norma ISO 14001 en empresas productoras de Palma de Aceite de la zona oriental Colombiana*. Bogotá D.C.: Pontificia Universidad Javeriana.
- FEDEPALMA. (03 de Junio de 2021). *La palma de aceite en Colombia*. Obtenido de Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite: <https://web.fedepalma.org/la-palma-de-aceite-en-colombia-departamentos>
- Fedepalma. (S.f). *IMPLEMENTACIÓN Y EVALUACIÓN DE SISTEMAS DE RIEGO EN EL NÚCLEO SISTEMAS DE RIEGO EN EL NÚCLEO*. <https://web.fedepalma.org/bigdata/reunion2016/18sep21.pdf>.
- García, C. (2019). *Estudio para la optimización del recurso hídrico con un sistema automatizado de riego en los pastos de la hacienda san pablo del cantón guano*. Riobamba, Ecuador: ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO.
- Hernández, F. (2013). *La Evaporación en la Agricultura Tropical*. Obtenido de Asistencia Tecnológica Agrícola: [https://www.agro-tecnologia-tropical.com/la\\_evaporaci\\_n.html](https://www.agro-tecnologia-tropical.com/la_evaporaci_n.html)
- Hernández, M. (12 de Diciembre de 2012). *Tipos y Niveles de Investigación*. Obtenido de Metodología de la Investigación: <http://metodologiadeinvestigacionmarisol.blogspot.com/2012/12/tipos-y-niveles-de-investigacion.html>
- Herrera G., J. (2009). *Precipitación: el agua en la atmósfera*. Ciudad Bolívar: Universidad de Nuevo Oriente.
- ICA. (2017). *Manual Temático del Facilitador de Buenas Prácticas Agrícolas*. Bogotá D.C.: Imprenta Nacional de Colombia.
- IDEAM. (2019). *Guía Metodológica de la Operación Estadística Variables Meteorológicas*. Bogotá D.C.: IDEAM.
- Lascano, & Munevar. (2000). Criterios técnicos para la selección de sistemas de riego: Aplicación al cultivo de palma de aceite en Colombia. *PALMAS*, 270-278.
- Lascano, R. (1998). Bases tecnológicas para el riego en palma de aceite. *PALMAS*, 229-241.

- León Ruiz, J. (2012). *Diseño de sistemas de riego*. Riobamba, Ecuador.
- Lesur E., L. (2006). *Manual de Riego Agrícola*. Valencia: TRILLAS S.A. DE C.V.
- López, M. (2011). *DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO CON VIAJERO AUTOPROPULSADO EN LA FINCA MONA, COMPAÑÍA PALMA TICA, QUEPOS*. San José: Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Medina, A., & Campo, M. (2020). *Evaluación Del Riesgo De La Erosión Hídrica Del Departamento Del Cesar Por Medio De Sistema De Información Geográfico*. Valledupar, Cesar: UNICESAR.
- Mejías, O. (2000). Consumo de agua por la palma de aceite y efectos del riego sobre la producción de racimos, una revisión de literatura. *PALMAS*, 51-58.
- MINAGRICULTURA. (2018). *Evaluaciones Agropecuarias Municipales*. Bogotá D.C.: Datos Abiertos.
- NAAN DAN JAIN. (2019). *Palma Aceitera*. Jain Irrigation Company.
- Ortiz Mora, Y. A. (2019). *LA PALMA DE ACEITE COMO EJEMPLO PARA LA AGROINDUSTRIA EN COLOMBIA*. Bogotá D.C.: Fundación Universitaria de América.
- Revista Semana. (06 de Junio de 2017). *El cultivo de palma aceitera seca a los Montes de María*. Obtenido de Semana Sostenible: <https://www.semana.com/medio-ambiente/articulo/palma-aceitera-y-su-cultivo-seca-a-los-montes-de-maria-en-bolivar/37966/>
- Sampieri, R., Fernández C., C., Baptista L., P., & Collado., H. (2014). *Metodología de la Investigación*. Ciudad de México: McGraw Hill.
- Sánchez, J. (2020). Riego en cultivo de Palma de Aceite. *Grepalma*, 5(6).
- Sánchez, J. (2020). *Riego en el cultivo de palma de Aceite: consideraciones técnicas para alcanzar el potencial productivo*. Ciudad de Guatemala, Guatemala: GREPALMA.

Toledo, N., & Díaz de León. (2018). *Población y Muestra*. Ciudad de México D.F.: FAD UAEMex.

Torres C., K., Vanegas P., A., Romero B., L., Cahuana M., A., Royero Ibarra, A., & Rodríguez D., Y. (2021). *LINEAMIENTOS Y GUÍA ORIENTADORA PARA LA ESTRUCTURACIÓN Y FORMULACIÓN DEL ANTEPROYECTO Y PROYECTO DE GRADO EN EL FORMULACIÓN DEL ANTEPROYECTO Y PROYECTO DE GRADO EN EL*. Valledupar: Universidad Popular del Cesar.

Torres Cuellar, A., & Peña Carrillo, P. (2015). *Evaluación de la huella hídrica para el cultivo de palma de aceite en la finca Villa Beatriz del municipio de Zona Bananera, departamento del Magdalena*. Bogotá D.C.: Universidad de La Salle.

TRAXCO. (2011). *Transpiración y sistemas de riego*. Obtenido de TRAXCO: <https://www.traxco.es/blog/tecnologia-del-riego/transpiracion>

USAL. (2017). *Hidrología Superficial y Subterránea*. Salamanca, España: Createspace Independent Pub.



## ANEXOS

### Anexo 1. Información Contendida en las Estaciones Meteorológicas

Estación:	HDA Centenario													
Años	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Total	
1978	0	97,02	97,32	157,01	326,88	120,72	102,8	190,33	122,2	145,75	112,57	31,71	1504,31	
1979	11,3	38,2	56,6	152,7	186,6	131,5	133,9	143,7	157,6	225,7	263,2	16,6	1517,6	
1980	0	15,1	13	44,6	139,8	134,7	112,7	80	32	92,5	199,9	114	978,3	
1981	9,2	134	63,6	233	421,5	331,8	122,6	246,4	142,7	243	133,5	66	2147,3	
1982	0	14,5	16,6	221,9	202,4	89,6	69	54,5	176,9	173,8	44,2	0	1063,4	
1983	32	12,2	148,5	299	179,3	83,1	105,9	91,4	233	345,4	73,6	99,6	1703	
1984	0,1	146,2	98,3	65,8	305	121,7	248,9	157,9	334,5	319,3	297,5	0	2095,2	
1985	0	1,2	18,9	213,9	120,9	61,3	84,8	208,9	330,1	235,7	55,8	120,5	1452	
1986	31	104,7	84,6	141,2	289,8	44,2	74,4	170,5	55,6	278,3	32,3	10,5	1261,5	
1987	1,7	23,3	125,1	193,6	179,8	114,2	170,2	103,2	255,5	414,3	126,1	63,5	1770,5	
1988	0	0,2	27	110,4	173,7	294,2	114	284	256,3	224	204,1	4,3	1692,2	
1989	0	6,2	54,6	39,3	177,6	127,6	62,9	218,5	188,4	149	205,4	72	1301,5	
1990	3,5	7,8	10,9	254,5	112,5	189,2	89,5	210,2	77,8	292,6	195,2	133,8	1577,5	
1991	0	6,1	55,2	74	122	121,4	52,6	43,7	223,1	270,4	151,3	11,3	1131,1	
1992	37	1	14,2	77,6	114,8	113,3	140,2	159,9	158,2	176,2	235,3	12,6	1240,3	
1993	44,5	65	86,5	281,2	321,3	109,6	54,7	104,3	197,4	103,1	56	19,3	1442,9	
1994	19	42,3	54,3	152,5	229,1	165,8	91,8	101,1	163,2	164,8	87,1	3	48,8	1232,7
1995	81	25,3	69,8	122,9	232,9	203,4	181,3	266	106,5	187,5	50,2	86,7	1613,5	
1996	0	0	104,12	76,34	197,17	65,24	147,59	58,74	77,13	114,82	83,1	0	924,25	
1997	3,1	21,7	50,8	134,8	39,1	95,2	32,9	33,8	117	68	308,2	8	912,6	
1998	0,2	69,9	99,3	247,5	278,1	197,3	168,4	147	231	218,1	137,2	135,4	1929,4	
1999	4,1	89,2	52,9	254	194,9	242,6	141,5	178,3	228	274,7	351	22,7	2033,9	
2000	25	16	15	83	168,3	87,2	93,1	110,2	168,7	211,1	260	114	1351,6	
2001	0	0	102,6	10	179,3	38	124,9	70,3	186	225,8	248,5	61	1246,4	
2002	0	8	19,1	115	147	172	65	68,9	142	207	34	43	1021	
2003	0	1	35	194,6	128,3	198,4	185,8	104	105,3	309,8	131,2	94	1487,4	
2004	0	8	47	239,2	211	45,6	178	123	155,1	204,9	125,7	21	1358,5	
2005	10,2	9	45	167,1	56,4	239	133,4	92,7	237,4	311,6	259,1	12,5	1573,4	
2006	33	135,7	9,9	218,6	236	119,9	66,9	110,2	88,4	343,5	210,7	116,2	1689	
2007	83	8,5	123,1	193,5	300,2	117,4	98,8	246,7	446,9	283,2	121	59,6	2081,9	
2008	0	7	125,5	193,5	248	117,1	111	206,9	312,4	266,3	504,6	22,0	3	2092,3
2009	0	0	50,29	180,06	113,7	15,64	0	84,21	13,42	94,53	142,46	0	694,31	
2010	1,6	48,7	268	50,4	285	263,6	354,3	210,7	327,6	395,6	362,6	209,1	2777,2	
2011	26	59,2	116,5	145,8	241,1	117,1	231,9	133,5	192,8	431	194,9	86,8	1976,6	



Estación: Socomba													
Años	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Total
1978	45,2	119	119,2	159,5	274,2	135	122,9	182	136	151,9	129,5	74,9	1649,3
1979	1,3	58,4	55,2	180	132,6	216	164,6	158,3	215	395,1	342,6	44,5	1963,6
1980	18,5	44,9	0	78,9	95,4	101,7	73,3	206,6	80,3	112,1	191,5	48,1	1051,3
1981	17,8	34,1	37,9	264,2	405	313,5	115,5	281,8	178,8	299,4	135,6	72,4	2156
1982	21,5	40	40,8	221,4	352,7	23,3	28,9	31,7	224	128	56,3	3,8	1172,4
1983	0	4,8	104,5	338,8	173,4	125,6	91,3	97,7	96,8	161,2	15,5	1,7	1211,3
1984	9,7	272,6	15,8	147,9	159,1	117,5	138,3	217,8	169,1	211,9	142,7	0	1602,4
1985	12,8	9,2	103	145,5	200,9	57,2	47,3	128,5	302,8	245	89,3	59,9	1401,4
1986	33,99	6,29	34,51	96,73	179,65	0	0	84,92	144,74	64,94	20,43	0	666,2
1987	10,8	34,3	104,9	169,4	213,6	135	118,3	125,6	180,8	199,4	136,9	26,7	1455,7
1988	0	2,2	41,6	202,7	133,7	242	243,4	496,9	140,3	195,4	242,1	39,9	1980,2
1989	0	0	88,92	30,88	130,91	82,31	59,67	181,87	233,3	32,3	112,98	10,59	963,73
1990	25,2	5,4	39,4	267,9	127,8	77,4	38,4	126	95,3	238,8	89,6	99,7	1230,9
1991	0	31,5	134,9	81,3	136	88,8	46,8	56,9	143,9	271,7	50,4	0	1042,2
1992	4,4	3,8	16,2	77,5	152,5	74,3	229,8	78,8	341,7	72,5	173,3	11,2	1236
1993	12	46,4	77,6	134,3	190,7	269,1	141	129,4	181,4	199,1	134,7	13,6	1529,3
1994	67,8	69,1	115,1	227,1	334,7	80,9	61,6	20,8	148,8	268,4	97	38,5	1529,8
1995	8,9	49,9	68,8	146,6	71	209,9	243,8	401,1	91,4	242,2	148,5	54,3	1736,4
1996	3,4	61,3	231,1	188,8	372,8	171,9	297,3	162	190	247,4	199,1	28	2153,1
1997	1,3	3	7	109,5	192,2	81,3	66,9	15,4	188,5	95,8	154,3	4	919,2
1998	7,1	86,7	80,2	206	318,4	150,3	94	145,8	292	184,8	165,4	116,2	1846,9
1999	67	137	76,9	138,5	103,1	291,7	86,9	301,6	272,8	281,2	235,6	198	2190,3
2000	1	42	25	85	153,8	102,1	127	158,2	279	163	156,1	14	1306,2
2001	2	0	171	0	182	26	78	51	228	280	215	46	1279
2002	5,32	17,64	82,29	104,46	162,35	79,22	43,5	54,58	134,64	85,37	85,37	28,72	883,46
2003													0
2004	148,58	234	131,72	165,44	159,82	219,39	214,9	221,64	440,81	284,58	232,88	167,69	2621,45
2005	10	20	57	131,3	169	233	128	144	162	374	245	35	1708,3
2006	34	27	56,5	269,5	175,7	128,8	79,4	90,7	52	227	143	35	1318,6
2007	0	11,8	111	162	341	96	110,2	397	118	366	108	62	1883
2008	0	31	134	166	282	105	113	180,9	345,3	166,1	268,2	3,5	1795
2009	147,3	1	95	141	136	90	45	73	47,1	151	149,8	45	1121,2
2010	3,5	65	64,6	110,4	236,5	273,7	171,8	276,1	332,1	299,3	355,5	197,2	2385,7
2011	33,22	77,52	51,55	175,3	479,35	120,3	205,86	211,21	228,02	430,45	239,47	172,25	2424,5



Estación: La Jagua													
Años	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Total
1978	74	81	223	247	369	163	99	186	207	267	240	51	2207
1979	0	107	29	190	380	319	100	314	252	437	217	21	2366
1980	2	44	13	85	287	117	111	207	165	232	293	95	1651
1981	55	99	91	227	368	507	120	267	118	551	252,3	55,6	2710,9
1982	22	65	112	325	560	284	93	86	146	176	47	0	1916
1983	84	15	125,8	124,7	390,8	295,9	174,5	105,7	216,3	313,9	60,5	2,1	1909,2
1984	21,5	209	23,4	166,3	224,5	181,8	193,4	337,4	214	383,1	238,8	0	2193,2
1985	10,1	0	104,6	128,2	230	139,4	58	151	334,8	293	230,8	70	1749,9
1986	111,3	68,6	112,1	208	335,8	56,9	6,7	189,8	282	159	90,4	36,2	1656,8
1987	55,8	68,6	0	110	156	168	118,7	212,7	253,2	246,1	60	0	1449,1
1988	0	0	22	109	133,5	278	82	372	297	216	342	0	1851,5
1989	1	4	209	86	298	195	147	406	515	89	260	43	2253
1990	0	20	95	284	185	296	150	236	97	514	196	142	2215
1991	0	0	141	139	96	50	92	106	157	224	192	0	1197
1992	0	0	40	91	244	215	146	182	421	107	234	0	1680
1993	0	49	132	248	561	87	103	232	347	161	242	60	2222
1994	10	70	211	226	451	115	41	190	318	259	114	0	2005
1995	38	20	95,1	141	279	295	414	490	284	313	49	10,2	2428,3
1996	16,1	33,9	88,8	160,1	290,6	187,9	132,6	216,5	256,9	238,7	96	0	1718,1
1997	0	0	10	142	229	160	126	22	60	128	0	0	877
1998	0	0	87	83	400	201	154	220	312	199	223	270	2149
1999	21	95	170	178,9	155	226	256	105	501	273	370	29	2379,9
2000	0	56	61	85	193	280	95	244	605	292	460	150	2521
2001	21	0	128	10	234	86	194	238	134	619	599	93	2356
2002	0	0,32	60,45	81,06	134,89	57,58	24,37	34,68	109,12	63,31	63,31	10,63	639,72
2003	0	0	0	135,62	0	0	34,98	41,34	64,78	155,21	56,41	0	488,34
2004	15	91	0	30	25	78	74	80	275	136	90	32	926
2005	33,16	84,54	11,75	150,19	264,37	98,1	60,99	103,81	118,08	105,95	242,96	75,98	1349,88
2006	13,95	26,15	116,64	232,17	205,86	68,51	117,28	81,34	185,96	203,93	164,14	145,52	1561,45
2007	5	55	190	240	550	275	238	684	314	739	160	50	3500
2008	0	110	276	173	438	139	226	375	472	83	280	11	2583
2009	92	0	176	352	262	129	101	222	126	236	301	36	2033
2010	0	75	263	76	211	318	316	372	320	316	428	229	2924
2011	3	61	27	189	587	117	229	236	258	523	273	185	2688



Estación: La Loma													
Años	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Total
1978	0	150	169	112	202	123	116	108	150	257	83	50	1520
1979	0	68	180	243	270	241	73	166	246	383	263	18	2151
1980	0	11	2	61	254	57	111	145	119	185	207	40	1192
1981	4	43	35	221	352	252	141	329	103	231	164	47	1922
1982	65	30	101	148	563	135	71	40	175	72	180	0	1580
1983	0	0	202,5	187,2	171,2	54	100,5	91,4	93,7	47,8	39	44	1031,3
1984	4	75	40	67	193	136	136	239	278	276	123	0	1567
1985	0	0	20	184	120	65	23	104	324	259	48	26	1173
1986	2	6	45	88	41,4	0	0	112,9	180,1	469,8	81,1	11,1	1037,4
1987	16	24	57,6	169,8	196,2	39,2	96,6	52,4	303,8	383	104,3	21	1463,9
1988	0	0	0	131	158,5	181,4	109,1	210,5	107,6	248,9	167,4	0	1314,4
1989	0	39	158	17	157,6	55	37,7	217	259,7	86,4	138,8	24,2	1190,4
1990	0	4	57,5	236	158,6	113,4	3,6	68	57,9	410,5	175,9	72	1357,4
1991	0	0	14,5	104	79,5	55,6	217	34	38	59	195	0	796,6
1992	0	0	3	156	403	555	175	139	441	49	187	50	2158
1993	0	0	41	71	81	11	14	385	579	345	315	0	1842
1994	0	0	60	185	105	0	68	106	144	255	67	0	990
1995	50	0	70	74	85	131	243,2	322	175,1	81,1	0	0	1231,4
1996	0	0	93	120	214	45	112	269	288,9	339	146	10	1636,9
1997	0	0	41	93	50	140	20	10	84	54	23	0	515
1998	0	0	55	87	108	207	140	223	175	318,9	121	170	1604,9
1999	20	99	189,9	94	200	184	131	185	185	182	430	0	1899,9
2000	0	90	15	135	202	100	90	95	220	60	393	80	1480
2001	0	0	145	93	232	0	70	61	242	195	160	65	1263
2002	0	20	125	161	255	120	62	80	210	130	130	38	1331
2003	35	90	113	191	68	210	150	109	558	349	107	75	2055
2004	10	10	41	150	183	156	219	168	385	383,1	118	12	1835,1
2005	30	102	0	194	354	121	69	129	149	132	324	90	1694
2006	0	19	160	340	299	85	161	105	268	296	234	205	2172
2007	0	0	92	245	230	223,1	118	377	182	270	168	72	1977,1
2008	0	0	50	53	307	245	186	279,5	258	55	302	30	1765,5
2009	53	0	102	64	122	161	15	225	93	353	87	20	1295
2010	0	30	56	56	310	421	412	310	367	398	749	158	3267
2011	20	20	101	167,1	303	163	181	147	128	307	358	15	1910,1



Estación: Guaymaral													
Años	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Total
1978	10	9,7	58,4	110,9	222	64,6	64,7	317,4	83	221,5	13,3	6,2	1181,7
1979	0	30	54,3	92,6	386	250,6	163	110	45,5	88	40,5	27,9	1288,4
1980	0	0	14,2	45,7	121,8	47,3	121,2	165,4	27,2	80,4	92,8	31,2	747,2
1981	0	59,5	30,4	22,1	269	303	46	182,4	137,1	167	79	31,2	1326,7
1982	0,5	36	45,8	279,3	299,6	54,2	113,5	8	126	111	101,3	6,4	1181,6
1983	5	13,1	8,9	99	226,6	93,8	118,7	113,1	175,4	100,1	18,7	81,8	1054,2
1984	46,6	41,9	89,5	57,7	153,8	124,9	238,2	145,1	177	198	58,5	0	1331,2
1985	0	0	0	34,1	0	0	0	29,11	150,08	55,86	0	0	269,15
1986	0	15,8	14,2	60,4	104,7	23,4	116,4	126,6	94,3	331,2	89,7	7,9	984,6
1987	0	27,8	86,2	140,7	175,9	97	125,7	111,1	249,8	186,3	75,5	17	1293
1988	0	4,2	4,2	77,3	86,1	270,6	72	270,1	110,1	395,9	179	45	1514,5
1989	0	73	200	65,9	339,3	41,7	125,5	138,7	191,4	117,4	187,5	23,7	1504,1
1990	0	11,5	74,5	174,6	182,5	50,9	51,2	102,7	107,6	200	116,6	82	1154,1
1991	0	0	86,2	125,3	136,2	148,3	76	177,5	185,3	229,8	134,1	0	1298,7
1992	0	39	45	73,5	226,8	148,8	165,9	70,8	244,4	110	168,7	24	1316,9
1993	20	94	149	207	323	8	93	171,4	83,9	65,5	212	1	1427,8
1994	12,1	43,5	77,7	127,5	205	119,5	111	151,7	152,8	176,1	121,7	35,7	1334,3
1995	0	0	111,1	151	195,6	31	167,2	138,9	153,6	81	17,7	82	1129,1
1996	2,4	92,5	149,9	118,8	165,1	141,1	179	228,6	137,1	155,5	172,6	7,3	1549,9
1997	16,8	65	53,8	88,6	123,8	125,8	12,6	79,8	185	132,8	95,6	23,7	1003,3
1998	0	21,6	55,7	141,9	253,7	97,9	91,1	135,1	153,4	98,7	126,5	25,9	1201,5
1999	0,2	132,3	109,4	187,6	206,8	307,5	84,9	210,2	112,1	106,2	320,2	16	1793,4
2000	0,9	1	14,6	133,3	341,1	71,1	139,7	95,1	226,5	102	252,5	74	1451,8
2001	0	0	103	24,2	139,9	4,5	127,5	40,4	202	276,4	169,4	40,2	1127,5
2002	0	3	25,4	78,5	78,3	23,5	33,3	95,9	70	143	92	59	701,9
2003	0	0	0	29,65	0	37,29	13,17	0	177,17	93,16	0	0	350,44
2004	82,81	82,81	102,89	173,46	194,83	177,35	218,14	185,12	325,62	324,39	152,74	84,11	2104,27
2005	29	0,9	67	94	67	214	125	102	117	226	317	9	1367,9
2006	0	3,1	146,6	252,3	141,8	166,8	133,2	160,6	103,2	103,4	96	32,5	1339,5
2007	0	0	141	218	122	88	57	313	106	299	26	31	1401
2008	8	19	73	223	158	133	57	198	118	117	186,5	11,2	1301,7
2009	55,7	0,8	78,9	83,4	93,4	139,4	157	79,3	162	108	228	2,8	1188,7
2010	0	15	169	54	66	299	246	275	307	225	425	318	2399
2011	3	16	106	127	196	168	261	162	59	219	149,4	13,5	1479,9



## Anexo 2. Estimación de Datos Faltantes por MCO

### Predicción Estaciones: HDA Centenario vs. Socomba

Correlación mediante:	
Distancias:	Sí
Altitud:	Sí
Grado:	Primaria

Identificación de Estaciones	
PEC:	HDA Centenario
PER:	Socomba
Año:	1978

--

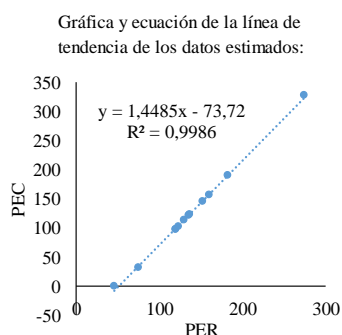
Datos de las Estaciones			Variables del M.C.O.			
Mes	PER	PEC	PER Acum.	PEC Acum.	PER x PEC	PEC <sup>2</sup>
Enero	45,2	0	0	0		
Febrero	119	0	0	0		
Marzo	119,2	0	0	0		
Abril	159,5	0	0	0		
Mayo	274,2	0	0	0		
Junio	135	0	0	0		
Julio	122,9	0	0	0		
Agosto	182	182,4	182	182,4	33196,8	33124
Septiembre	136	179,8	318	362,2	115179,6	101124
Octubre	151,9	318,6	469,9	680,8	319907,92	220806,01
Noviembre	129,5	145,6	599,4	826,4	495344,16	359280,36
Diciembre	74,9	48,6	674,3	875	590012,5	454680,49

PER_ex	PEC_ex	Estimación
		0
		97,023652
		97,319865
		157,00673
		326,88475
		120,72067
		102,7998
182	182,4	190,33067
318	362,2	122,20174
469,9	680,8	145,75065
599,4	826,4	112,57482
674,3	875	31,708739

Parámetros Lineales	
Pendiente (B):	1,4810638
Intersecto (a):	-79,222937
R <sup>2</sup> :	0,9798019

Ecuación Lineal de Datos Acumulados Predictivos
$PEC = -79,22294 + 1,48106 * PER$

Mes	PER	PEC
Enero	45,2	0
Febrero	119	97,02
Marzo	119,2	97,32
Abril	159,5	157,01
Mayo	274,2	326,88
Junio	135	120,72
Julio	122,9	102,8
Agosto	182	190,33
Septiembre	136	122,2
Octubre	151,9	145,75
Noviembre	129,5	112,57
Diciembre	74,9	31,71



Correlación mediante:	
Distancias:	Sí
Altitud:	Sí
Grado:	Primaria

Identificación de Estaciones	
PEC:	HDA Centenario
PER:	Socomba
Año:	1996

--

Mes	Datos de las Estaciones		Variables del M.C.O.			
	PER	PEC	PER Acum.	PEC Acum.	PER x PEC	PEC <sup>2</sup>
Enero	3,4	9	3,4	9	30,6	11,56
Febrero	61,3	68,7	64,7	77,7	5027,19	4186,09
Marzo	231,1	140,9	295,8	218,6	64661,88	87497,64
Abril	188,8	22,4	484,6	241	116788,6	234837,16
Mayo	372,8	153	857,4	394	337815,6	735134,76
Junio	171,9	110,6	1029,3	504,6	519384,78	1059458,49
Julio	297,3	159,5	1326,6	664,1	880995,06	1759867,56
Agosto	162		1326,6	664,1		
Septiembre	190	261,8	1516,6	925,9	1404219,94	2300075,56
Octubre	247,4	289,9	1764	1215,8	2144671,2	3111696
Noviembre	199,1	167,7	1963,1	1383,5	2715948,85	3853761,61
Diciembre	28		1963,1	1383,5		

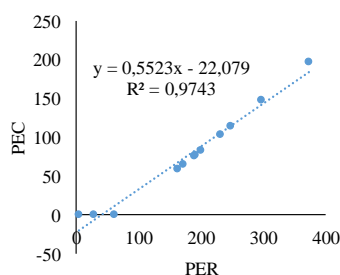
PER_ex	PEC_ex	Estimación
3,4	9	0
64,7	77,7	0
295,8	218,6	104,11717
484,6	241	76,340329
857,4	394	197,16629
1029,3	504,6	65,242726
1326,6	664,1	147,58825
		58,741764
1516,6	925,9	77,128324
1764	1215,8	114,82077
1963,1	1383,5	83,103956
		0

Parámetros Lineales	
Pendiente (B):	0,6566629
Intersecto (a):	-47,637618
R <sup>2</sup> :	0,9494428

Ecuación Lineal de Datos Acumulados Predictivos
PEC = -47,63762 + 0,65666*PER

Mes	PER	PEC
Enero	3,4	0
Febrero	61,3	0
Marzo	231,1	104,12
Abril	188,8	76,34
Mayo	372,8	197,17
Junio	171,9	65,24
Julio	297,3	147,59
Agosto	162	58,74
Septiembre	190	77,13
Octubre	247,4	114,82
Noviembre	199,1	83,1
Diciembre	28	0

Gráfica y ecuación de la línea de tendencia de los datos estimados:



Correlación mediante:	
Distancias:	Sí
Altitud:	No
Grado:	Secundaria

Identificación de Estaciones	
PEC:	HDA Centenario
PER:	La Jagua
Año:	2009

Excepción
-----------

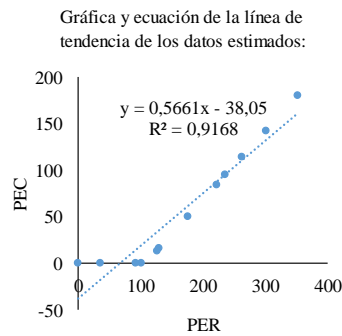
Datos de las Estaciones			Variables del M.C.O.			
Mes	PER	PEC	PER Acum.	PEC Acum.	PER x PEC	PEC <sup>2</sup>
Enero	92	0,5	92	0,5	46	8464
Febrero	0	12	92	12,5		
Marzo	176	101,1	268	113,6	30444,8	71824
Abril	352		268	113,6		
Mayo	262	173	530	286,6	151898	280900
Junio	129	112,6	659	399,2	263072,8	434281
Julio	101	62,8	760	462	351120	577600
Agosto	222	252,5	982	714,5	701639	964324
Septiembre	126	36,9	1108	751,4	832551,2	1227664
Octubre	236	117,1	1344	868,5	1167264	1806336
Noviembre	301	207,3	1645	1075,8	1769691	2706025
Diciembre	36	144,1	1681	1219,9	2050651,9	2825761

PER_ex	PEC_ex	Estimación
92	0,5	0
		0
268	113,6	50,290045
		180,05903
530	286,6	113,69989
659	399,2	15,635827
760	462	0
982	714,5	84,206939
1108	751,4	13,423855
1344	868,5	94,529472
1645	1075,8	142,45552
1681	1219,9	0

Parámetros Lineales	
Pendiente (B):	0,7373238
Intersecto (a):	-79,478942
R <sup>2</sup> :	0,9897833

Ecuación Lineal de Datos Acumulados Predictivos
PEC = -79,47894 + 0,73732*PER

Mes	PER	PEC
Enero	92	0
Febrero	0	0
Marzo	176	50,29
Abril	352	180,06
Mayo	262	113,7
Junio	129	15,64
Julio	101	0
Agosto	222	84,21
Septiembre	126	13,42
Octubre	236	94,53
Noviembre	301	142,46
Diciembre	36	0



## Predicción Estaciones: Socomba vs. La Jagua

Correlación mediante:	
<b>Distancias:</b>	Sí
<b>Altitud:</b>	Sí
<b>Grado:</b>	Primaria

Identificación de Estaciones	
<b>PEC:</b>	Socomba
<b>PER:</b>	La Jagua
<b>Año:</b>	1986

--

Datos de las Estaciones			Variables del M.C.O.			
Mes	PER	PEC	PER Acum.	PEC Acum.	PER x PEC	PEC <sup>2</sup>
Enero	111,3		0	0		
Febrero	68,6		0	0		
Marzo	112,1		0	0		
Abril	208	114,6	208	114,6	23836,8	43264
Mayo	335,8	144,4	543,8	259	140844,2	295718,44
Junio	56,9		543,8	259		
Julio	6,7		543,8	259		
Agosto	189,8		543,8	259		
Septiembre	282		543,8	259		
Octubre	159	196,5	702,8	455,5	320125,4	493927,84
Noviembre	90,4		702,8	455,5		
Diciembre	36,2		702,8	455,5		

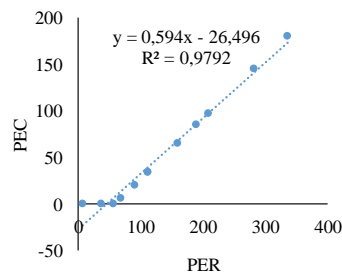
PER_ex	PEC_ex	Estimación
		33,992231
		6,2879699
		34,51128
208	114,6	96,732325
543,8	259	179,65046
		0
		0
		84,923952
		144,74439
702,8	455,5	64,94055
		20,432066
		0

Parámetros Lineales	
Pendiente (B):	0,6488117
Intersecto (a):	-38,220515
R <sup>2</sup> :	0,9174341

Ecuación Lineal de Datos Acumulados Predictivos
$PEC = -38,22051 + 0,64881 * PER$

Mes	PER	PEC
Enero	111,3	33,99
Febrero	68,6	6,29
Marzo	112,1	34,51
Abril	208	96,73
Mayo	335,8	179,65
Junio	56,9	0
Julio	6,7	0
Agosto	189,8	84,92
Septiembre	282	144,74
Octubre	159	64,94
Noviembre	90,4	20,43
Diciembre	36,2	0

Gráfica y ecuación de la línea de tendencia de los datos estimados:



Correlación mediante:	
Distancias:	Sí
Altitud:	Sí
Grado:	Primaria

Identificación de Estaciones	
PEC:	Socomba
PER:	La Jagua
Año:	1989

--

Mes	Datos de las Estaciones		Variables del M.C.O.			
	PER	PEC	PER Acum.	PEC Acum.	PER x PEC	PEC <sup>2</sup>
Enero	1	0	1	0		
Febrero	4		1	0		
Marzo	209	66,7	210	66,7	14007	44100
Abril	86	69,2	296	135,9	40226,4	87616
Mayo	298	206,1	594	342	203148	352836
Junio	195	46,2	789	388,2	306289,8	622521
Julio	147	54,5	936	442,7	414367,2	876096
Agosto	406	89,2	1342	531,9	713809,8	1800964
Septiembre	515	228	1857	759,9	1411134,3	3448449
Octubre	89	111,6	1946	871,5	1695939	3786916
Noviembre	260	183,8	2206	1055,3	2327991,8	4866436
Diciembre	43	116,2	2249	1171,5	2634703,5	5058001

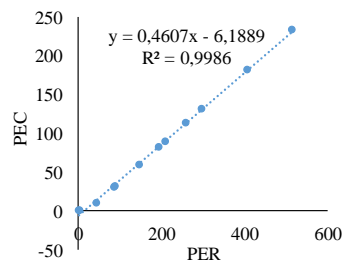
PER_ex	PEC_ex	Estimación
		0
		0
210	66,7	88,919382
296	135,9	30,883778
594	342	130,91262
789	388,2	82,313703
936	442,7	59,665663
1342	531,9	181,87071
1857	759,9	233,30064
1946	871,5	32,299281
2206	1055,3	112,98292
2249	1171,5	10,594909

Parámetros Lineales	
Pendiente (B):	0,4718342
Intersecto (a):	-9,6939605
R <sup>2</sup> :	0,9664593

Ecuación Lineal de Datos Acumulados Predictivos
$PEC = -9,69396 + 0,47183 \cdot PER$

Mes	PER	PEC
Enero	1	0
Febrero	4	0
Marzo	209	88,92
Abril	86	30,88
Mayo	298	130,91
Junio	195	82,31
Julio	147	59,67
Agosto	406	181,87
Septiembre	515	233,3
Octubre	89	32,3
Noviembre	260	112,98
Diciembre	43	10,59

Gráfica y ecuación de la línea de tendencia de los datos estimados:



Correlación mediante:	
Distancias:	Sí
Altitud:	No
Grado:	Secundaria

Identificación de Estaciones	
PEC:	Socomba
PER:	La Loma
Año:	2002

Excepción

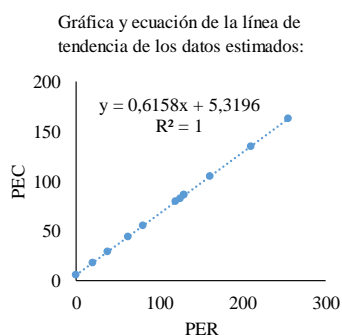
Datos de las Estaciones			Variables del M.C.O.			
Mes	PER	PEC	PER Acum.	PEC Acum.	PER x PEC	PEC <sup>2</sup>
Enero	0	15	0	15		
Febrero	20	30	20	45	900	400
Marzo	125	1	145	46	6670	21025
Abril	161	169	306	215	65790	93636
Mayo	255		306	215		
Junio	120		306	215		
Julio	62		306	215		
Agosto	80		306	215		
Septiembre	210		306	215		
Octubre	130		306	215		
Noviembre	130		306	215		
Diciembre	38		306	215		

PER_ex	PEC_ex	Estimación
		5,3194046
20	45	17,635404
145	46	82,294401
306	215	104,4632
		162,3484
		79,215401
		43,499003
		54,583402
		134,6374
		85,373401
		85,373401
		28,719803

Parámetros Lineales	
Pendiente (B):	0,6158
Intersecto (a):	5,3194046
R <sup>2</sup> :	0,8139722

Ecuación Lineal de Datos Acumulados Predictivos
$PEC = 5,3194 + 0,6158 * PER$

Mes	PER	PEC
Enero	0	5,32
Febrero	20	17,64
Marzo	125	82,29
Abril	161	104,46
Mayo	255	162,35
Junio	120	79,22
Julio	62	43,5
Agosto	80	54,58
Septiembre	210	134,64
Octubre	130	85,37
Noviembre	130	85,37
Diciembre	38	28,72



Correlación mediante:	
Distancias:	Sí
Altitud:	Sí
Grado:	Primaria

Identificación de Estaciones	
PEC:	Socomba
PER:	La Jagua
Año:	2004

--

Mes	Datos de las Estaciones		Variables del M.C.O.			
	PER	PEC	PER Acum.	PEC Acum.	PER x PEC	PEC <sup>2</sup>
Enero	15	0	15	0		
Febrero	91	115,2	106	115,2	12211,2	11236
Marzo	0	17,6	106	132,8		
Abril	30	129,7	136	262,5	35700	18496
Mayo	25	143,5	161	406	65366	25921
Junio	78	45,2	239	451,2	107836,8	57121
Julio	74	79,6	313	530,8	166140,4	97969
Agosto	80	66,4	393	597,2	234699,6	154449
Septiembre	275	195	668	792,2	529189,6	446224
Octubre	136	276	804	1068,2	858832,8	646416
Noviembre	90		804	1068,2		
Diciembre	32		804	1068,2		

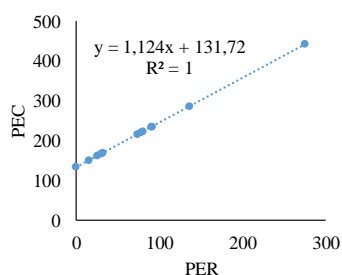
PER_ex	PEC_ex	Estimación
		148,58274
106	115,2	234,00218
		131,72364
136	262,5	165,44184
161	406	159,82214
239	451,2	219,39096
313	530,8	214,8952
393	597,2	221,63884
668	792,2	440,80715
804	1068,2	284,57949
		232,87824
		167,68972

Parámetros Lineales	
Pendiente (B):	1,12394
Intersecto (a):	131,72364
R <sup>2</sup> :	0,9327773

Ecuación Lineal de Datos Acumulados Predictivos
PEC = 131,72364 + 1,12394*PER

Mes	PER	PEC
Enero	15	148,58
Febrero	91	234
Marzo	0	131,72
Abril	30	165,44
Mayo	25	159,82
Junio	78	219,39
Julio	74	214,9
Agosto	80	221,64
Septiembre	275	440,81
Octubre	136	284,58
Noviembre	90	232,88
Diciembre	32	167,69

Gráfica y ecuación de la línea de tendencia de los datos estimados:



## Predicción Estaciones: La Jagua vs. La Loma

Correlación mediante:	
Distancias:	Sí
Altitud:	No
Grado:	Primaria

Identificación de Estaciones	
PEC:	La Jagua
PER:	La Loma
Año:	2002

--

Datos de las Estaciones			Variables del M.C.O.			
Mes	PER	PEC	PER Acum.	PEC Acum.	PER x PEC	PEC <sup>2</sup>
Enero	0	0	0	0		
Febrero	20	0	20	0		
Marzo	125	0	145	0		
Abril	161	133	306	133	40698	93636
Mayo	255	186	561	319	178959	314721
Junio	120	90	681	409	278529	463761
Julio	62	15	743	424	315032	552049
Agosto	80	60	823	484	398332	677329
Septiembre	210	55	1033	539	556787	1067089
Octubre	130		1033	539		
Noviembre	130		1033	539		
Diciembre	38		1033	539		

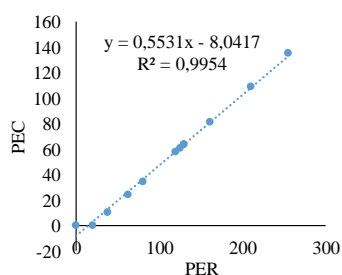
PER_ex	PEC_ex	Estimación
		0
		0,3173056
		60,446458
306	133	81,062168
561	319	134,89208
681	409	57,583165
743	424	24,368967
823	484	34,676821
1033	539	109,12244
		63,309751
		63,309751
		10,62516

Parámetros Lineales	
Pendiente (B):	0,5726586
Intersecto (a):	-11,135866
R <sup>2</sup> :	0,9581322

Ecuación Lineal de Datos Acumulados Predictivos
$PEC = -11,13587 + 0,57266 * PER$

Mes	PER	PEC
Enero	0	0
Febrero	20	0,32
Marzo	125	60,45
Abril	161	81,06
Mayo	255	134,89
Junio	120	57,58
Julio	62	24,37
Agosto	80	34,68
Septiembre	210	109,12
Octubre	130	63,31
Noviembre	130	63,31
Diciembre	38	10,63

Gráfica y ecuación de la línea de tendencia de los datos estimados:



Correlación mediante:	
Distancias:	No
Altitud:	Sí
Grado:	Primaria

Identificación de Estaciones	
PEC:	La Jagua
PER:	Guaymaral
Año:	2003

Excepción
-----------

Datos de las Estaciones			Variables del M.C.O.			
Mes	PER	PEC	PER Acum.	PEC Acum.	PER x PEC	PEC <sup>2</sup>
Enero	0		0	0		
Febrero	4		0	0		
Marzo	3,8		0	0		
Abril	149,3	0	149,3	0		
Mayo		30	149,3	30		
Junio	34,9	201	184,2	231	42550,2	33929,64
Julio	89,2	140	273,4	371	101431,4	74747,56
Agosto	93	0	366,4	371		
Septiembre	107	246	473,4	617	292087,8	224107,56
Octubre	161	191	634,4	808	512595,2	402463,36
Noviembre	102	362	736,4	1170	861588	542284,96
Diciembre	32	88	768,4	1258	966647,2	590438,56

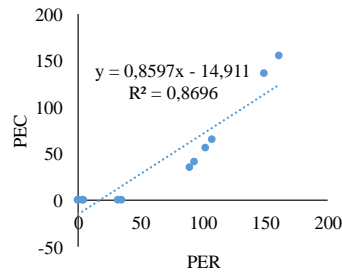
PER_ex	PEC_ex	Estimación
		0
		0
		0
		135,6209
		0
184,2	231	0
273,4	371	34,976765
		41,340288
473,4	617	64,784845
634,4	808	155,21385
736,4	1170	56,411789
768,4	1258	0

Parámetros Lineales	
Pendiente (B):	1,6746112
Intersecto (a):	-114,39855
R <sup>2</sup> :	0,9591825

Ecuación Lineal de Datos Acumulados Predictivos
PEC = -114,39855 + 1,67461*PER

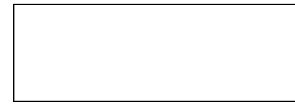
Mes	PER	PEC
Enero	0	0
Febrero	4	0
Marzo	3,8	0
Abril	149,3	135,62
Mayo	0	0
Junio	34,9	0
Julio	89,2	34,98
Agosto	93	41,34
Septiembre	107	64,78
Octubre	161	155,21
Noviembre	102	56,41
Diciembre	32	0

Gráfica y ecuación de la línea de tendencia de los datos estimados:



Correlación mediante:	
Distancias:	Sí
Altitud:	No
Grado:	Primaria

Identificación de Estaciones	
PEC:	La Jagua
PER:	La Loma
Año:	2005



Datos de las Estaciones			Variables del M.C.O.			
Mes	PER	PEC	PER Acum.	PEC Acum.	PER x PEC	PEC <sup>2</sup>
Enero	30	60	30	60	1800	900
Febrero	102	5	132	65	8580	17424
Marzo	0	130	132	195		
Abril	194	63,5	326	258,5	84271	106276
Mayo	354		326	258,5		
Junio	121		326	258,5		
Julio	69		326	258,5		
Agosto	129		326	258,5		
Septiembre	149		326	258,5		
Octubre	132		326	258,5		
Noviembre	324		326	258,5		
Diciembre	90		326	258,5		

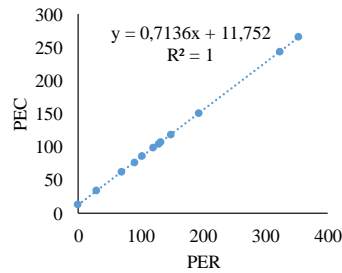
PER_ex	PEC_ex	Estimación
30	60	33,161541
132	65	84,541207
		11,753347
326	258,5	150,193
		264,37004
		98,09973
		60,992193
		103,80858
		118,08071
		105,9494
		242,96184
		75,977929

Parámetros Lineales	
Pendiente (B):	0,7136065
Intersecto (a):	11,753347
R <sup>2</sup> :	0,8986747

Ecuación Lineal de Datos Acumulados Predictivos
$PEC = 11,75335 + 0,71361 * PER$

Mes	PER	PEC
Enero	30	33,16
Febrero	102	84,54
Marzo	0	11,75
Abril	194	150,19
Mayo	354	264,37
Junio	121	98,1
Julio	69	60,99
Agosto	129	103,81
Septiembre	149	118,08
Octubre	132	105,95
Noviembre	324	242,96
Diciembre	90	75,98

Gráfica y ecuación de la línea de tendencia de los datos estimados:



Correlación mediante:	
Distancias:	Sí
Altitud:	No
Grado:	Primaria

Identificación de Estaciones	
PEC:	La Jagua
PER:	La Loma
Año:	2006

--

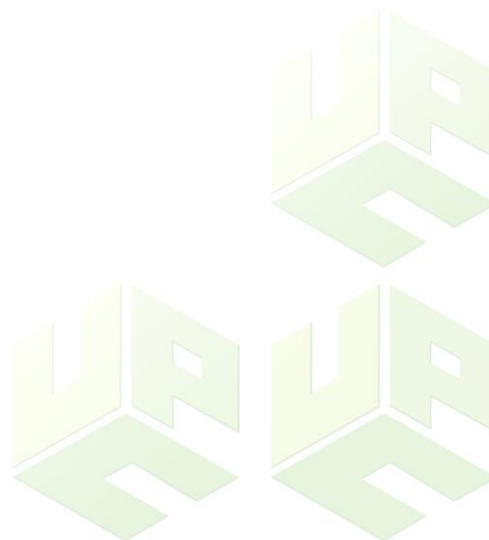
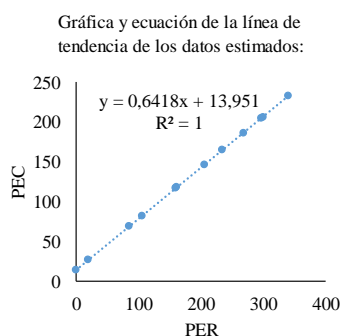
Datos de las Estaciones			Variables del M.C.O.			
Mes	PER	PEC	PER Acum.	PEC Acum.	PER x PEC	PEC <sup>2</sup>
Enero	0		0	0		
Febrero	19		0	0		
Marzo	160	73	160	73	11680	25600
Abril	340	194	500	267	133500	250000
Mayo	299	243	799	510	407490	638401
Junio	85	165	884	675	596700	781456
Julio	161	65	1045	740	773300	1092025
Agosto	105	65	1150	805	925750	1322500
Septiembre	268	120	1418	925	1311650	2010724
Octubre	296	215	1714	1140	1953960	2937796
Noviembre	234		1714	1140		
Diciembre	205	5	1919	1145	2197255	3682561

PER_ex	PEC_ex	Estimación
		13,950474
		26,145121
160	73	116,64224
500	267	232,17047
799	510	205,85571
884	675	68,505473
1045	740	117,28406
1150	805	81,341943
1418	925	185,95918
1714	1140	203,93024
		164,13718
1919	1145	145,5243

Parámetros Lineales	
Pendiente (B):	0,6418235
Intersecto (a):	13,950474
R <sup>2</sup> :	0,9699388

Ecuación Lineal de Datos Acumulados Predictivos
PEC = 13,95047 + 0,64182*PER

Mes	PER	PEC
Enero	0	13,95
Febrero	19	26,15
Marzo	160	116,64
Abril	340	232,17
Mayo	299	205,86
Junio	85	68,51
Julio	161	117,28
Agosto	105	81,34
Septiembre	268	185,96
Octubre	296	203,93
Noviembre	234	164,14
Diciembre	205	145,52



## Predicción Estaciones: Guaymaral vs. La Loma

Correlación mediante:	
Distancias:	Sí
Altitud:	No
Grado:	Secundaria

Identificación de Estaciones	
PEC:	Guaymaral
PER:	HDA Centenario
Año:	1985

Excepción

Datos de las Estaciones			Variables del M.C.O.			
Mes	PER	PEC	PER Acum.	PEC Acum.	PER x PEC	PEC <sup>2</sup>
Enero	0	0	0	0		
Febrero	1,2	0	1,2	0		
Marzo	18,9	0	1,2	0		
Abril	213,9	102,5	215,1	102,5	22047,75	46268,01
Mayo	120,9	33,4	336	135,9	45662,4	112896
Junio	61,3	49,9	397,3	185,8	73818,34	157847,29
Julio	84,8	58,9	482,1	244,7	117969,87	232420,41
Agosto	208,9		482,1	244,7		
Septiembre	330,1		482,1	244,7		
Octubre	235,7	286,8	717,8	531,5	381510,7	515236,84
Noviembre	55,8	108,1	773,6	639,6	494794,56	598456,96
Diciembre	120,5		773,6	639,6		

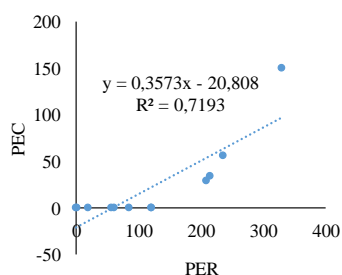
PER_ex	PEC_ex	Estimación
		0
		0
		0
215,1	102,5	34,100173
336	135,9	0
397,3	185,8	0
482,1	244,7	0
		29,109636
		150,08025
717,8	531,5	55,858915
773,6	639,6	0
		0

Parámetros Lineales	
Pendiente (B):	0,9981074
Intersecto (a):	-179,395
R <sup>2</sup> :	0,9545731

Ecuación Lineal de Datos Acumulados Predictivos
$PEC = -179,395 + 0,99811 * PER$

Mes	PER	PEC
Enero	0	0
Febrero	1,2	0
Marzo	18,9	0
Abril	213,9	34,1
Mayo	120,9	0
Junio	61,3	0
Julio	84,8	0
Agosto	208,9	29,11
Septiembre	330,1	150,08
Octubre	235,7	55,86
Noviembre	55,8	0
Diciembre	120,5	0

Gráfica y ecuación de la línea de tendencia de los datos estimados:



Correlación mediante:	
Distancias:	Sí
Altitud:	Sí
Grado:	Primaria

Identificación de Estaciones	
PEC:	Guaymaral
PER:	La Loma
Año:	2003

--

Datos de las Estaciones			Variables del M.C.O.			
Mes	PER	PEC	PER Acum.	PEC Acum.	PER x PEC	PEC <sup>2</sup>
Enero	35	0	35	0		
Febrero	90	4	125	4	500	15625
Marzo	113	3,8	238	7,8	1856,4	56644
Abril	191	149,3	429	157,1	67395,9	184041
Mayo	68		429	157,1		
Junio	210	34,9	639	192	122688	408321
Julio	150	89,2	789	281,2	221866,8	622521
Agosto	109	93	898	374,2	336031,6	806404
Septiembre	558	107	1456	481,2	700627,2	2119936
Octubre	349	161	1805	642,2	1159171	3258025
Noviembre	107	102	1912	744,2	1422910,4	3655744
Diciembre	75	32	1987	776,2	1542309,4	3948169

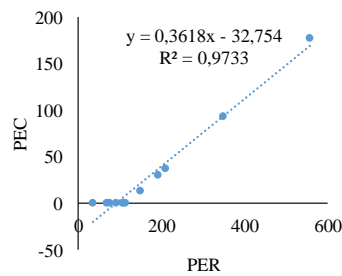
PER_ex	PEC_ex	Estimación
		0
125	4	0
238	7,8	0
429	157,1	29,653147
		0
639	192	37,290312
789	281,2	13,172947
898	374,2	0
1456	481,2	177,17103
1805	642,2	93,162208
1912	744,2	0
1987	776,2	0

Parámetros Lineales	
Pendiente (B):	0,4019561
Intersecto (a):	-47,120466
R <sup>2</sup> :	0,9832316

Ecuación Lineal de Datos Acumulados Predictivos
PEC = -47,12047 + 0,40196*PER

Mes	PER	PEC
Enero	35	0
Febrero	90	0
Marzo	113	0
Abril	191	29,65
Mayo	68	0
Junio	210	37,29
Julio	150	13,17
Agosto	109	0
Septiembre	558	177,17
Octubre	349	93,16
Noviembre	107	0
Diciembre	75	0

Gráfica y ecuación de la línea de tendencia de los datos estimados:



Correlación mediante:	
Distancias:	Sí
Altitud:	Sí
Grado:	Primaria

Identificación de Estaciones	
PEC:	Guaymaral
PER:	La Loma
Año:	2004

--

Datos de las Estaciones			Variables del M.C.O.			
Mes	PER	PEC	PER Acum.	PEC Acum.	PER x PEC	PEC <sup>2</sup>
Enero	10	0	10	0		
Febrero	10	9	20	9	180	400
Marzo	41	51	61	60	3660	3721
Abril	150	142	211	202	42622	44521
Mayo	183	195	394	397	156418	155236
Junio	156	91	550	488	268400	302500
Julio	219	164	769	652	501388	591361
Agosto	168	67	937	719	673703	877969
Septiembre	385	195	1322	914	1208308	1747684
Octubre	383,1	197	1705,1	1111	1894366,1	2907366,01
Noviembre	118		1705,1	1111		
Diciembre	12		1705,1	1111		

PER_ex	PEC_ex	Estimación
		82,813388
20	9	82,813388
61	60	102,88569
211	202	173,46249
394	397	194,82978
550	488	177,34745
769	652	218,13955
937	719	185,11737
1322	914	325,62348
1705,1	1111	324,39324
		152,74269
		84,108375

Parámetros Lineales	
Pendiente (B):	0,6474936
Intersecto (a):	76,338452
R <sup>2</sup> :	0,9742971

Ecuación Lineal de Datos Acumulados Predictivos
$PEC = 76,33845 + 0,64749 * PER$

Mes	PER	PEC
Enero	10	82,81
Febrero	10	82,81
Marzo	41	102,89
Abril	150	173,46
Mayo	183	194,83
Junio	156	177,35
Julio	219	218,14
Agosto	168	185,12
Septiembre	385	325,62
Octubre	383,1	324,39
Noviembre	118	152,74
Diciembre	12	84,11

Gráfica y ecuación de la línea de tendencia de los datos estimados:

