

“Análisis de zonas con floración productiva y no productiva del cultivo de Palma de Aceite (cruce entre *Elaeis oleifera* y *Elaeis guineensis*) en la zona de Urabá, Antioquia”

Daniel Quintero Hurtado

Propuesta de trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de
Especialista en Sistemas de Información Geográfica

Director (a):

Ph.D. Alberto Boada Rodríguez

Universidad de Manizales

Facultad de Ciencias e Ingeniería

Especialización en Sistemas de Información Geográfica

Manizales, 2023

Resumen

El cultivo de palma de aceite híbrido (cruce entre *Elaeis oleifera* y *Elaeis guineensis*) presenta diferentes características que obstaculizan la polinización natural debido a la baja producción de inflorescencias masculinas y su interacción en un medio con flores femeninas. Es por eso que se busca emplear estrategias en el mejoramiento de la polinización dentro del cultivo a través de la polinización asistida. Pero dicha labor se ve afectada por diferentes factores que pueden interrumpir el proceso de mejoramiento en la producción como estabilidad de personal, indicadores climáticos, entre otros.

Para analizar el comportamiento de la floración productiva y no productiva dentro del cultivo de palma se toma una metodología de un análisis por medio de mapas de calor, los cuales son una técnica comúnmente utilizada para visualizar la distribución de datos espaciales; en este caso, con la distribución de Kernel Density se emplea una técnica de suavizado para representar mejor la distribución a lo largo de una superficie, mirando el grado de influencia de cada punto en un área determinada y creando un mapa de calor más suave y uniforme que representa una densidad de puntos más precisa. Se debe tener en cuenta que la información serán bases de datos de los puntos geolocalizados por los operarios dentro de las áreas de estudio.

Palabras clave: Polinización. Mapas de Calor. Kernel Density.

Abstract

The hybrid oil palm crop (cross between *Ealey's oleifera* and *Ealey's guineensis*) presents different characteristics that hinder natural pollination due to the low production of male inflorescences and their interaction in an environment with female flowers. For this reason, strategies are sought to improve pollination within the crop through assisted pollination. However, this work is affected by different factors that can interrupt the process of production improvement, such as personnel stability, climatic indicators, among others.

In order to analyze the behavior of the productive and non-productive flowering analysis within the palm crop, the methodology of a heat map analysis is used, which is a technique commonly used to visualize the distribution of spatial data; in this case with the Kernel Density distribution, a smoothing technique is used to better represent the distribution along a surface, looking at the degree of influence of each point in a given area and creating a smoother and more uniform heat map that represents a more accurate density of points. It would be noted that the information would be databases of point's geolocated by operators within the study areas.

Keywords: Pollination. Heat Mapping. Kernel Density.

Contenido

	Pág.
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN Y SU JUSTIFICACIÓN	11
1.1 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA PROBLEMÁTICA	12
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	13
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	13
2. OBJETIVOS.....	15
2.1 OBJETIVO GENERAL.....	15
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
3. ANTECEDENTES.....	16
4. MARCO TEÓRICO	21
5. METODOLOGÍA.....	42
5.1 ENFOQUE METODOLÓGICO	47
5.2 TIPO DE ESTUDIO	48
5.3 PROCEDIMIENTO:.....	49
5.1 RESULTADOS	52
6. RESULTADOS OBTENIDOS.....	84
7. IMPACTOS GENERADOS.....	85
8. CRONOGRAMA	86
9. CONCLUSIONES.....	88
10. REFERENCIAS.....	91

Lista de Figuras

Figura 1. Esquema proyecto agricultura de precisión en palma de aceite.....	17
Figura 2. Guía metodológica sobre el proceso de producción de Palma de aceite.	19
Figura 3. Partes de una inflorescencia.	23
Figura 4. Características de la inflorescencia femenina del híbrido interespecífico OxG. A. Inflorescencia en antesis. B. Prófilo. C. Inflorescencia descubierta. D. Raquilla. E. Racimo envuelto en la bráctea peduncular. F. Botón floral. G. Flor en antesis. H. Flor polinizada. I. Flor en senescencia e inicio de la formación de fruto. Fotos: A. Sánchez, 2011.	24
Figura 5. Inflorescencia masculina y sus partes. A. Inflorescencia masculina. B. Prófilo y bráctea peduncular. C. Detalle del pedúnculo. D. Raquis. E. Raquillas o espiguillas. F. Detalle de espinas florales sobre la raquilla. G. Flores en estado de antesis.	25
Figura 6. Flor Andrógena. Flor Macho. Flor Preantesis. Flor Antesis. Finca Lomitas. Grupo Nuevo Mundo Oleico S.A.S. Fotos: Valle, C. 2023.	27
Figura 7. Recorrido en zigzag para desarrollo de labor de polinización.....	28
Figura 8. Herramientas para el desarrollo de la labor de polinización. Fotos: Cordero, K. 2023.....	31
Figura 9. Ejecución de la labor de polinización. Fotos: Cordero, K. 2023.	31
Figura 10. Paso del polinizador para registro de floración en campo.	32
Figura 11. Descripción de funciones del Jaco.....	33
Figura 12. Descripción de partes del Jaco.....	33
Figura 14. Marcaciones en la labor de polinización Registro con Jaco. Finca La Caja, 6/06/2023. Recorrido en la labor de polinización. Registro con Jaco. Finca La Caja, 6/06/2023.	34
Figura 15. Supervisión de labor de polinización a través de SIOMA App.	35
Figura 16. Vista general de información plataforma SIOMA.	36
Figura 17. Ejemplo de histograma de emisión floral. Finca La Caja. Semana 2.	38
Figura 18. (1) Toma de muestreos de floración productiva. (2) Modelación KDE con barrera de área finca. Finca La Caja.	41
Figura 19. Metodología para desarrollo del Proyecto.....	44
Figura 20. Formato de producción. Nuevo Mundo Oleico.	45
Figura 21. Transición de base de datos inicial a base de datos depurada.	48
Figura 22. Descripción de fase 1.	49
Figura 23. Descripción de fase 2.	50
Figura 24. Descripción de fase 3.	50
Figura 25. Descripción de fase 4.	51
Figura 26. Tabla inicial de floración fincas. Nuevo Mundo Oleico.	53
Figura 27. Base de datos depurada. Nuevo Mundo Oleico.....	54
Figura 28. Comportamiento de floración total. Nuevo Mundo Oleico.	54
Figura 29. Comportamiento de floración total primer trimestre. Nuevo Mundo Oleico.	55
Figura 30. Comportamiento de flor palma mes 2022. Nuevo Mundo Oleico.....	57
Figura 31. Comportamiento Flor palma mes primer trimestre. Nuevo Mundo Oleico.	58
Figura 32. Comportamiento de temperatura media (°C) de estación Villarteaga. Periodo 1975-2016....	60
Figura 33. Comportamiento de temperatura máxima (°C) de estación Villarteaga. Periodo 1975-2016..	61

Figura 34. Comportamiento de temperatura mínima (°C) de estación Villarteaga. Periodo 1975-2015....	62
Figura 35. Comportamiento de temperatura media, baja y alta en la zona de Urabá.	63
Figura 36. Comportamiento de humedad relativa (°C) de estación Villarteaga. Periodo 1956-2015. ...	64
Figura 37. Distribución espacial de la humedad relativa en la zona de Urabá.	65
Figura 38. Comportamiento de precipitación finca La Caja. Nuevo Mundo Oleico S.A.S.	67
Figura 39. Comportamiento de precipitación finca Nuevo Mundo. Nuevo Mundo Oleico S.A.S.	68
Figura 40. Comportamiento de precipitación finca Soleira. Nuevo Mundo Oleico S.A.S.	69
Figura 41. Comportamiento de precipitación finca Las Tekas. Nuevo Mundo Oleico S.A.S.	70
Figura 42. Comportamiento de precipitación finca Lomitas. Nuevo Mundo Oleico S.A.S.	71
Figura 43. Comportamiento de precipitación finca Casacoima. Nuevo Mundo Oleico S.A.S.	72
Figura 44. Levantamiento finca Nuevo Mundo. AutoCAD	75
Figura 45. Levantamiento finca Nuevo Mundo. ArcGIS	76
Figura 46. Procedimiento paso a paso para generación de mapa de calor	77
Figura 47. Mapa de calor semana 27. Finca Nuevo Mundo. Nuevo Mundo Oleico S.A.S.	78
Figura 48. Mapa de calor semana 27. Finca Casacoima. Nuevo Mundo Oleico S.A.S.	79
Figura 49. Mapa de calor semana 25. Finca La Caja. Nuevo Mundo Oleico S.A.S.	81
Figura 50. Mapa de calor semana 25. Finca La Caja. Nuevo Mundo Oleico S.A.S.	82
Figura 51. Mapa de calor semana 25. Finca La Caja. Nuevo Mundo Oleico S.A.S.	83

Lista de tablas

	Pág.
<i>Tabla 1. Descripción de las funciones de cada parte de la inflorescencia</i>	22
<i>Tabla 2. Reconocimiento de estructuras florales en palma de aceite OxG. Fotos: A. Sánchez y R. Ávila, 2011</i>	26
<i>Tabla 3. Estándar de polinización para cultivo de palma OxG. Nuevo Mundo Oleico S.A.S.</i>	29
<i>Tabla 4. Estándar de supervisión de labor de polinización para cultivo de palma OxG. Nuevo Mundo Oleico S.A.S.</i>	30
<i>Tabla 5. Comportamiento de floración total 2022. Nuevo Mundo Oleico.</i>	55
<i>Tabla 6. Comportamiento de floración total primer trimestre. Nuevo Mundo Oleico.</i>	56
<i>Tabla 7. Comportamiento flor palma mes 2022. Nuevo Mundo Oleico</i>	58
<i>Tabla 8. Comportamiento Flor palma mes primer trimestre. Nuevo Mundo Oleico.</i>	59
<i>Tabla 9. Valores mensuales de temperatura media (°C). Periodo 1975-2016.</i>	60
<i>Tabla 10. Valores mensuales de temperatura máxima (°C). Periodo 1975-2016.</i>	61
<i>Tabla 11. Valores mensuales de temperatura máxima (°C). Periodo 1975-2016.</i>	62
<i>Tabla 12. Datos precipitación finca La Caja. Nuevo Mundo Oleico S.A.S.</i>	67
<i>Tabla 13. Datos precipitación finca Nuevo Mundo. Nuevo Mundo Oleico S.A.S.</i>	68
<i>Tabla 14. Datos precipitación finca Soleira. Nuevo Mundo Oleico S.</i>	69
<i>Tabla 15. Datos precipitación finca Las Tekas. Nuevo Mundo Oleico S.A.S.</i>	70
<i>Tabla 16. Datos precipitación finca Lomitas. Nuevo Mundo Oleico S.A.S.</i>	71
<i>Tabla 17. Datos precipitación finca Casacoima. Nuevo Mundo Oleico S.A.S.</i>	72
<i>Tabla 18. Análisis foliares. Nuevo Mundo Oleico S.A.S. 2022.</i>	73
<i>Tabla 19. Análisis edáfico de fincas. Nuevo Mundo Oleico S.A.S.</i>	74
<i>Tabla 20. Resultados obtenidos.</i>	84
<i>Tabla 21. Impactos Generados.</i>	85
<i>Tabla 22. Cronograma 2022.</i>	86
<i>Tabla 23. Cronograma 2023</i>	87

Lista de símbolos y abreviaturas

Símbolos con letras latinas

Símbolo	Término	Unidad SI	Definición
A	Área	ha	Unidades en hectáreas. Una hectárea equivale a 10000 m^2

Subíndices

Subíndice	Término
N	Nitrógeno
P	Fósforo
K	Potasio
Ca	Calcio
Mg	Magnesio
S	Azufre
Cl	Cloro
Fe	Hierro
Mn	Manganeso
Cu	Cobre
Zn	Zinc
B	Boro

Superíndices

Superíndice	Término
f	función
(x)	en función
n	número de datos
i	dato inicial
K	función Kernel
h	ancho de la banda
Xi	en función inicial
°C	Grados Centígrados

Abreviaturas

Abreviatura	Término
OxG	<i>Oleifera x Guineensis</i>
DF	Dimensión fundamental
RFF	Racimos de fruta fresca
KDE	Kernel Density Estimation
APC	Aceite de Palma Crudo
SIOMA	System of Information of Modern Agriculture

1. Planteamiento del problema de investigación y su justificación

En contexto nacional, en Colombia existen experiencias exitosas en el manejo de cultivos de palma de aceite, donde el manejo de plantaciones que utilizan conceptos de agricultura de precisión puede causar un impacto positivo en la reducción de costos y optimización de recursos. En el sector palmero, a través de Cenipalma, se han realizado esfuerzos hacia el manejo específico por sitio, es decir, buscar el seguimiento a través de unidades de manejo agronómico o individuo donde existe una homogeneidad de las características de los recursos biofísicos que intervienen en la producción: clima, material genético de siembra, edad del cultivo, suelo, entre otros. (Cooman *et ál.*, 2021)

El cultivo de palma de aceite híbrido (cruce entre *Elaeis oleifera* y *Elaeis guineensis*) presentan diferentes características que obstaculizan la polinización natural debido a la baja producción de inflorescencias masculinas, por lo que se busca utilizar la herramienta de polinización asistida a través de personas capacitadas en la liberación controlada y adecuada del polen para que la flor llegue a su estado de producción.

Dentro del cultivo, la estabilidad de dicha labor se ve afectada por diferentes factores tanto de estabilidad de personal, indicadores climáticos, entre otros; dichos factores influyen en los datos históricos diarios de las zonas de establecimiento del cultivo, en dónde el no poder identificar patrones y zonas con mayor o menor floración genera que no se tengan datos precisos de producción que se puedan utilizar.

El objetivo del análisis es generar herramientas para identificar el comportamiento de la floración dentro del cultivo, conociendo cuáles zonas son más productivas y viendo qué variables externas (temperatura, humedad, precipitación, tipo de Suelo, entre otras) intervienen para que aumente o disminuya la floración y de generar con esa información un aumento en la productividad del cultivo.

La información de cada floración es a una escala diaria. Cada marcación registrada tiene una posición de latitud y longitud que permite registrar una ubicación de la zona en dónde se encuentra y así poder hacer un análisis con herramientas geo informáticas que permitirá visualizar toda la información a través de mapas de calor con diferentes escalas de color.

1.1 Descripción del área problemática

En el sector palmero, la identificación de la floración y sus diferentes tipos permite esclarecer cuáles son aquellas que en un periodo determinado de 24-26 semanas de gestación van a generar un racimo con corozos o producto conforme para la cosecha. El cultivo de palma de aceite híbrido (cruce entre *Elaeis oleifera* y *Elaeis guineensis*) presenta características que obstaculizan la polinización natural debido a la baja producción de inflorescencias masculinas, por lo que se requiere utilizar una polinización asistida, que consiste en capacitar y entrenar a personas para que la liberación controlada del polen sea la adecuada para que la flor llegue a su estado de producción.

En la zona del Urabá Antioqueño, se busca hacer la identificación de zonas productivas en dicho cultivo en 7 fincas establecidas, que cuentan en total con un área aproximada de 2100 ha. La información se relaciona con una base de datos del año 2022 y primer trimestre del 2023, donde se ve la cantidad de floración muestreada en cada finca y el tipo de flores para así generar un análisis de cómo es el crecimiento o disminución de las diferentes épocas del año y zonas de la finca. Todos los datos son suministrados por SIOMA (System of Information of Modern Agriculture) un ecosistema de agricultura de precisión que junta las labores, el clima y la producción para poder evidenciar cómo se puede optimizar la mano de obra a través de un dispositivo con un GPS de alta precisión, el cual permite visualizar el día a día de las labores de cada uno de los operarios en campo.

La información de cada floración se encuentra en una escala de tiempo día a día, acumulada en un periodo promedio de trabajo de 8 horas diarias y con un punto de geolocalización con coordenadas geográficas establecido por la herramienta JACO, dispositivo dado por SIOMA para hacer el seguimiento a los operarios en campo.

Además, se debe conocer que las herramientas a utilizar y emplear para modificar y estandarizar la metodología y el comportamiento de los datos son agricultura de precisión, ArcGIS como herramienta de análisis para sistemas de información geográfica y consolidación de información histórica; dicho software se empleó por la facilidad de manipulación de los datos que se tienen, además, de contar con la claridad para la interpretación de los datos a través de un mapa. Para complementar, se debe tener un contexto y marco conceptual de términos agrícolas y bióticos para comprender el crecimiento de la unidad biológica, la palma de aceite y su relación con factores externos que influyen en su crecimiento y desarrollo.

El objetivo de dicho análisis es generar una metodología para poder identificar el

comportamiento de la floración dentro del cultivo, identificando cuáles zonas son más productivas y mirar qué variables externas (temperatura, humedad, precipitación, tipo de Suelo, entre otras) están interviniendo para que esté en aumento o disminución la floración, además, de generar con dicha identificación un aumento en la productividad del cultivo.

1.2 Formulación del problema

¿Cómo identificar las áreas de mayor y menor producción de floración dentro del cultivo de palma de aceite con Kernel Density y su interpretación a través de mapas de calor?

1.3 Justificación

Los sistemas de producción agrícola se han favorecido por las incorporaciones en los avances dentro de la industria tecnológica ofreciendo una ingeniería genética y automatizada. La información es considerada uno de los elementos más importantes para la agricultura de precisión, ya que se conceptualiza mediante un enfoque de sistema para la reestructuración del denominado sistema agrícola hacia una agricultura sostenible bajando los insumos y potenciando la eficiencia. (Cooman *et al.*, 2021)

La polinización, aunque es una tecnología muy reciente, participa con un 18 % del costo de producir una tonelada de fruta (Mosquera *et al.*, 2019). Dada la gran cantidad de mano de obra que demanda y la baja disponibilidad de este recurso en algunas regiones, la investigación y búsqueda de opciones que permitan mejorar la producción de racimos (RFF) se mantiene constante.

La polinización artificial, es decir, la aplicación del ANA y polen a inflorescencias de cultivos de palma de aceite es una práctica muy reciente y no existen estudios previos de referenciación competitiva para esta. En el 2018, Cenipalma compartió los resultados experimentales de la aplicación de ácido naftalenacético (ANA) líquido, en la producción de racimos de palma de aceite. Dichas aplicaciones a inflorescencias durante y después de la antesis, permitieron el desarrollo y llenado de frutos, así como la producción de un 15 % más de racimos, con porcentajes de formación de frutos cercanos al 95 % de formación. (Daza *et al.*, 2020; Romero *et al.*, 2021).

Al hacer el seguimiento de la labor de polinización y tener en cuenta la eficiencia de la polinización asistida permite tener como relevancia datos importantes a la hora de implementarse por parte de una plantación. El primero, el incremento en la eficiencia de la polinización (cerca del 100 % de inflorescencias polinizadas), resultado de hacerlo en estadios posteriores a la antesis y garantizar la formación de frutos (Daza *et al.*, 2020; Ruiz *et al.*, 2020). El segundo, el aumento en la tasa de extracción de aceite (TEA) en más de tres puntos porcentuales, dado la mayor proporción de frutos partenocárpicos aceitosos (Romero *et al.*, 2020).

La aplicación separada de polen y ANA asegura que exista una mejor formación de frutos en el racimo, especialmente de normales. Este resultado es consistente con las pruebas llevadas a cabo por Cenipalma, según las cuales en la mezcla del polen y el ANA, el segundo insumo afecta negativamente la germinabilidad y viabilidad del primero (Ruiz et al., 2020). Esto implica un cambio en el diagrama de operaciones del polinizador, debido a que debe tomar la decisión de suministrar polen + talco en el caso de inflorescencias de primera aplicación; mientras que, si es de segunda y/o tercera, se emplea ANA + talco.

Al conocer el comportamiento de la floración en el cultivo de Palma, se identifican los patrones o épocas en las que se tendrá más producción en un periodo de 24 a 26 semanas tras realizar la polinización. Si se conoce la data de información de la floración, se puede representar realizar una representación a través de mapas de calor (representaciones gráficas de los datos utilizando colores para indicar el nivel de actividad) implementando escalas de color diferentes que muestren una baja y alta actividad de la floración.

Analizar los datos históricos de 15 meses en el cultivo de Palma de aceite híbrida (cruce entre *Elaeis oleifera* y *Elaeis guineensis*) permitirá tomar decisiones futuras frente a la productividad de la plantación y aplicarla a futuras siembras. Parte de la innovación de los análisis es la implementación de datos que provee la información diaria de la floración tomada desde la plataforma de agricultura de precisión SIOMA, en dónde la generación de estos datos en una escala de tiempo elegida (diaria, semanal, mensual o anual) permitirá observar la floración de la plantación además de ser diferencial frente a las demás plantaciones de cultivo de palma en el sector palmero de la zona de Urabá, Antioquia.

Luego de identificar y tomar decisiones frente a los datos históricos, conocer los errores que pueden influir y analizar los resultados se podrán tomar decisiones futuras frente a cómo se va a manejar la producción de la plantación, conocer cuáles zonas intervenir de forma temprana y hacer planes de acción frente a la labor en cuánto a capacitaciones, seguimiento y acompañamiento, además de generar un valor agregado para la compañía al tener datos en primera mano en mapas de calor para mejorar los índices de producción.

2. Objetivos

2.1 Objetivo general

Analizar zonas con floración productiva y no productiva del cultivo de Palma de Aceite (cruce entre *Elaeis oleifera* y *Elaeis guineensis*) en la zona de Urabá, Antioquia.

2.2 Objetivos específicos

- ✓ Analizar el comportamiento de los datos históricos de la floración en el cultivo de Palma.
- ✓ Identificar patrones y datos relevantes dentro de los datos históricos de floración en el cultivo de Palma.
- ✓ Analizar la influencia de los factores ambientales en la floración en el cultivo de Palma.
- ✓ Interpretar las posibles causas de la alta y baja emisión floral en el cultivo de Palma.

3. Antecedentes

Desde la perspectiva internacional, hay que conocer qué los primeros países productores de aceite de palma en el Mundo se encuentra Malasia e Indonesia, los cuáles han integrado tecnologías como GPS, sensores remotos y sistemas de información geográfica en sistemas administradores de bases de datos agronómicos para incrementar eficiencia en la utilización de áreas como la fertilización, seguimiento a variables ambientales y productividad. (Mosquera, M, 2019)

La producción de aceite de palma en Colombia ha mostrado menores rendimientos de los cultivadores colombianos y el mayor costo de producción afecta la competitividad en el mercado (Cooman et al., 2021); si se compara la producción de aceite de palma en el mundo, está se ha estancado a nivel global; observando el contexto internacional y comparando años anteriores, el decrecimiento y rendimiento global de la producción se ha visto relacionado a aspectos como la baja fertilización, variables climáticas y escasez de mano de obra, en dónde el promedio del rendimiento nacional de la agroindustria de la palma en Colombia para los últimos años ha estado en los 3,2 a 3,3 Aceite de Palma Crudo (APC/ha), inferior a países como Indonesia y Malasia. (Mosquera, M, 2019)

El cultivo de híbrido OxG (*Elaeis oleifera* x *Elaeis guineensis*) cuenta, con alrededor de 80000 ha sembradas en Colombia distribuidas en las regiones Norte- Urabá, Central, Oriental y Suroccidental, su siembra se incentivó por la resistencia parcial a la Pudrición de cogollo (PC) (Ávila et al., 2016). Por ello, el establecimiento de dicha variedad ha representado una gran disminución en términos logísticos y económicos referentes a la productividad.

Mediante la combinación del sistema SIG/GPS es posible tener el mapa digital de una plantación en una asistente personal digital y utilizando las tecnologías de sistemas de posicionamiento global hacer un seguimiento en tiempo real de algunos aspectos importantes para la plantación, además se facilita realizar reportes de la localización exacta de palmas que deben ser erradicadas por alguna razón (temas de sanidad, disminución de población, entre otros).

La estrategia de investigación en agricultura de precisión de Cenipalma busca la estandarización en la recopilación, almacenamiento, análisis y despliegue de la información georreferenciada en un único sistema de información geográfica proveniente de las actividades de investigación llevadas a cabo por los diferentes programas. (Cartografía básica, temática, bases de datos, zonificación agroclimática de palma de aceite, entre otros).

El foco de Cenipalma en actividades de investigación está centrado en tres puntos:

- ✓ Disposición de la información en dos niveles de servicio, uno que apoye los procesos de investigación y otro que constituya una herramienta para el fortalecimiento de las capacidades de la agroindustria palmera a través del desarrollo de SIG. (*Fitzgerald et ál., 2006; Roy et ál., 2006; Furferi et ál., 2007*).
- ✓ Desarrollo de un sistema de soporte de decisiones, basado en un sistema experto para palma de aceite que genera información a partir del conocimiento que debe validarse bajo condiciones de campo para evaluar su desempeño y ajustar la base de conocimientos en las áreas de fertilización, sanidad y fisiología del cultivo, además de los índices surgidos de estos (productividad). (*Fitzgerald et ál., 2006; Roy et ál., 2006; Furferi et ál., 2007*).
- ✓ Uso de sensores en el cultivo de palma de aceite, que busca la identificación y selección de equipos y tecnología, su desempeño en campo y ajuste para la toma de información de variables del cultivo y del ambiente en tiempo real (*Fitzgerald et ál., 2006; Roy et ál., 2006; Furferi et ál., 2007*).

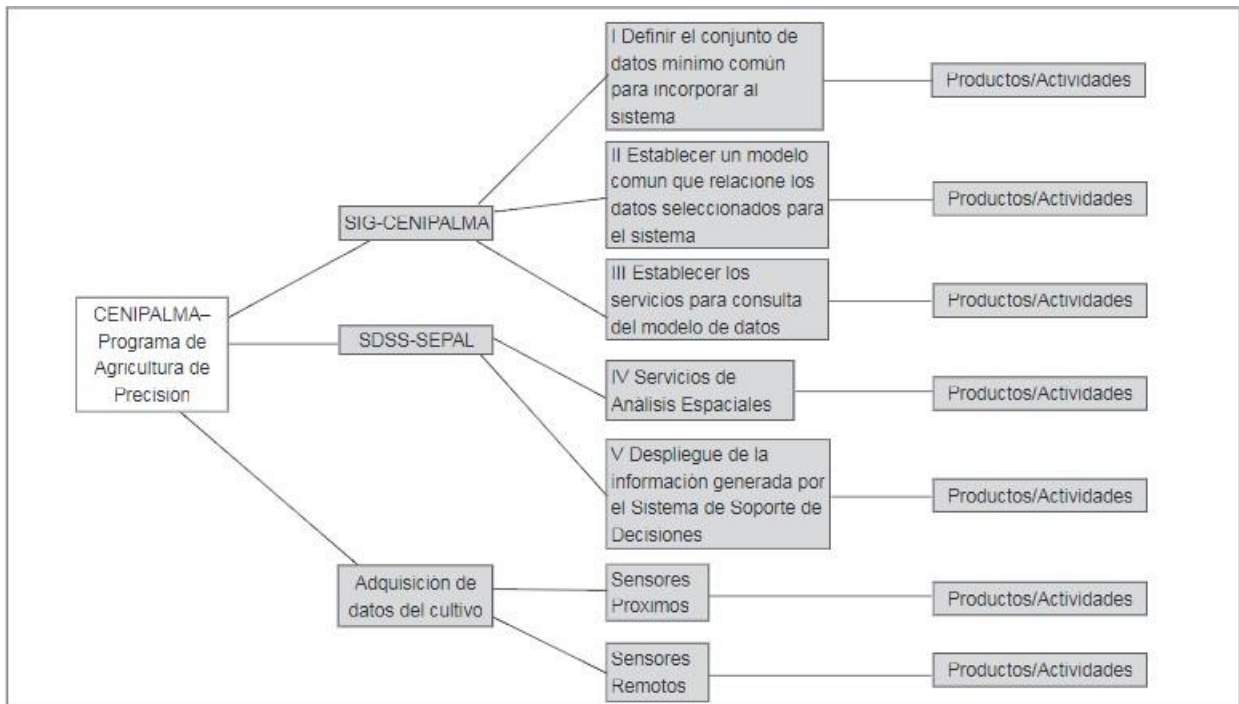


Figura 1. Esquema proyecto agricultura de precisión en palma de aceite. Romero et ál. 2008.

En un contexto cercano a trabajos realizados en los últimos años, una plataforma de agricultura de precisión utilizadas en el cultivo de palma de aceite, dentro de la investigación del proyecto y utilización de recursos obtenidos se conocen sistemas de información geográfica que sirven para estructurar la información y rastrear las labores durante un tiempo establecido.

Al contextualizar el cultivo de Palma en Colombia y alrededor del mundo, se debe considerar que se realizan labores asociadas a una buena productividad del cultivo. (Ruíz, E, et ál; 2015). Dichas labores son:

- a) **Polinización:** Es la aspersión de polen ingresada a las flores de la palma para que sean fecundadas y garantizar que la formación del racimo de la palma se garantice a los 6 meses para su cosecha.
- b) **Repaso:** Es la aspersión de polen ingresada a las flores de la palma que se fecundarán pero que inicialmente no se tomaron en primera vez de polinización.
- c) **Cosecha:** Es la recolección de las flores que fueron polinizadas y repasadas 6 meses atrás en la labor de polinización, garantizando el criterio de cuarteamiento (división del corozo en 4) y la maduración de este.

Para entender las labores del cultivo de Palma desde la adecuación del terreno hasta la transformación del producto, Cenipalma muestra un resumen de las actividades y condiciones para cada una de las etapas de establecimiento (Cenipalma, 2011).

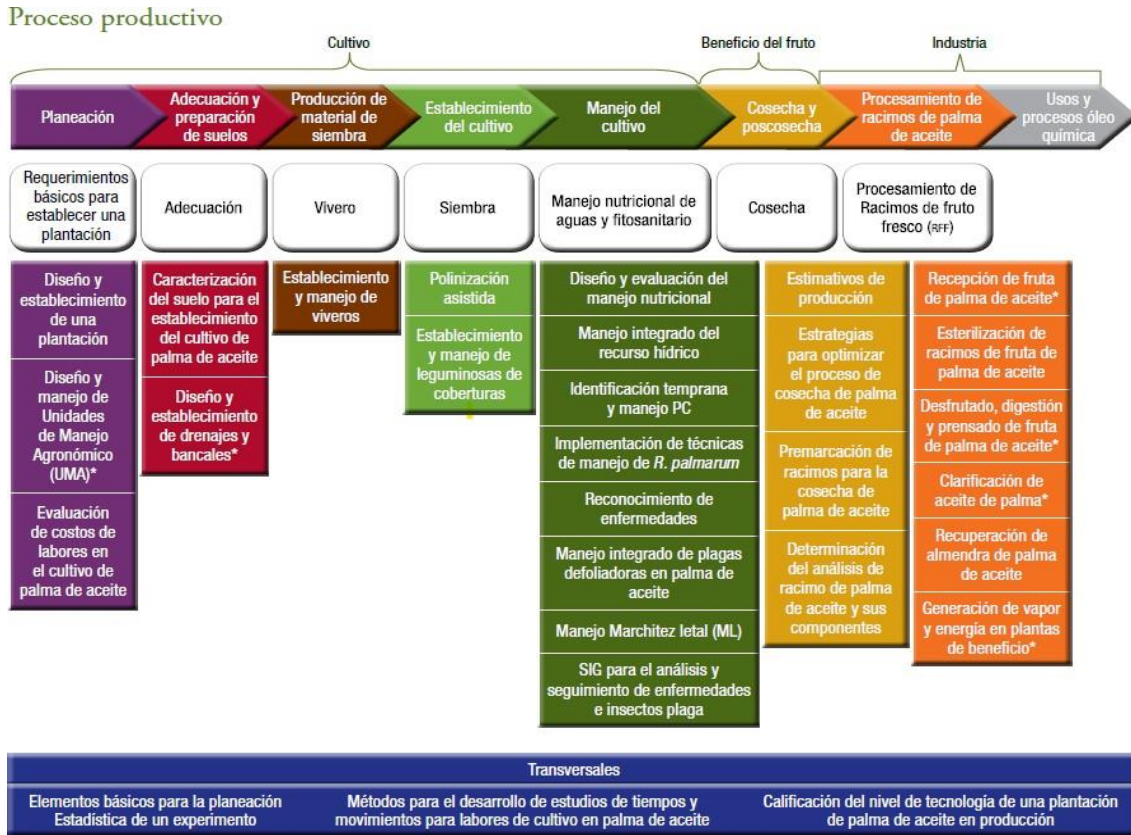


Figura 2. Guía metodológica sobre el proceso de producción de Palma de aceite. Cenipalma, 2011

Se debe tener en cuenta que la necesidad de ser polinizados de manera asistida se ha convertido en un reto debido a sus características como la baja viabilidad y germinabilidad de su polen, en donde la baja actividad de polinizadores, déficit producción de inflorescencias masculinas y la escasa producción de inflorescencias masculinas han dificultado el ingreso de polen (Guataquira et al., 2019)

Sin embargo, en siembras de híbrido interespecífico OxG (*Elaeis oleifera* x *Elaeis guineensis*) debido a múltiples factores, es necesario realizar la polinización de manera asistida empleando recurso humano (Sánchez et al., 2011). Toda la estandarización de la labor de polinización debe mostrar diferentes factores que influyen dentro de la ejecución, como el manejo del cultivo y las condiciones climáticas y topográficas del mismo siendo determinantes para todo el proceso. La logística y los métodos empleados por las compañías, observando dichas condiciones garantizan la consecución de mejores resultados que se verán en los índices de productividad.

El beneficio de la polinización artificial es el incremento en el potencial de aceite de los racimos y solo se puede obtener cuando se realiza una cosecha adecuada luego de que se hizo una labor con buena ejecución, siempre haciendo relevantes una buena caracterización de criterios de calidad y eficiencia. Dichos objetivos pueden lograrse desde la parte operativa, garantizando una buena capacitación, una supervisión oportuna y veraz contribuyendo a conseguir el resultado final: una buena productividad mediante racimos y una buena formación.

4. Marco Teórico

La producción de aceite de palma es una de las actividades económicas más importantes en países como Indonesia, Malasia y Colombia (González-Cárdenas, A.; 2016) La palma de aceite es una planta alta y de hoja perenne que crece principalmente en climas tropicales y subtropicales. El cultivo de palma de aceite requiere de una gran cantidad de recursos como agua, tierra y energía, por lo que una gestión eficiente y sostenible es fundamental para garantizar su productividad y beneficio económico.

En Colombia existen experiencias exitosas en el manejo de cultivos de palma de aceite, donde el manejo de plantaciones que usan conceptos de agricultura de precisión puede causar un impacto positivo en la reducción de costos y optimización de recursos. En el sector palmero, la identificación de la floración y sus diferentes tipos permite esclarecer cuáles son aquellas que en un periodo determinado de 24-26 semanas de gestación van a generar un racimo con corozos o producto conforme para la cosecha.

El cultivo de palma de aceite híbrido (cruce entre *Elaeis oleifera* y *Elaeis guineensis*) presenta características que obstaculizan la polinización natural debido a la baja producción de inflorescencias masculinas, por lo que se requiere utilizar una polinización asistida, que consiste en capacitar y entrenar a personas para que la liberación controlada del polen sea la adecuada para que la flor llegue a su estado de producción (A. Sánchez, 2011). En la zona del Urabá Antioqueño, se busca hacer la identificación de zonas productivas en dicho cultivo en 6 fincas establecidas, que cuentan en total con un área aproximada de 2100 ha.

La información se relaciona con una base de datos de enero 2022 a marzo del 2023, donde se ve la cantidad de floración y tipo de flores identificada, para así generar un análisis del comportamiento en diferentes épocas del año y zonas de la finca. Todos los datos son suministrados por SIOMA. Dicha información se valida a través de un equipo que cuenta con un GPS de alta precisión que permite visualizar el día a día de las labores de cada uno de los operarios en campo (JACO), para así poder generar acciones con ello.

La información de cada floración se encuentra en una escala de tiempo diaria, acumulada en un periodo promedio de trabajo de 8 horas diarias. Cada marcación registrada tiene una posición de latitud y longitud que permite saber una ubicación de la zona en dónde se está realizando la labor y así poder hacer un análisis con herramientas geo informáticas que permitirá visualizar toda la información a través del mapa. Además, se debe conocer que las herramientas a utilizar y emplear para modificar y estandarizar la metodología y el comportamiento de los datos deberán implementarse estrategias externas como agricultura de

precisión.

Ampliando un poco el contexto agronómico de la planta de aceite, es importante identificar, determinar y reconocer el cultivo de palma y su morfología, además de conocer las diferencias entre las flores productivas (polinizadas y fitoayudadas) y no productivas (machos y andrógenas), para poder entender el comportamiento y asociaciones dentro del cultivo.

La palma de aceite es clasificada como una planta monoica, es decir, que produce por separado, pero en la misma planta las inflorescencias femeninas (flores fitoayudadas y flores polinizadas), masculinas y andrógenas en un ciclo alternado que está en función de los factores genéticos, la edad y, en particular, las condiciones ambientales (Corley y Tinker, 2009). La formación de estas estructuras ocurre dentro del estúpite en sincronía con cada axila foliar alrededor de 30 meses antes de llegar a antesis, que es la que luego se clasificará como flores polinizadas o fitoayudadas.

En las primeras etapas de su desarrollo, los primordios florales traen órganos tanto masculinos como femeninos, pero su sexo se define posteriormente. Sin embargo, en ocasiones se desarrollan ambos completamente, formando una flor hermafrodita o andrógena (Corley y Tinker, 2009). Las inflorescencias masculinas tienen la función de proveer el polen necesario para fecundar a las femeninas, que posteriormente se convierten en una serie de frutos oleaginosos dispuestos en un racimo (Corley y Tinker, 2009).

En la figura 3 se describen las partes de una inflorescencia de una palma y se conocen las funciones de cada una de las partes asociadas al tipo de flor.

Parte de la inflorescencia	Inflorescencia femenina	Inflorescencia masculina
Pedúnculo	Sostiene a la inflorescencia en la axila de cada hoja. Es la unión entre la planta y la inflorescencia, que permite el paso de nutrientes de la planta hacia la estructura reproductiva.	
Prófilo	Estructura fibrosa externa que protege la inflorescencia en sus primeros estados de desarrollo.	
Bráctea peduncular	Estructura fibrosa y consistente que encierra totalmente la inflorescencia hasta el estado de preantesis 1 (601), y luego se va rompiendo para protegerla de daños mecánicos.	
Raquis	Eje central de la inflorescencia que sostiene las raquillas o espiguillas en forma de espiral.	
Raquillas	Son el eje donde se encuentran insertadas las espinas florales y los botones florales; son de punta roma.	
Espina floral	Capa en forma de espina que rodea al botón floral para permitir su desarrollo a través de la misma.	
Botón floral	Órgano que al llegar al estado de antesis (607) está dispuesto (gameto femenino) a recibir el grano de polen para su fecundación y formar un fruto.	Órgano que al llegar al estado de antesis (607) libera de sus anteras los granos de polen o gametos masculinos para fecundar una flor femenina.

Tabla 1. Descripción de las funciones de cada parte de la inflorescencia. A. Sánchez, 2011

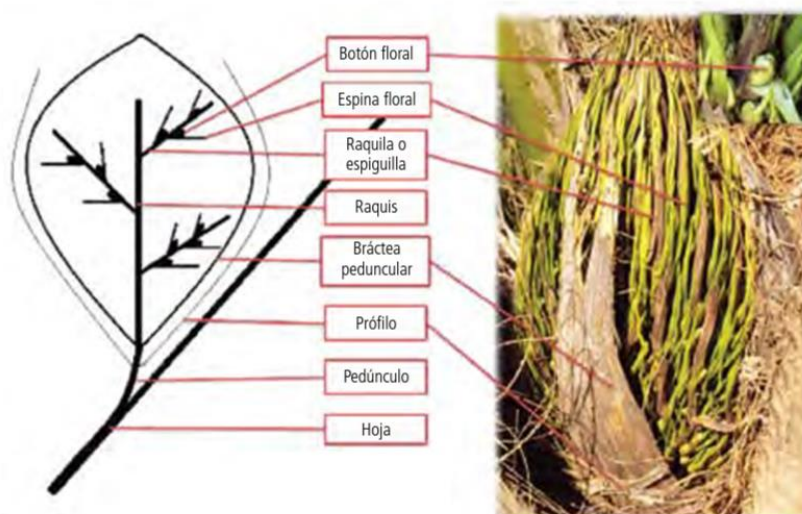


Figura 3. Partes de una inflorescencia. A. Sánchez, 2011

Se debe de hacer la diferenciación entre las flores productivas y no productivas para poder entender el comportamiento de su crecimiento a través del tiempo y poder reconocer sus elementos para la futura producción. En este caso, las inflorescencias del híbrido interespecífico Figura 4 (4.4A - 4.4I), la bráctea peduncular y el prófilo (4.4B) son más persistentes durante todo el desarrollo de la inflorescencia. Su pedúnculo es más corto (4.4C), las raquillas son de mayor longitud (4.4D) y las espinas de las brácteas en donde se insertan las flores son más cortas, su extremo no es puntiagudo y son de color verde a café medio (4.4D). (A. Sánchez, 2011)

Después, cuando el racimo madura, aún se encuentra cubierto parcialmente por el material fibroso de la bráctea peduncular (4.4E). Cuando está por abrir, el botón floral se torna de color café (4.4F), pero al llegar a antesis (flor productiva) expone sus tres estigmas crema (4.4G) y al polinizarse se torna rosado (4.4H). Luego de la polinización, los estigmas se vuelven de color negro y en el ovario de la flor comienza la formación del fruto (4.4I). (A. Sánchez, 2011)

Hay que tener en cuenta que otra de las diferencias de este material con la especie *E. guineensis* es la asincronía floral, lo que quiere decir que el período de antesis es más irregular porque los botones florales abren poco a poco de arriba abajo y este proceso puede durar hasta tres semanas, trayendo consecuencias en la maduración desigual de los racimos (Corley y Tinker, 2009).



Figura 4. Características de la inflorescencia femenina del híbrido interespecífico OxG. A. Inflorescencia en antesis. B. Perfil. C. Inflorescencia descubierta. D. Raquilla. E. Racimo envuelto en la bráctea peduncular. F. Botón floral. G. Flor en antesis. H. Flor polinizada. I. Flor en senescencia e inicio de la formación de fruto. Fotos: A. Sánchez, 2011.

En cuanto a las inflorescencias masculinas, se observa en la Figura 5 que la inflorescencia (5.5A-5.5G) antes de abrir está completamente encerrada por un prófalo y una bráctea peduncular (5.5B-5.5C), y se forma sobre un pedúnculo más largo que el de la femenina (5.5C), que a su vez sostiene el raquis, donde se insertan en forma de espiral las raquillas o espiguillas (5.5D).

La estructura masculina se diferencia porque posee espiguillas largas digitiformes cilíndricas de color café (5.5E) y no es espinosa. En estas insertas las espigas florales y los botones (5.5F). Las anteras de las flores masculinas producen abundante polen con un olor característico a anís (5.5G), llegando a producir entre 25 y 50 gramos de polen por inflorescencia. La mayor parte del polen se esparce durante los primeros dos o tres días y su producción cesa sobre los cinco días (Corley y Tinker, 2009).

Al identificar los estados fenológicos de la floración dentro de la variedad OxG en el cultivo de palma, es importante diferenciar sus diferentes características y conocer los tiempos de duración y cómo es el comportamiento de su crecimiento para la intervención por el operario que va a identificarla para su futura clasificación. En la Tabla 2, se muestran y diferencian. (A. Sánchez y R. Ávila, 2011)



Figura 5. Inflorescencia masculina y sus partes. A. Inflorescencia masculina. B. Prófilo y bráctea peduncular. C. Detalle del pedúnculo. D. Raquis. E. Raquillas o espiguillas. F. Detalle de espinas florales sobre la raquila. G. Flores en estado de antesis. A. Sánchez, 2011






Estado	Femenina
<p>Preantesis 1 (601): inicio de rasgamiento de la bráctea peduncular hacia la mitad de la estructura; las raquillas o espiguillas son de color café oscuro y están apretadas hacia el centro. Este estado tiene una duración de 4 a 5 días.</p>	
<p>Preantesis 2 (602): rasgamiento de la bráctea peduncular en 20% del total de la superficie; las raquillas están más abiertas, son de color café oscuro y comienza a emerger el botón floral. Este estado tiene una duración promedio de 3 a 4 días.</p>	
<p>Preantesis 3 (603): rasgamiento de la bráctea peduncular entre el 50 y el 60% del total de la superficie; el prófalo está desintegrado, las raquillas separadas y de color café claro, y el botón floral cesa su crecimiento y es de color amarillo quemado. Tiene una duración de 3 días.</p>	
Estado	Femenina
<p>Antesis (607): la bráctea peduncular fibrosa y leñosa está desintegrada y firmemente adherida a la superficie floral; los botones florales se abren y exponen los lóbulos del estigma de color crema. Tiene una duración de 24 horas.</p>	
<p>Fin de la floración (609): inicia la polinización de las flores, con un cambio progresivo de coloración de los lóbulos del estigma de color amarillo muy oscuro, luego café y finalmente negro, en un período de 24 horas.</p>	

Tabla 2. Reconocimiento de estructuras florales en palma de aceite OxG. Tomado de Hormaza et ál., 2011.

Fotos: A. Sánchez y R. Ávila, 2011

Después de identificar el proceso de floración de la palma y conocer sus características morfológicas dentro del cultivo, se pueden entender las diferencias entre cada una y mostrar cuáles representan un material importante en la organización de fincas, para poder entender cuáles en el periodo de producción, se convertirán en un material productivo de alta calidad.



Figura 6. Flor Andrógena. Flor Macho. Flor Preantesis. Flor Antesis. Finca Lomitas. Grupo Nuevo Mundo Oleico S.A.S. Fotos: Valle, C. 2023.

Para el proceso de polinización se debe tener en cuenta que el material OxG presenta una serie de características que afectan la polinización natural, como son: (E. Daza, 2011)

- ✓ La baja producción de inflorescencias masculinas
- ✓ La baja viabilidad del polen (entre el 2 y 20%)
- ✓ Inflorescencias con olor poco atractivo para insectos polinizadores.
- ✓ Inflorescencia femenina cubierta por la fibra que dificulta la entrada del polen

Todas estas dificultades se suplen a través de la polinización asistida, una labor determinante

para el camino de transformación desde la flor hasta el racimo que en 24-26 semanas se va a cosechar. Para la polinización de este tipo de variedad OxG se debe utilizar polen, el cual se convierte en la materia prima para la producción de racimos con un alto número de frutos normales.

Según la medición y los datos en campo muestreados por la empresa Nuevo Mundo Oleico, se debe contar con personal capacitado para la correcta realización y control de las actividades asociadas al proceso, donde se asume que cada uno tendrá a cargo un área de recorrido de unas 11 hectáreas, considerando las condiciones de la topografía y densidad de palmas en la plantación (128 palmas por hectárea).

El polinizador es quien aplica la mezcla y realiza la apertura de las brácteas pedunculares, adicionalmente, elabora reportes diarios del trabajo realizado y control de la cantidad y calidad de las inflorescencias polinizadas. Dentro de la compañía, se toma un estándar de verificación para la ejecución de la labor, la cual es suministrada por medio del supervisor y asistencia técnica para realizar de la forma más adecuada y correcta la identificación de la flor, además, de garantizar que toda el área sea abarcada para garantizar la identificación de todas las inflorescencias palma a palma y una mejor eficiencia.

Se recomienda que el polinizador se movilice tomando dos líneas y desplazándose entre ellas en zigzag. Una vez se encuentre en la palma, la revisión de esta debe ser en forma de U o media luna como se muestra en la Figura 7.

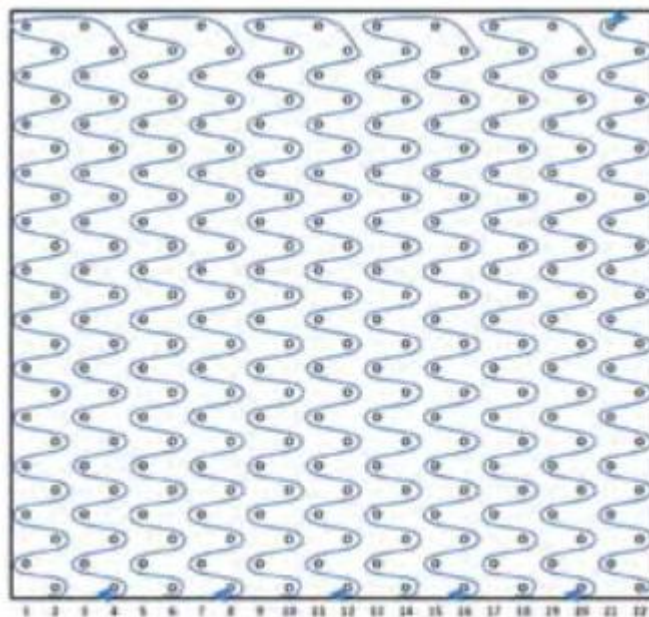


Figura 7. Recorrido en zigzag para desarrollo de labor de polinización. E. Daza, 2011.

	RESPONSABLE		
	NOMBRE DE LA TAREA U OPERACIÓN		POLINIZACIÓN ASISTIDA
ITEM	PASO IMPORTANTE	PUNTO CLAVE	RAZON PUNTO CLAVE
1	RECORRER PALMA A PALMA	1° ZIG ZAG	1° ASEGURAR ÁREA
		2° MIRADA ABAJO/ARRIBA	2° SEGURIDAD E IDENTIFICAR FLOR
		3° SONIDO, POR DETRÁS	3° CONTROL Y RENDIMIENTO
2	REVISAR PALMA	1° DISTANCIA	1° EVITAR GOLPE Y VER FLOR
		2° MIRADA ABAJO/ARRIBA	2° EVITAR ACCIDENTE Y VER FLOR
		3° VUELTA Y MIRADA ATRÁS	3° NO SE QUEDEN FLORES
3	IDENTIFICAR FLOR	1° MANO ARRIBA/ABAJO	1° FACILIDAD
		2° ARRIBA/ABAJO	2° VER ESTADO DE LA FLOR
4	ESPARTAR FLOR	1° ARRIBA/ABAJO	1° ABRIR FLOR EN SU TOTALIDAD
		2° HACIA ATRÁS	2° FACILIDAD DE ESPARTAR DE LADO
5	MARCAR HOJA	1° HOJA CONTRARIA A INCLINACIÓN	1° CONTROL Y QUE NO SE PIERDA EL REPASADOR
		2° DE LADO	2° FACILIDAD
		3° SEMANA Y LETRA VERTICAL	3° ESPACIO DE MARCACIÓN Y VISIBILIDAD A DISTANCIA
6	APLICAR PRODUCTO	1° PUNTA MEDIA/ INYECCIÓN Y HUMO ARRIBA	1° GARANTIZAR RACIMO CONFORME Y BUENA APLICACIÓN
		2° INYECCIÓN	2° LLENADO DE FLORES INTERNAS
		3° ABAJO/ARRIBA/ESPIRAL	3° APLICACIÓN HOMOGÉNEA
7	REGISTRAR FLOR	1° SONIDO	1° INVENTARIO FLORES POLINIZADAS

Tabla 3. Estándar de polinización para cultivo de palma OxG. Nuevo Mundo Oleico S.A.S.

	RESPONSABLE		
	NOMBRE DE LA TAREA U OPERACIÓN		SUPERVISIÓN
ITEM	PASO IMPORTANTE	PUNTO CLAVE	RAZON PUNTO CLAVE
1	PLANEAR REVISION	1° OPERARIOS A EVALUAR	1° NO REPETIR OPERARIOS EN LA EVALUACION SEMANAL
		2° UBICAR SEGÚN AREA	2° NO PERDER TIEMPO EN UBICARLOS
2	RECORRER PALMA A PALMA	1° ZIGZAG	1° ASEGURAR AREA
		2° MIRADA ABAJO/ARRIBA	2° SEGURIDAD E IDENTIFICAR FLOR
3	REVISAR PALMA	1° DISTANCIA	1° EVITAR GOLPE Y VER FLOR
		2° MIRADA ABAJO/ARRIBA	2° EVITAR ACCIDENTE Y VER FLOR
		3° VUELTA	3° NO SE QUEDEN FLORES SIN REVISAR
4	REVISAR FLOR	1° MIRAR HOJA	1° VERIFICAR MARCACION
		2° MIRAR ABAJO/DERECHA E IZQUIERDA	2° VERIFICAR ESPATE
		3° MIRAR ABAJO/DERECHA E IZQUIERDA INYECCION	2° VERIFICAR APLICACIÓN
5	CALIFICAR FLOR	1° MARCACION	1° CORRECTA O INCORRECTA
		2° ESPATE	2° CORRECTA O INCORRECTA
		3° APLICACIÓN	3° CORRECTA O INCORRECTA
6	REGISTRO EVALUACION	1° SONIDO	1° CONFIRMAR REGISTRO DE FLOR EVALUADA

Tabla 4. Estándar de supervisión de labor de polinización para cultivo de palma OxG. Nuevo Mundo Oleico S.A.S.

Al identificar el paso a paso que debe de seguir el polinizador, se garantiza que la formación del racimo alcanzará las condiciones más óptimas y favorables para el desarrollo del racimo, el cual será la raíz del comportamiento de la producción en 24-26 semanas que lleva para poder cosecharse.



Figura 8. Herramientas para el desarrollo de la labor de polinización. Fotos: Cordero, K. 2023.



Figura 9. Ejecución de la labor de polinización. Fotos: Cordero, K. 2023.

Al realizar el proceso de polinización, se debe de garantizar un registro de la floración para poder tener un seguimiento a la fecha de realización de la labor y adicional, servirá como un criterio de información para el cosechador cuándo en 26 semanas cruce por la flor polinizada y está haya cumplido su ciclo de formación a racimo. Para ello, se realiza su seguimiento de dos maneras: (A. Sánchez y R. Ávila, 2011)

1. En campo, el polinizador debe marcar la hoja sobre la cual se ubica la inflorescencia. En ésta se debe colocar la fecha de polinización y el código del operario encargado. Si se trata de una inflorescencia a la que se le debe hacer otra polinización, únicamente se pone el código del operario y una marca que indique la necesidad de una segunda aplicación. El dato de la fecha se escribe cuando se haya garantizado la polinización de la mayor parte de la inflorescencia. (A. Sánchez y R. Ávila, 2011)
2. Se debe hacer la marcación con el Jaco, la herramienta de GPS que permite hacer un tracking y seguimiento de la ubicación de la floración y permite realizar el control de la labor y la cantidad de floraciones marcadas en el área asignada por el supervisor al polinizador.



Figura 10. Paso del polinizador para registro de floración en campo. SIOMA, 2023

Para entender el paso 2, debemos conocer lo que es SIOMA y como es su funcionamiento como un sistema de agricultura de precisión. SIOMA, un ecosistema de agricultura de precisión que junta las labores, el clima y la producción afectan la productividad agrícola y optimizan la mano de obra.

Dicho sistema se compone de 3 sistemas básicos:

Un asistente inteligente de labor, llamado **JACO**, con un GPS de alta precisión que permite visualizar diariamente las labores de cada operario en campo y tomar decisiones para optimizar labores y mejorar el comportamiento de los trabajos diarios al cultivo. Además, permite conocer las áreas recorridas por cada labor ejecutada aumentando los rendimientos en un 15%. Las características básicas que tiene el jaco son:

- ✓ GPS de alta precisión
- ✓ Batería de larga duración, con un índice de operación de hasta 2 días continuos
- ✓ Certificación IP67 (Resistencia al polvo y al agua)
- ✓ Indicador LED de estado del dispositivo (si está descargado, subiendo información, actualizando georreferenciación)
- ✓ Puerto de carga USB



Figura

11.Descripción de funciones del Jaco. SIOMA, 2023.



Figura 12.Descripción de partes del Jaco. SIOMA, 2023

El seguimiento de la labor, a través de la plataforma de consolidación de información, se observa en la siguiente imagen. Allí se pueden observar las marcaciones de cada colaborador y ver si el recorrido descrito en la *Figura 13* cumple con el estándar descrito.



Figura 13. Marcaciones en la labor de polinización Registro con Jaco. Finca La Caja, 6/06/2023. Recorrido en la labor de polinización. Registro con Jaco. Finca La Caja, 6/06/2023. SIOMA, 2023.

Se debe tener en cuenta que el jaco, al contar con un sistema de GPS permite conocer la ubicación de cada marcación realizada en la labor y luego se puede descargar como una tabla de datos para su posterior procesamiento.

SIOMA app: es una aplicación para la evaluación de las labores que se tienen en el cultivo y permite verificar la calidad de cada labor en el cultivo de acuerdo con ítems preestablecidos que facilitan entender y hacer seguimiento a la calidad y las oportunidades de mejora frente a estas. (SIOMA, 2023)

Dicha aplicación permite verificar al usuario que está haciendo seguimiento a la labor, que ítems vamos a evaluar y mirar como lo están haciendo, para luego hacer una retroalimentación al operario del cómo estuvo su evaluación y las acciones de mejora a hacer para mejorar sus rendimientos y recorridos de área.

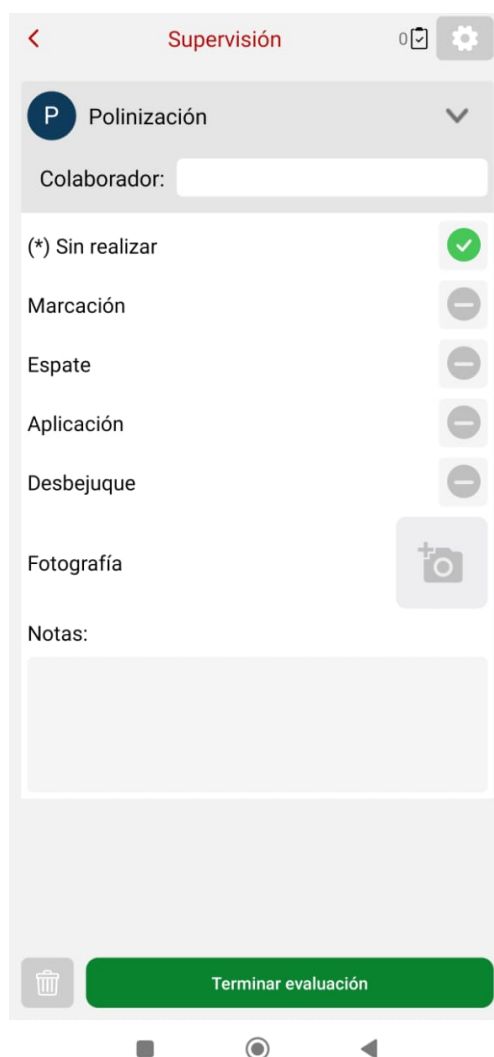
The image shows a mobile application interface titled "Supervisión". At the top, there is a back arrow, the title "Supervisión", a clipboard icon, and a settings gear icon. Below the title, there is a dropdown menu with a blue circle containing a white letter 'P' and the text "Polinización". Underneath is a text input field labeled "Colaborador:". The main content area lists several tasks with corresponding status indicators: "(*) Sin realizar" with a green checkmark, "Marcación" with a minus sign, "Espate" with a minus sign, "Aplicación" with a minus sign, and "Desbejuque" with a minus sign. There is a "Fotografía" section with a camera icon and a plus sign. Below that is a "Notas:" section with a large text input area. At the bottom, there is a trash can icon and a prominent green button labeled "Terminar evaluación".

Figura 14. Supervisión de labor de polinización a través de SIOMA App. SIOMA, 2023.

Aplicación web: Permite concentrar la información realizada a través del JACO y de SIOMA app; consolidando la información muestreada en campo tanto por el trabajador como el

supervisor, generando datos e informes pertinentes para la toma de decisiones y acciones de mejora dentro del cultivo de Palma (SIOMA, 2023). Toda la información representada en base de datos, mapas cartográficos y temáticos que contienen datos permiten generar una cadena de valor de información para entender mejor el funcionamiento de las fincas.

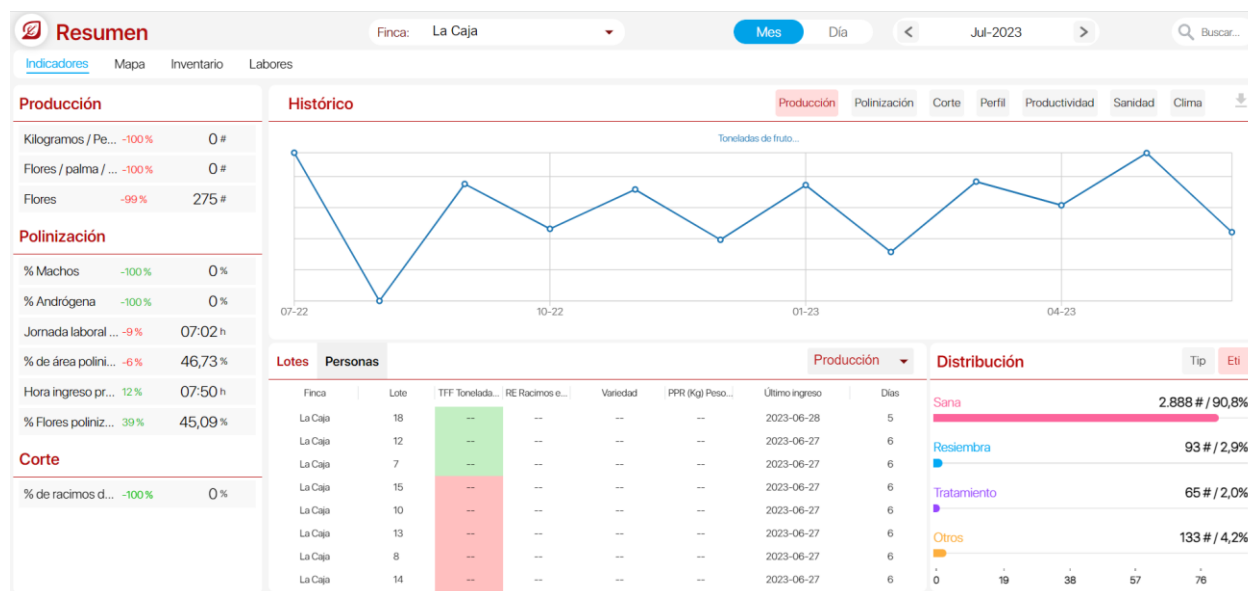


Figura 15. Vista general de información plataforma SIOMA. SIOMA, 2023.

Al tener la conexión de estos 3 dispositivos, se puede obtener una base de datos sólida y confiable que integra herramientas para la agricultura de precisión y encamina a las personas que utilizan dicha información a una mejor toma de decisiones dentro del cultivo de Palma y otros.

La última conceptualización que se debe considerar es el mapa de calor y la distribución de los datos, una herramienta importante en la gestión de los cultivos de palma de aceite son los mapas de calor generados a partir de datos recopilados por sensores remotos y muestreos, que toman mediciones de indicadores clave del crecimiento del cultivo. La información recopilada por estos sensores se procesa para generar mapas que permiten visualizar la variación en el crecimiento de la palma de aceite en diferentes zonas del campo de cultivo, identificar variables que pueden afectar o beneficiar su producción, entre otras.

Además de estas variables se tiene una participación nueva y determinante para el análisis de la información del cultivo de palma y es la generación de información precisa de la floración en el cultivo de palma y su identificación por medio del sistema de agricultura de precisión SIOMA.

Los mapas de calor pueden utilizarse para identificar las áreas del campo de cultivo con mayor

productividad, lo que permite a los agricultores optimizar el uso de recursos, permiten determinar la calidad y la cantidad de la producción en diferentes áreas del campo de cultivo, permitiendo planificar la cosecha y la logística de manera eficiente a futuro, conociendo los estimativos para generar y prepararse en márgenes de ganancia y tomar decisiones tempranas a la hora de conocer las labores asociadas a la producción. (*JMP Statical Discovery, 2023*).

Un mapa de calor es una disposición de rectángulos; su distribución de muestra con una secuencia de alguna medida de tiempo, pero puede ser cualquier variable con agrupaciones junto con una variable que define las categorías de los datos. Los rectángulos están coloreados para mostrar la magnitud de una tercera variable. Aunque al principio se usaban para temperaturas, los mapas de calor se utilizan ahora para muchos tipos de datos y para grandes conjuntos de datos como lo es la interpretación de focos de accidentes de tránsito, en páginas web para conocer dónde tiene más interés el usuario, en comportamiento biológico de especies migratorias, entre otros. (*JMP Statical Discovery, 2023*).

Para realizar el diseño de los mapas de calor en cada una de las áreas de estudio se determina un periodo de tiempo de modelación semanal, ya que es un periodo de tiempo adecuado para poder conocer si el área tomada por los polinizadores dentro del cultivo cumplió en un 100% de llegada a todas las partes de la finca. Para ello, se debe hacer un análisis de los datos a través de la estimación de densidad de Kernel O Kernel Density Estimation (KDE), este es un método no paramétrico que permite estimar la función de densidad de probabilidad de una variable aleatoria a partir de un número finito de observaciones (muestra). (*Chapman and Hall, 1986*.)

Dado un valor x_i la función aprendida por el kernel density estimator devuelve la densidad de la distribución en el punto x_i . Esta densidad, cuyo valor está acotado al rango $[0, +\infty]$, es una medida relativa de verosimilitud (likelihood). Si la densidad para el punto A es mayor que la de B, significa que la probabilidad de que A pertenezca a la distribución es mayor que la de B. (*Amat, 2021*.)

Con frecuencia, para facilitar los cálculos, en lugar de utilizar el valor de densidad se utiliza el logaritmo, aun así, la interpretación es la misma, cuanto mayor su valor, mayor la evidencia de que la observación pertenece a la distribución. Una forma fácil de cómo entender dicha función es partiendo del histograma en la Figura 16, en donde se debe de sugerir los siguientes pasos (*Amat, 2021*):

1. Se identifica el rango de valores observados, del más pequeño al más grande.
2. Se divide ese rango en intervalos de igual tamaño (bins). Se toma el número de bins de acuerdo con el número de datos que se tenga y su utilización.
3. Se cuenta el número de observaciones que caen en cada intervalo.
4. Se representa una barra para cada intervalo cuya altura es proporcional al número de observaciones que han caído en él.

5. Opcionalmente, normalizar la altura de las barras para que el área total sea uno. En este caso, en lugar de cuentas, el eje y representa la densidad de probabilidad.

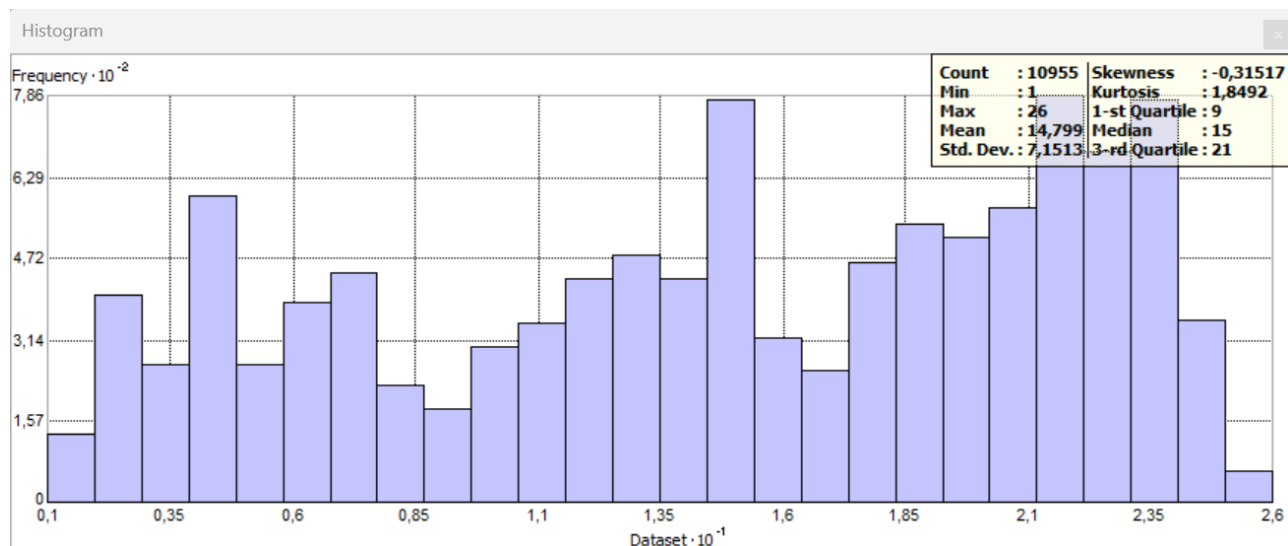


Figura 16. Ejemplo de histograma de emisión floral. Finca La Caja. Semana 2. Autor

La densidad de Kernel puede calcularse para las diferentes características y cada una tiene una metodología diferente, en este caso, se hace un enfoque al cálculo con características de puntos. Calcula una magnitud por unidad de área a partir de entidades de puntos para ajustar una superficie con concavidad hacia los extremos suavemente a cada punto y se puede usar una barrera para alterar la influencia de una característica mientras se calcula la densidad del núcleo.

Se ajusta una superficie suavemente curvada sobre cada punto, en dónde el valor de la superficie es más alto en la ubicación del punto y disminuye al aumentar la distancia desde el punto, llegando a cero en la distancia del radio de búsqueda desde el punto. Dicho radio se define como la relación entre la diagonal de un cuadrado teórico por la definición de un polígono teórico previamente analizado

Sólo es posible un conjunto de datos circular o datos muy próximos. El volumen debajo de la superficie es igual al valor del campo población para el punto, o 1 si se especifica NINGUNO. Se debe tener en cuenta que la densidad en cada celda ráster de salida se calcula sumando los valores de todas las superficies del kernel donde se superponen al centro de la celda ráster.

Si se utiliza una configuración de campo de población que no sea NINGUNO, el valor de cada elemento determina el número de veces que se contará el punto. Por ejemplo, un valor de 3 hará que el punto se cuente como tres puntos. Los valores pueden ser enteros o de punto flotante.

De forma predeterminada, se selecciona una unidad en función de la unidad lineal de la definición de proyección de los datos de características del punto de entrada o según se especifique de otro modo en la configuración del entorno del sistema de coordenadas.

Si se selecciona un factor de unidades de área de salida, la densidad calculada para la celda se multiplica por el factor apropiado antes de que se escriba en el ráster de salida. Por ejemplo, si las unidades de entrada son metros, las unidades de área de salida serán kilómetros cuadrados de forma predeterminada. El resultado final de comparar un factor de escala unitario de metros con kilómetros dará como resultado que los valores sean diferentes por un multiplicador de 1,000,000 (1,000 metros \times 1,000 metros). Durante el desarrollo, se van a considerar las unidades de cálculo para que den en hectáreas. Desde el concepto matemático se tiene que el modelo de Kernel density se define de la siguiente manera en la Ecuación 1.

“Dado un conjunto de datos X_1, X_2, \dots, X_n la función de distribución de densidad $f(x)$ puede aproximarse utilizando un kernel density estimation (KDE) tal que: (Amat, 2021)”

$$\hat{f}(x) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n K_h(x - x_i) = \frac{1}{nh} \sum_{i=1}^n K\left(\frac{x - x_i}{h}\right)$$

Ecuación 1. Descripción de estimación de densidad Kernel (KDE), (Chapman and Hall, 1986.)

Donde:

- ✓ n: es el número de datos (observaciones). Cada uno de ellos es el centro sobre el que se coloca un kernel.
- ✓ h: es el ancho de banda (bandwidth o smoothing parameter). Controla cuánto se expande la influencia de cada observación. Si se emplea como Kernel una distribución normal, equivale a la desviación típica. Este es el valor más determinante a la hora de ajustar un KDE, puesto que condiciona el nivel de sobreajuste.
- ✓ K: es el Kernel, una función que define la forma y la distribución de la influencia (peso) que se asocian a cada observación.

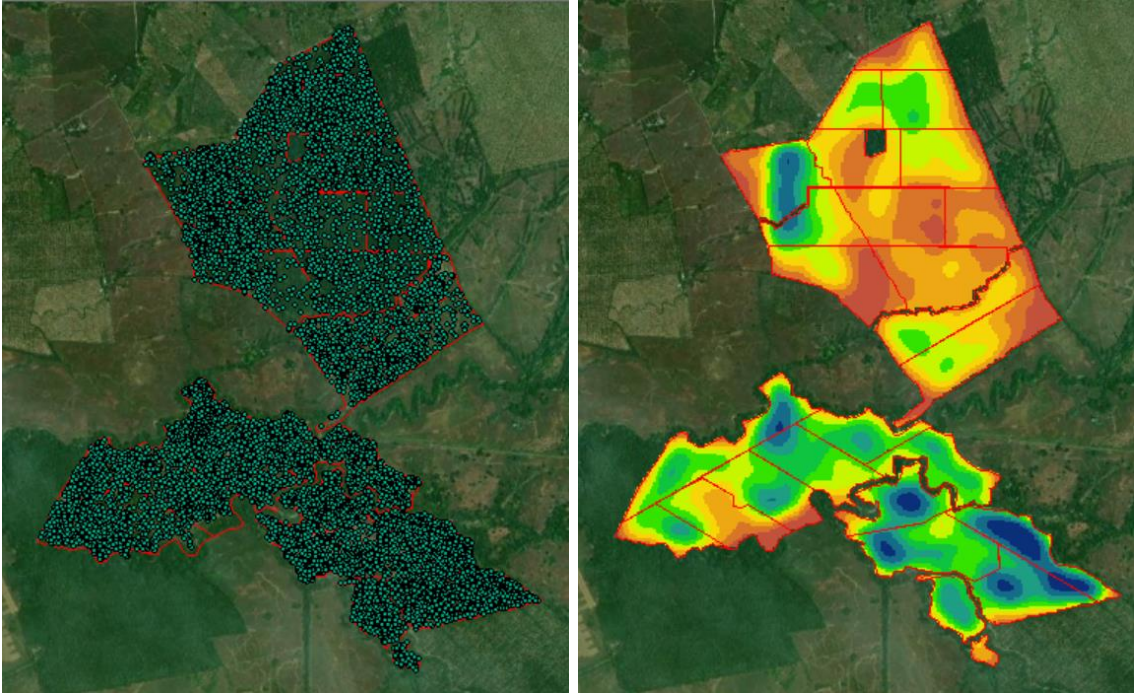
A la hora de realizar la estimación del Kernel density dentro de un programa de sistema de información geográfica, en este caso, ArcGIS, se debe de considerar siempre una barrera que acoja los puntos que se están analizando. Dicha barrera es un límite en el que van a estar los puntos de muestreo, en este caso, el área de la finca. Una barrera altera la influencia de una entidad al calcular la densidad del Kernel para una celda en el ráster de salida, y esta puede ser una polilínea o una capa de entidades poligonales.

Puede afectar el cálculo de la densidad de dos maneras, ya sea aumentando la distancia entre una característica y la celda donde se calcula la densidad o excluyendo una característica del cálculo. Sin una barrera, la distancia entre una característica y una celda es la más corta posible, siendo una línea recta entre dos puntos. Con una barrera abierta, generalmente representada por una polilínea, la ruta entre una entidad y una celda está influenciada por la barrera. (Amat, 2021)

En este caso, la distancia entre la entidad y la celda se amplía debido a un desvío alrededor de la barrera, y como resultado, la influencia de la característica se reduce al estimar la densidad en la celda. La ruta alrededor de la barrera se crea conectando una serie de líneas rectas para rodear la barrera desde la entidad del punto de entrada hasta la celda. Sigue siendo la distancia más corta alrededor de la barrera, pero más larga de lo que sería la distancia sin la barrera. Con una barrera cerrada, representada por un polígono que abarca algunas características. La operación de densidad de Kernel con una barrera puede proporcionar resultados más realistas y precisos en algunas situaciones en comparación con la operación de densidad de Kernel sin barrera. (Amat, 2021)

Explicando la aplicación del KDE dentro del contexto agrícola, la implementación de la función está basada en los puntos de muestreo de emisión floral (productiva y no productiva) del cultivo de palma, en dónde los clústeres con mayor cúmulo de información (colores más oscuros o hot spot) se relacionará con zonas de mayor emisión floral mientras que los colores más claros o cold spot, relacionará las zonas con menor emisión floral. Esta se convierte en una interpretación fácil de entender a simple vista, en dónde la implementación de una gama de colores de rojo a verde pasando por amarillo, siendo rojo una zona de emisión floral menor y verde una zona de emisión floral mayor, permite entender y conceptualizar mejor el concepto de mapa de calor.

Si se observa la figura 17 se puede identificar en la imagen (1) que la información del muestreo de puntos de emisión floral productiva, a simple vista, no permite identificar cuáles son esos lugares en dónde la concentración de puntos está presentando un índice mayor de floración, pero luego de hacer el análisis con el KDE y generar el mapa de calor se visualiza que las zonas de color azul oscuro, según el índice de colores, tiene mayor concentración de puntos de emisión floral productiva.



*Figura 17.(1) Toma de muestreos de floración productiva. (2) Modelación KDE con barrera de área finca.
Finca La Caja. Autor.*

5. Metodología

Al definir el proyecto como el análisis de zonas productivas en el cultivo de Palma de aceite híbrida (cruce entre *Elaeis oleifera* y *Elaeis guineensis*), se debe tener en cuenta las diferentes etapas que se tendrá en cuenta los ítems a desarrollar bajo una estructuración de saber qué información se tiene, escalas de tiempo a trabajar, variables externas que interfieren, y su interpretación.

La labor de polinización tiene como objetivo obtener racimos bien formados que permitan alcanzar los mayores potenciales de aceite. El método de polinización artificial en la plantación se integra según el comportamiento de la densidad de inflorescencias que se tenga en la plantación, y se relaciona con factores externos que pueden o no ser determinantes al generar la floración, además de considerar que siempre se presentarán comportamientos de picos y valles de floración.

El estudio se realizará en las fincas del grupo Nuevo Mundo Oleico S.A.S ubicadas en la zona de Urabá (municipios de Chigorodó, Mutatá y Carepa). Se debe considerar que de cada una de las fincas se tomará un área total de la finca, lo que permite hacer un análisis de los datos históricos, considerando que la edad de la plantación es del año 2013 hasta el 2017.



Figura 18. Ubicación de fincas Nuevo Mundo Oleico S.A.S.

Se plantean 4 fases en la metodología de trabajo que buscan establecer criterios para la identificación de patrones y datos atípicos que permitan tomar decisiones de juicio y criterios suficientes para el análisis de la información. Para el procedimiento de los procesos en el proyecto se establecen de una forma detallada y con ítems de la siguiente forma.

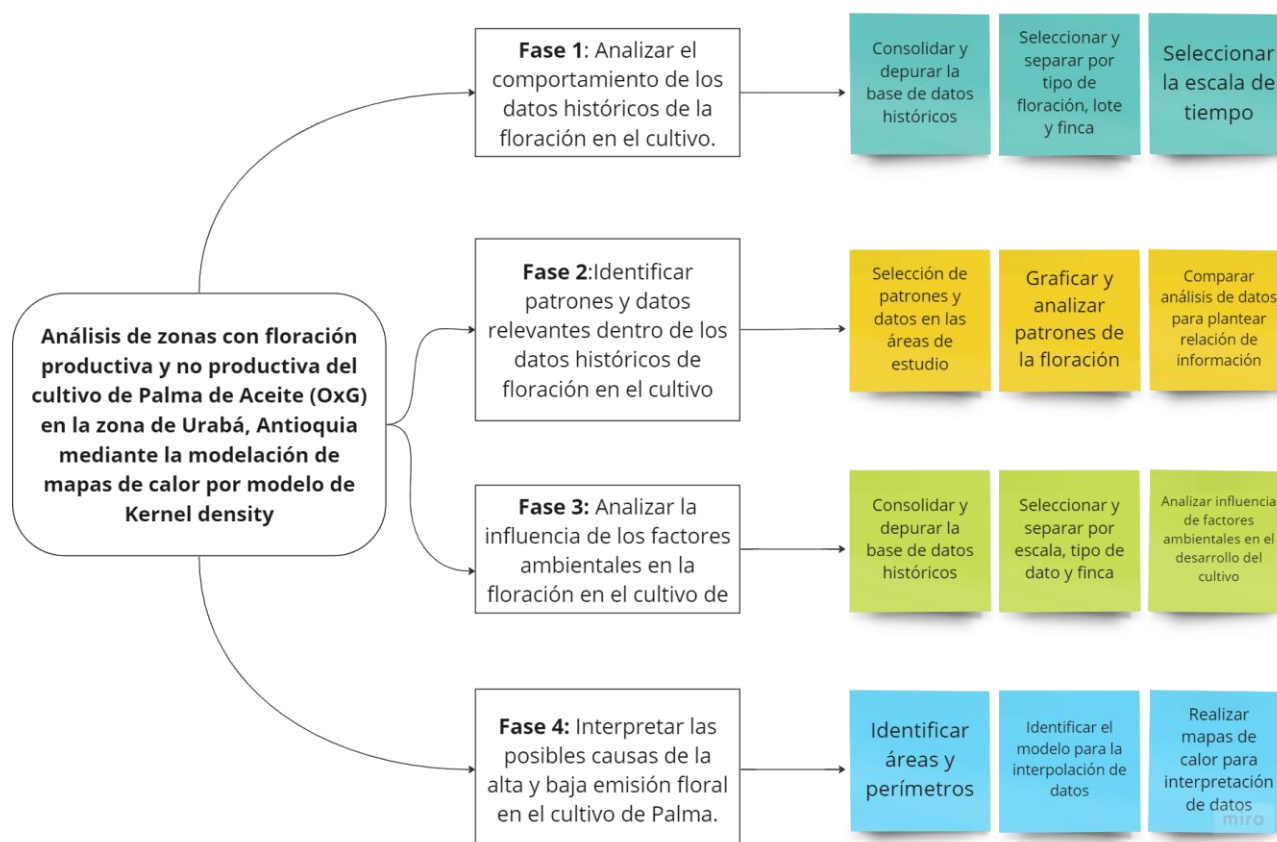


Figura 19. Metodología para desarrollo del Proyecto.

Fase 1: Analizar el comportamiento de los datos históricos de la floración en el cultivo de Palma. Se compila la información de la base de datos de la compañía para establecer la cantidad de datos con la que se encuentra, encontrar errores en ella y tomar decisiones sobre qué datos tomar para llegar al objetivo principal. Para lograrlo, se debe consolidar y depurar la base de datos históricos que se implementará de la floración en el tiempo determinado para cada finca; se debe seleccionar y separar por tipo de floración, lote y finca la información que se va a utilizar.

	A	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	
	FECHA	ADO	TRAB. CONTADO R	FINCA	CODIGO	NOMBRE OPERARIO	LOTE	TOTAL PALMAS/LOTE	PALMAS/DIA	ÁREA RECORRIDA	FLORES/DIA	SIEMBRA	FLORES BUENAS	FLORES FITOAYUDAS
7272	29/05/2023		NO	76	71557	MEDINA MORENO JUAN FRANCISCO	111	3521	294	2,3	265	1	24	241
7273	29/05/2023		NO	76	71354	GUTIERREZ RAMOS JOSE DAILI	111	3521	326	2,5	351	1	41	310
7274	29/05/2023		NO	76	72577	RIOS SILVA ANGELICA MARIA	108	2139	481	3,8	353	1	136	217
7275	29/05/2023		NO	76	72570	USUGA TAMANESA YONNATAN ANDRES	115	3629	359	2,8	85	1	22	63
7276	29/05/2023		NO	76	72570	USUGA TAMANESA YONNATAN ANDRES	116	2817	153	1,2	243	1	82	161
7277	29/05/2023		NO	76	71747	DURANGO ROMERO DAYANNA ISABEL	109	3062	957	7,5	282	1	282	0
7278	29/05/2023		NO	76	71989	VICTOR ALFONSO GIRON GONZALEZ	111	3521	334	2,6	62	1	62	0
7279	29/05/2023		NO	76	71989	VICTOR ALFONSO GIRON GONZALEZ	112	3230	891	7,0	142	1	142	0
7280	29/05/2023		NO	76	72583	RIVERO ROQUEME DANIEL ENRIQUE	108	2139	173	1,4	145	1	145	0
7281	29/05/2023		NO	76	72408	ANAYA CARDOZO DINA LUZ	109	3062	227	1,8	230	1	30	200
7282	29/05/2023		NO	76	72608	MONTOYA DAVID BRAYAN CAMILO	115	3629	321	2,5	86	1	31	55
7283	29/05/2023		NO	76	72470	NOVOA MONTERROSA MILIS JOHANA	115	3629	640	5,0	126	1	26	100
7284	29/05/2023		NO	76	72546	SERNA GONZALEZ JUAN CAMILO	116	2817	576	4,5	96	1	87	9
7285	29/05/2023		NO	76	71706	CASTRO PEREZ WILBER ANTONIO	110	1987	58	0,5	63	1	32	31
7286	29/05/2023		NO	76	71706	CASTRO PEREZ WILBER ANTONIO	112	3230	326	2,5	235	1	35	200
7287	29/05/2023		NO	76	72161	RICARDO CARDOZO TANIA YISELA	113	3080	382	3,0	219	1	37	182

Figura 20. Formato de producción. Nuevo Mundo Oleico.

Actividades:

- ✓ Consolidar y depurar la base de datos histórica que se va a implementar de la floración presentada en el periodo de tiempo de 15 meses para cada una de las fincas
- ✓ Seleccionar y separar por tipo de floración, lote y finca la información.
- ✓ Seleccionar la escala de tiempo a analizar para los datos

Fase 2: Identificar patrones y datos relevantes dentro de los datos históricos de floración en el cultivo. Se observa cómo se está comportando la emisión floral de cada una de las fincas para poder determinar picos o valles de floración, además, de mirar cuáles están presentando mayor cantidad de flores productivas y no productivas dentro de las diferentes épocas del año.

De esta forma se podrá tener un análisis de en qué épocas de tiempo, según la escala escogida, se pueden tomar decisiones para empezar a ver factibilidad en el comportamiento de la productividad, allí se debe analizar el comportamiento y tendencia de los datos para poder graficar y observar patrones de la floración en el área de estudio.

Hay que resaltar, que, con el resultado de los patrones observados en la base de datos y los análisis generados a través de gráficas en las diferentes zonas, permite conocer similitudes o diferencias que permitan establecer información frente a lo que esté sucediendo dentro de cada una de las fincas para poder plantearlas y darles solución a medida que va avanzando la revisión de la información.

Actividades:

- ✓ Selección de patrones y datos en las áreas de estudio
- ✓ De acuerdo con la escala de tiempo seleccionada, graficar y observar patrones de la floración en la zona a trabajar.

- ✓ Hacer una comparación de los patrones encontrados frente a las diferentes zonas, buscando encontrar similitudes o diferencias que permitan establecer información relevante frente a lo que esté sucediendo.

Fase 3: Relacionar precipitación, temperatura, humedad relativa, análisis edáficos y foliares en el comportamiento de la floración en el cultivo de palma. Toda la información de variables externas al cultivo se puede obtener con datos ya establecidos de la zona de estudio.

Se debe considerar que se debe obtener una base de datos de variables externas de dichas variables, que se debe consolidar y depurar para implementarlas en la zona de estudio. Adicional, se debe definir que intervalos se utilizan para las variables climáticas y edáficas a implementar durante el análisis, estableciendo comparaciones en el comportamiento de la emisión floral en el cultivo.

Actividades:

- ✓ Consolidar y depurar la base de datos histórica que se va a implementar de datos edáficos, climáticos y temporales en la zona de estudio.
- ✓ Seleccionar y separar por zona de estudio, escala e información necesaria.
- ✓ Definir intervalos para las variables climáticas y edáficas a implementar durante el análisis, para comparar con el comportamiento de los datos de floración.

Fase 4: Interpretar las posibles causas de la alta y baja emisión floral en el cultivo de Palma. Se debe identificar las áreas, perímetros y número de palmas a analizar para hacer la representación visual en el software donde se analicen los datos; además, identificar los intervalos para el análisis de floración, para que exista una interpretación estándar de cómo se reflejarán los datos en el mapa de calor, para entendimiento personal y de las personas que tomen referente los análisis.

Tras entender el comportamiento de los datos más el análisis de los intervalos de la floración, se debe buscar el modelo para interpolar los datos que se emplearán en el software para crear los mapas de calor, considerando que la compañía entrará a trabajar para analizar la productividad.

Actividades:

- ✓ Identificar las áreas, perímetros y número de palmas a analizar para poder hacer la representación gráfica en ArcGIS.
- ✓ Identificar el modelo para la interpolación de los datos
- ✓ Generar mapas de calor para la interpretación de datos, a través de ArcGIS.

5.1 Enfoque metodológico

La recolección de los datos e información para la realización de los mapas de calor se hará a través de los jacos utilizados para la labor de polinización en cada una de las fincas. Dicha información la toma cada operario con asignación de un área de trabajo en su día de trabajo.

El análisis de los datos será cuantitativo, ya que los datos a interpretar se harán según la cantidad de floración productiva y no productiva que se encuentra en la escala de tiempo definida. Además, se debe de tener en cuenta ciertos parámetros para la definición de la depuración de datos dentro de la base de datos:

1. **El operario, dentro de sus funciones, debe de corroborar que el Jaco se encuentre en óptimas condiciones antes de salir a realizar su labor diaria**, por lo que antes de empezar, realiza una marcación cualquiera desde la oficina. Esta marcación, deberá ser eliminada del recorrido y el conteo de la floración.
2. **Tener en cuenta que las marcaciones de las floraciones deberán tener una única marcación dentro de su área**. Por lo que, dentro del consolidado de información, se debe de eliminar los datos duplicados de ubicación, para así generar una buena distribución a la hora de generar el mapa de calor con la función de KDE.
3. **Verificar que la tarjeta marcada sea la adecuada para ese tipo de floración**. Muchas veces, el operario dentro de su labor en campo tiende a confundir la tarjeta o se perdió en campo, y decide reemplazarla por otra. Esa corrección debe de hacerse y tenerse en cuenta a la hora de la depuración de la base de datos.

Tabla producción

Agrupación	Finca	Codigo_finca	Labor	Fecha	Año	Mes	Semana	Dia	Codigo_oper...	Operario
Nuevo mundo oleico	Las tekas		Polinización	2023-02-01	2023	2	5	1	72070	Puerta Lopez
Nuevo mundo oleico	Las tekas		Polinización	2023-02-01	2023	2	5	1	72070	Puerta Lopez
Nuevo mundo oleico	Las tekas		Polinización	2023-02-01	2023	2	5	1	70998	Avila Vergara
Nuevo mundo oleico	Las tekas		Polinización	2023-02-01	2023	2	5	1	70998	Avila Vergara
Nuevo mundo oleico	Las tekas		Polinización	2023-02-01	2023	2	5	1	71443	ROQUEME
Nuevo mundo oleico	Las tekas		Polinización	2023-02-01	2023	2	5	1	72271	Lopez Escob
Nuevo mundo oleico	Las tekas		Polinización	2023-02-01	2023	2	5	1	71390	SALAS LON
Nuevo mundo oleico	Las tekas		Polinización	2023-02-01	2023	2	5	1	71390	SALAS LON
Nuevo mundo oleico	Las tekas		Polinización	2023-02-01	2023	2	5	1	71390	SALAS LON
Nuevo mundo oleico	Las tekas		Polinización	2023-02-01	2023	2	5	1	71393	ALVAREZ M
Nuevo mundo oleico	Las tekas		Polinización	2023-02-01	2023	2	5	1	71393	ALVAREZ M
Nuevo mundo oleico	Las tekas		Polinización	2023-02-01	2023	2	5	1	71552	OSORIO VA
Nuevo mundo oleico	Las tekas		Polinización	2023-02-01	2023	2	5	1	71662	MARTINEZ C
Nuevo mundo oleico	Las tekas		Polinización	2023-02-01	2023	2	5	1	71662	MARTINEZ C

01/02/2023 - 12/02/2023
Por: Día

Casacoima, Chado, La caj...

Casacoima	Nuevo mu...	<input checked="" type="checkbox"/>
Chado	Nuevo mu...	<input checked="" type="checkbox"/>
La caja	Nuevo mu...	<input checked="" type="checkbox"/>
Las tekas	Nuevo mu...	<input checked="" type="checkbox"/>
Lomitas	Nuevo mu...	<input checked="" type="checkbox"/>
Nuevo mu...	Nuevo mu...	<input checked="" type="checkbox"/>
Canarias	Nuevo mu...	<input type="checkbox"/>
Esmeralda	Nuevo mu...	<input type="checkbox"/>
Inventa p...	Sin asign...	<input type="checkbox"/>
Pensando...	Nuevo mu...	<input type="checkbox"/>

Reiniciar Seleccionar

Buscar Finca

	A	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	
	FECHA	ADO	TRAB. CONTADOR	FINCA	CODIGO	NOMBRE OPERARIO	LOTE	TOTAL PALMAS/LOTE	PALMAS/DIA	ÁREA RECORRIDA	FLORES/DIA	SIEMBRA	FLORES BUENAS	FLORES FITOAYUDAS
7272	29/05/2023	NO	NO	76	71557	MEDINA MORENO JUAN FRANCISCO	111	3521	294	2,3	265	1	24	241
7273	29/05/2023	NO	NO	76	71354	GUTIERREZ RAMOS JOSE DAILI	111	3521	326	2,5	351	1	41	310
7274	29/05/2023	NO	NO	76	72577	RIOS SILVA ANGELICA MARIA	108	2139	481	3,8	353	1	136	217
7275	29/05/2023	NO	NO	76	72570	USUGA TAMANESA YONNATAN ANDRES	115	3629	359	2,8	85	1	22	63
7276	29/05/2023	NO	NO	76	72570	USUGA TAMANESA YONNATAN ANDRES	116	2817	153	1,2	243	1	82	161
7277	29/05/2023	NO	NO	76	71747	DURANGO ROMERO DAYANNA ISABEL	109	3062	957	7,5	282	1	282	0
7278	29/05/2023	NO	NO	76	71989	VICTOR ALFONSO GIRON GONZALEZ	111	3521	334	2,6	62	1	62	0
7279	29/05/2023	NO	NO	76	71989	VICTOR ALFONSO GIRON GONZALEZ	112	3230	891	7,0	142	1	142	0
7280	29/05/2023	NO	NO	76	72583	RIVERO ROQUEME DANIEL ENRIQUE	108	2139	173	1,4	145	1	145	0
7281	29/05/2023	NO	NO	76	72408	ANAYA CARDOZO DINA LUZ	109	3062	227	1,8	230	1	30	200
7282	29/05/2023	NO	NO	76	72608	MONTOYA DAVID BRAYAN CAMILO	115	3629	321	2,5	86	1	31	55
7283	29/05/2023	NO	NO	76	72470	NOVOA MONTERROSA MILIS JOHANA	115	3629	640	5,0	126	1	26	100
7284	29/05/2023	NO	NO	76	72546	SERNA GONZALEZ JUAN CAMILO	116	2817	576	4,5	96	1	87	9
7285	29/05/2023	NO	NO	76	71706	CASTRO PEREZ WILBER ANTONIO	110	1987	58	0,5	63	1	32	31
7286	29/05/2023	NO	NO	76	71706	CASTRO PEREZ WILBER ANTONIO	112	3230	326	2,5	235	1	35	200
7287	29/05/2023	NO	NO	76	72161	RICARDO CARDOZO TANIA YISLA	113	3080	382	3,0	219	1	37	182

Figura 21. Transición de base de datos inicial a base de datos depurada.

5.2 Tipo de estudio

Al ser un estudio cuantitativo, la consolidación de la información de los datos de floración productiva y no productiva para la generación de mapas de calor y entender su comportamiento dentro del cultivo de palma, se busca que hacer un estudio correlacional, en dónde el poder entender a partir de la cantidad de floración y su relación con variables externas como precipitación, humedad, brillo solar, tipo de suelo y otras se están presentando datos que podrán ser empleados para hacer proyecciones y generar estimativos en producción.

5.3 Procedimiento:

1. Fase 1:

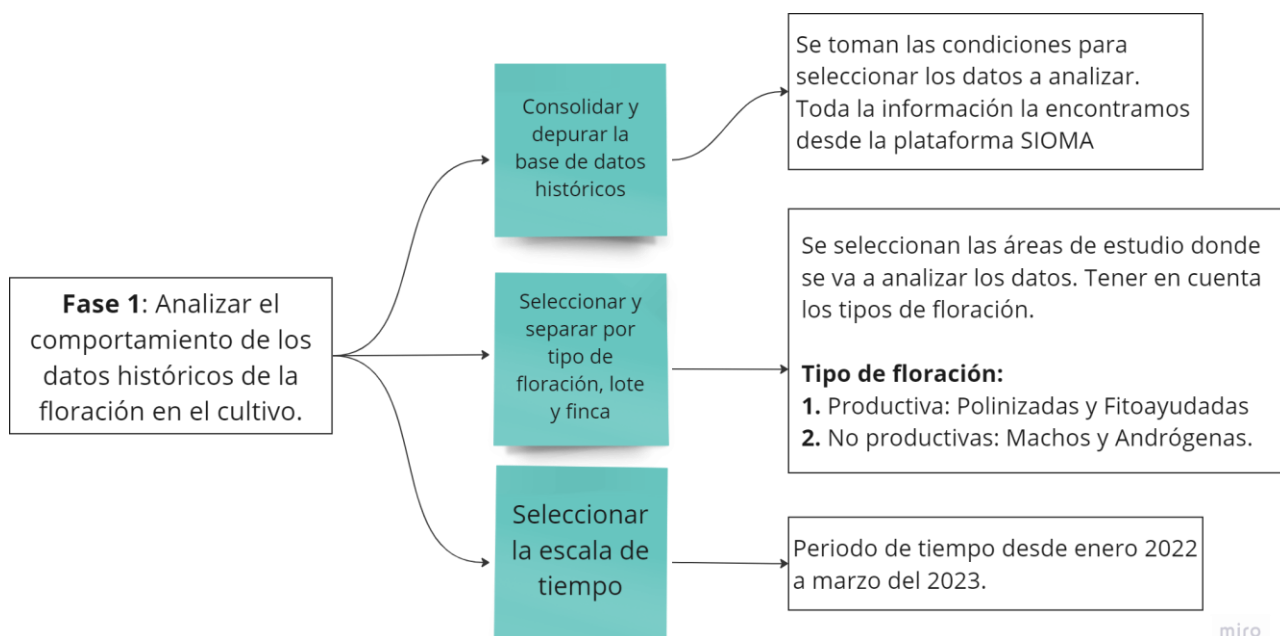


Figura 22. Descripción de fase 1.

En la fase 1 se considera que el periodo de tiempo a analizar entre enero del 2022 y marzo del 2023, un periodo de 15 meses que permite conocer el comportamiento de la floración productiva y no productiva. Los operarios toman la base de datos en su jornada laboral de 6 a 8 horas diarias, de lunes a sábado mediante el jaco; y los datos se recopilan semanalmente para corregir y depurar información atípica.

2. Fase 2:

En la fase 2 se busca establecer patrones en la base de datos para el análisis de productividad y buscar establecer comportamientos para estimar la producción 6 meses (entre 24 y 26 semanas), después de realizada la labor de polinización. El análisis busca establecer, mediante las sumas totales de las flores productivas y no productivas, una tendencia en los datos de cada área de estudio, para determinar datos de clasificación como toneladas hectárea año (THA), estimativos, entre otros.

El análisis de los patrones en las bases de datos de floración facilita su interpretación a través de gráficos, por lo que se plantean y se muestran en el desarrollo de los resultados.

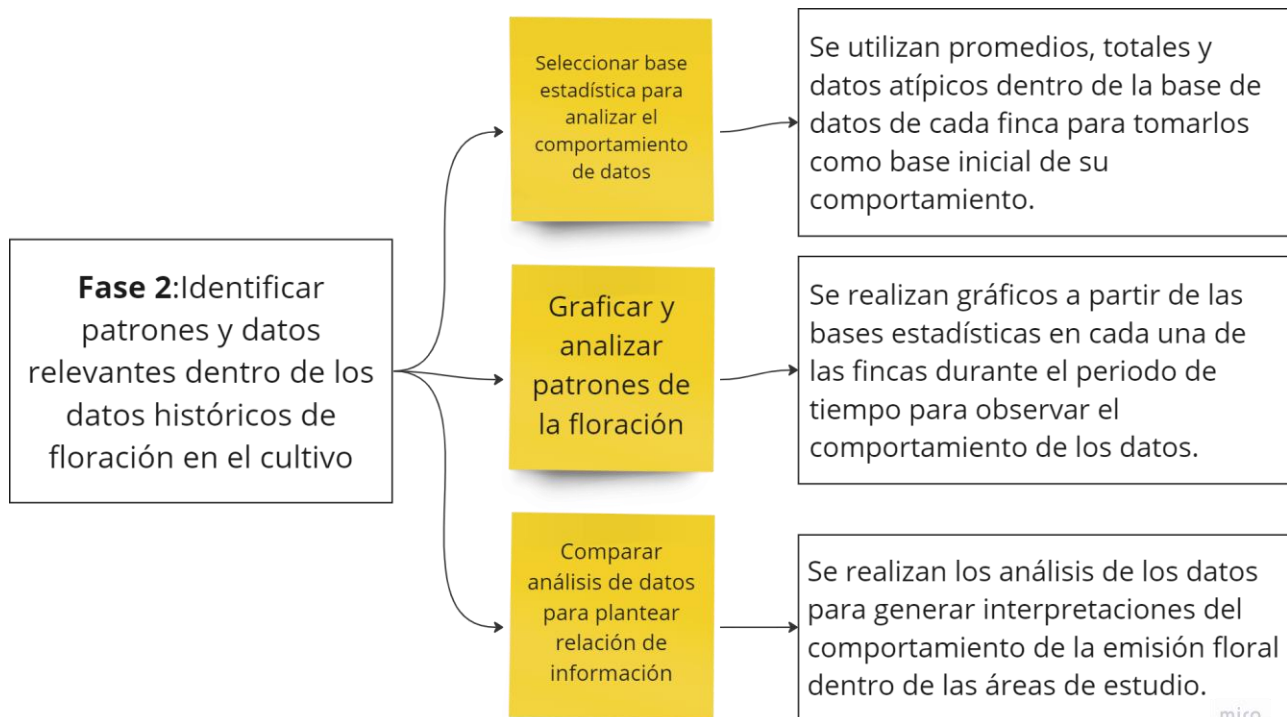


Figura 23. Descripción de fase 2.

3. Fase 3:

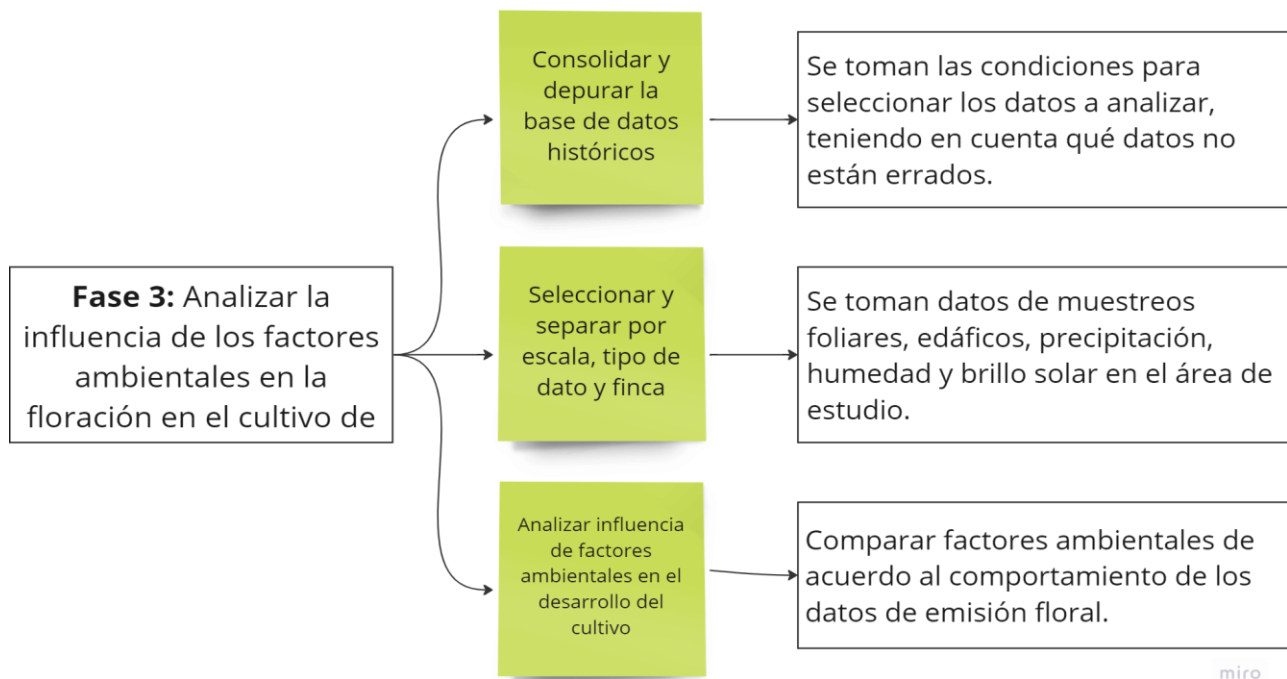


Figura 24. Descripción de fase 3.

En la fase 3 se establecen las bases de datos de variables externas que se van a relacionar para entender las causas de la alta o baja floración dentro de la plantación; dicha información debe de estar condicionada bajo unos parámetros que puedan ser aplicados a lo que se quiere entender. Las variables a tener en cuenta serán:

- ✓ Análisis foliares
- ✓ Análisis edáficos
- ✓ Precipitación
- ✓ Humedad
- ✓ Temperatura

Los datos serán aplicados para la misma escala de tiempo elegida para los datos de floración y se busca correlacionar su comportamiento y tomar conclusiones al respecto.

4. Fase 4:

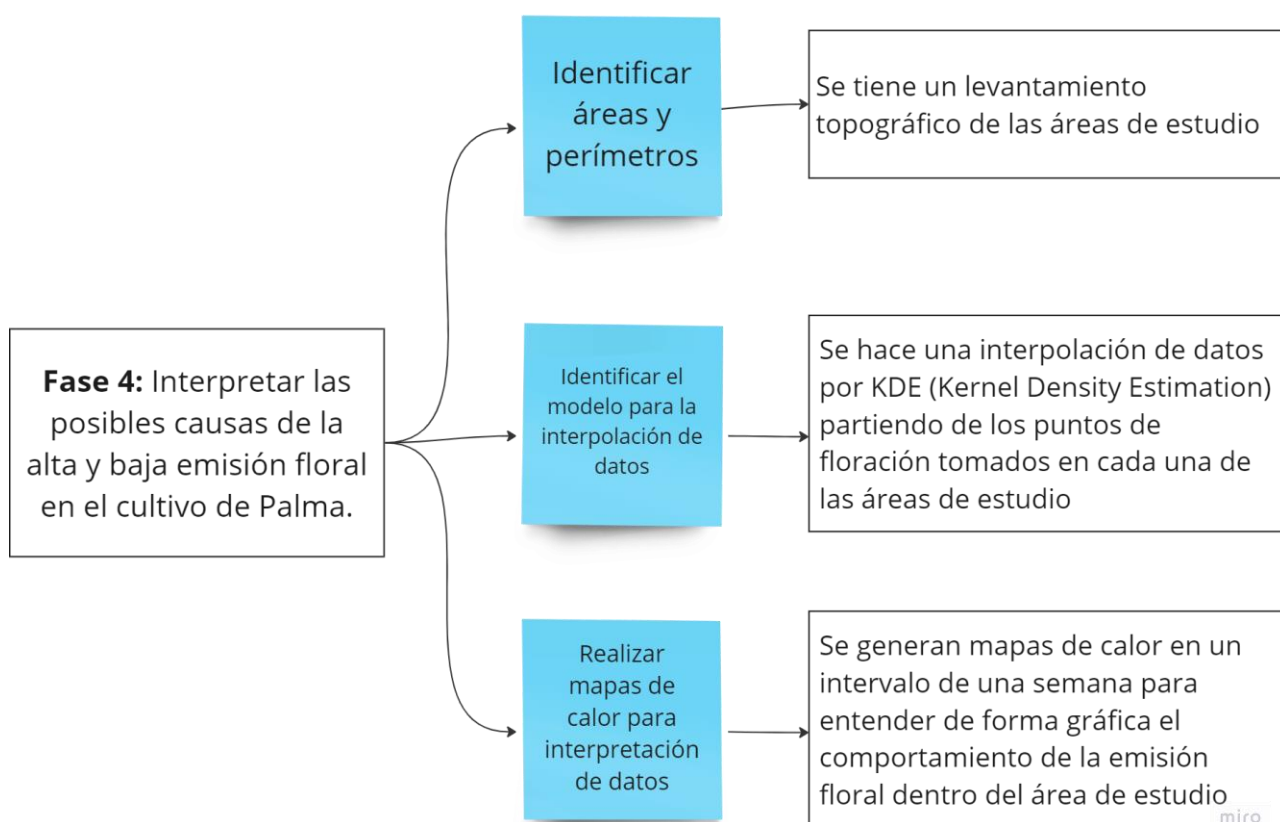


Figura 25. Descripción de fase 4.

En esta fase se pretende realizar los resultados finales según el desarrollo de las fases anteriores, promoviendo la generación de mapas de calor para cada área de estudio en un periodo semanal en

cada finca, donde los resultados permitirán tomar decisiones acertadas del comportamiento de la floración que se presenta y cómo será su evolución en las próximas 24-26 semanas para ser un racimo cosechable.

Ya se tiene un modelo de evaluación de los datos que permite analizar adecuadamente los datos y funciona bien para entender su comportamiento. La clasificación en la generación del mapa facilita su interpretación al relacionar unidades de medida adecuadas para su análisis y de forma fácil de entender para los colaboradores que usan dichos mapas.

5.1 Resultados

Para hacerle el seguimiento a los resultados obtenidos mostramos de acuerdo con el desarrollo de cada fase lo que se hizo con la base de datos, identificando puntos relevantes que permiten identificar el comportamiento y generar conclusiones que permitan establecer decisiones a futuro para la compañía.

En la fase 1, se establece la base de datos de cada una de las fincas en el periodo de tiempo de enero 2021 a marzo del 2023; allí se podrá observar el comportamiento de la floración de cada uno de los operarios en los lotes asignados y la producción de cada uno de estos. En el anexo 1 se adjunta el archivo producción consolidado, en donde se hace la verificación diaria por los auxiliares administrativos de cada una de las fincas de toda la información que tomamos de la plataforma SIOMA como se muestra en la Figura 26.

Agrupación	Finca	Código_finca	Labor	Fecha	Año	Mes	Semana	Día	Código_oper...	Operario
Nuevo mundo oleico	Chado		Polinización	2023-06-01	2023	6	22	1	72404	RODRIGUEZ
Nuevo mundo oleico	Chado		Polinización	2023-06-01	2023	6	22	1	71187	Contreras Pe
Nuevo mundo oleico	Chado		Polinización	2023-06-01	2023	6	22	1	72155	CANO GUI
Nuevo mundo oleico	Chado		Polinización	2023-06-01	2023	6	22	1	72400	VASQUEZ G
Nuevo mundo oleico	Chado		Polinización	2023-06-01	2023	6	22	1	72553	USUGAART
Nuevo mundo oleico	Chado		Polinización	2023-06-01	2023	6	22	1	72553	USUGAART
Nuevo mundo oleico	Chado		Polinización	2023-06-01	2023	6	22	1	72625	RIVAS MUR
Nuevo mundo oleico	Chado		Polinización	2023-06-01	2023	6	22	1	72626	ARCE RIVAS
Nuevo mundo oleico	Chado		Polinización	2023-06-02	2023	6	22	2	72404	RODRIGUEZ
Nuevo mundo oleico	Chado		Polinización	2023-06-02	2023	6	22	2	71187	Contreras Pe
Nuevo mundo oleico	Chado		Polinización	2023-06-02	2023	6	22	2	71978	GOMEZ GAR
Nuevo mundo oleico	Chado		Polinización	2023-06-02	2023	6	22	2	71978	GOMEZ GAR
Nuevo mundo oleico	Chado		Polinización	2023-06-02	2023	6	22	2	71978	GOMEZ GAR
Nuevo mundo oleico	Chado		Polinización	2023-06-02	2023	6	22	2	72155	CANO GUI
Nuevo mundo oleico	Chado		Polinización	2023-06-02	2023	6	22	2	72155	CANO GUI

Figura 26. Tabla inicial de floración fincas. Nuevo Mundo Oleico. SIOMA.

Inicialmente se ingresa a la plataforma web para buscar los datos seleccionados por los polinizadores en su día a día de trabajo, este se presenta en un formato de tabla dónde se muestra toda la información de cada uno de ellos, sin embargo, al descargarla se deben hacer correcciones en la data que son importantes para tener una coherencia en la información y que no interfiera en la lógica de los datos. Se tiene en cuenta:

- ✓ Datos repetidos por coordenadas (coordenadas repetidas que afectan los datos).
- ✓ Marcaciones fuera del área de trabajo que afectan los totales de floración
- ✓ Generación de consolidados por finca e histórico de operarios en el periodo de tiempo determinado.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	
FECHA	AÑO	MES	SEMANA	DÍA	SEMESTRE	REPASADO R	TRAB. CONTADO R	FINCA	CODIGO	NOMBRE OPERARIO	LOTE	TOTAL PALMAS/LOTE	PALMAS/DIA	ÁREA RECORRIDA	FLORES/DIA	SIEMBRA	FLORES BUENAS	FLORES FITOAYUDADAS	ESPATADA	REPASO 1	REPASO 2	
17272	29/05/2023	2023	may	22	2	1	NO	NO	76	71557	MEDINA MORENO JUAN FRANCISCO	111	3521	294	2,3	265	1	24	241	0	0	0
17273	29/05/2023	2023	may	22	2	1	NO	NO	76	71354	GUTIERREZ RAMOS JOSE DALI	111	3521	326	2,5	351	1	41	310	0	0	0
17274	29/05/2023	2023	may	22	2	1	NO	NO	76	72577	RIOS SILVA ANGELICA MARIA	108	2139	481	3,8	353	1	136	217	0	0	0
17275	29/05/2023	2023	may	22	2	1	NO	NO	76	72570	USUGA TAMANESA YONNATAN ANDRES	115	3629	359	2,8	85	1	22	63	0	0	0
17276	29/05/2023	2023	may	22	2	1	NO	NO	76	72570	USUGA TAMANESA YONNATAN ANDRES	116	2817	153	1,2	243	1	82	161	0	0	0
17277	29/05/2023	2023	may	22	2	1	NO	NO	76	71747	DURANGO ROMERO DAYANNA ISABEL	109	3062	957	7,5	282	1	282	0	0	0	0
17278	29/05/2023	2023	may	22	2	1	NO	NO	76	71989	VICTOR ALFONSO GIRON GONZALEZ	111	3521	334	2,6	62	1	62	0	0	0	0
17279	29/05/2023	2023	may	22	2	1	NO	NO	76	71989	VICTOR ALFONSO GIRON GONZALEZ	112	3230	891	7,0	142	1	142	0	0	0	0
17280	29/05/2023	2023	may	22	2	1	NO	NO	76	72583	RIVERO ROQUEME DANIEL ENRIQUE	108	2139	173	1,4	145	1	145	0	0	0	0
17281	29/05/2023	2023	may	22	2	1	NO	NO	76	72408	ANAYA CARDOZO DIANA LUZ	109	3062	227	1,8	230	1	30	200	0	0	0
17282	29/05/2023	2023	may	22	2	1	NO	NO	76	72608	MONTOYA DAVID BRAYAN CAMILO	115	3629	321	2,5	86	1	31	55	0	0	0
17283	29/05/2023	2023	may	22	2	1	NO	NO	76	72470	MOVIA MONTERRISA MILES JOHANNA	115	3629	440	3,0	126	1	76	100	0	0	0
17284	29/05/2023	2023	may	22	2	1	NO	NO	76	72546	SERNA GONZALEZ JUAN CAMILO	116	2817	576	4,5	36	1	87	9	0	0	0
17285	29/05/2023	2023	may	22	2	1	NO	NO	76	71706	CASTRO PEREZ WILBER ANTONIO	110	1987	58	0,5	63	1	32	31	0	0	0
17286	29/05/2023	2023	may	22	2	1	NO	NO	76	71706	CASTRO PEREZ WILBER ANTONIO	112	3230	326	2,5	235	1	35	200	0	0	0
17287	29/05/2023	2023	may	22	2	1	NO	NO	76	72161	RICARDO CARDOZO TANIA YISELA	113	3080	382	3,0	219	1	37	182	0	0	0
17288	29/05/2023	2023	may	22	2	1	NO	NO	76	72602	RAMIREZ RAMIREZ FERMIN	112	3230	340	2,7	115	1	56	59	0	0	0
17289	29/05/2023	2023	may	22	2	1	NO	NO	76	72605	ALARCON PINEDA LUIS ERNESTON	112	3230	199	1,6	110	1	110	0	0	0	0
17290	29/05/2023	2023	may	22	2	1	NO	NO	76	72615	GIL MARTINEZ JORGE ANDRES	108	2139	266	2,1	218	1	218	0	0	0	0
17291	29/05/2023	2023	may	22	2	1	NO	NO	76	72616	BUELVAS MARTINEZ YEISON DAVID	115	3629	189	1,5	129	1	11	118	0	0	0
17292	29/05/2023	2023	may	22	2	1	NO	NO	76	72609	IBARRA CARLOS ANDRES	114	2456	271	2,1	94	1	43	51	0	0	0
17293	29/05/2023	2023	may	22	2	1	NO	NO	76	72603	DIAZ CAUSIL INGRID PATRICIA	110	1987	143	1,1	133	1	31	102	0	0	0
17294	29/05/2023	2023	may	22	2	1	NO	NO	76	72604	LOPEZ MARTINEZ EDGAR	114	2456	220	1,7	71	1	11	60	0	0	0
17295	29/05/2023	2023	may	22	2	1	NO	NO	76	72600	MOSQUERA CHANTACA HORDIL	109	3062	84	0,7	14	1	13	1	0	0	0
17296	29/05/2023	2023	may	22	2	1	NO	NO	76	72600	MOSQUERA CHANTACA HORDIL	110	1987	369	2,9	98	1	57	41	0	0	0
17297	29/05/2023	2023	may	22	2	1	NO	NO	76	72547	ERIAN HORADO CAUSIL LEDYS CAROLINA	113	3080	260	2,0	190	1	38	152	0	0	0
17298	30/05/2023	2023	may	22	3	1	NO	NO	76	71557	MEDINA MORENO JUAN FRANCISCO	116	2817	258	2,0	115	1	37	76	0	0	0
17299	30/05/2023	2023	may	22	3	1	NO	NO	76	71557	MEDINA MORENO JUAN FRANCISCO	117	2090	306	2,4	244	1	58	186	0	0	0
17300	30/05/2023	2023	may	22	3	1	NO	NO	76	71354	GUTIERREZ RAMOS JOSE DALI	120	2527	326	2,5	324	1	125	199	0	0	0
17301	30/05/2023	2023	may	22	3	1	NO	NO	76	72577	RIOS SILVA ANGELICA MARIA	11	4277	261	2,0	184	1	52	132	0	0	0
17302	30/05/2023	2023	may	22	3	1	NO	NO	76	72570	USUGA TAMANESA YONNATAN ANDRES	28	1535	391	3,1	182	1	62	120	0	0	0
17303	30/05/2023	2023	may	22	3	1	NO	NO	76	71747	DURANGO ROMERO DAYANNA ISABEL	117	2090	263	2,1	65	1	65	0	0	0	0
17304	30/05/2023	2023	may	22	3	1	NO	NO	76	71747	DURANGO ROMERO DAYANNA ISABEL	119	1996	802	6,3	390	1	245	55	0	0	0
17305	30/05/2023	2023	may	22	3	1	NO	NO	76	71989	VICTOR ALFONSO GIRON GONZALEZ	27	2284	748	5,8	253	1	251	2	0	0	0
17306	30/05/2023	2023	may	22	3	1	NO	NO	76	72583	RIVERO ROQUEME DANIEL ENRIQUE	11	4277	358	2,8	140	1	76	64	0	0	0

Figura 27. Base de datos depurada. Nuevo Mundo Oleico.

En la fase 2, luego de haber hecho la consolidación de información por finca, se puede generar información de todas las fincas mostrando el comportamiento de la floración y sacando análisis al respecto.

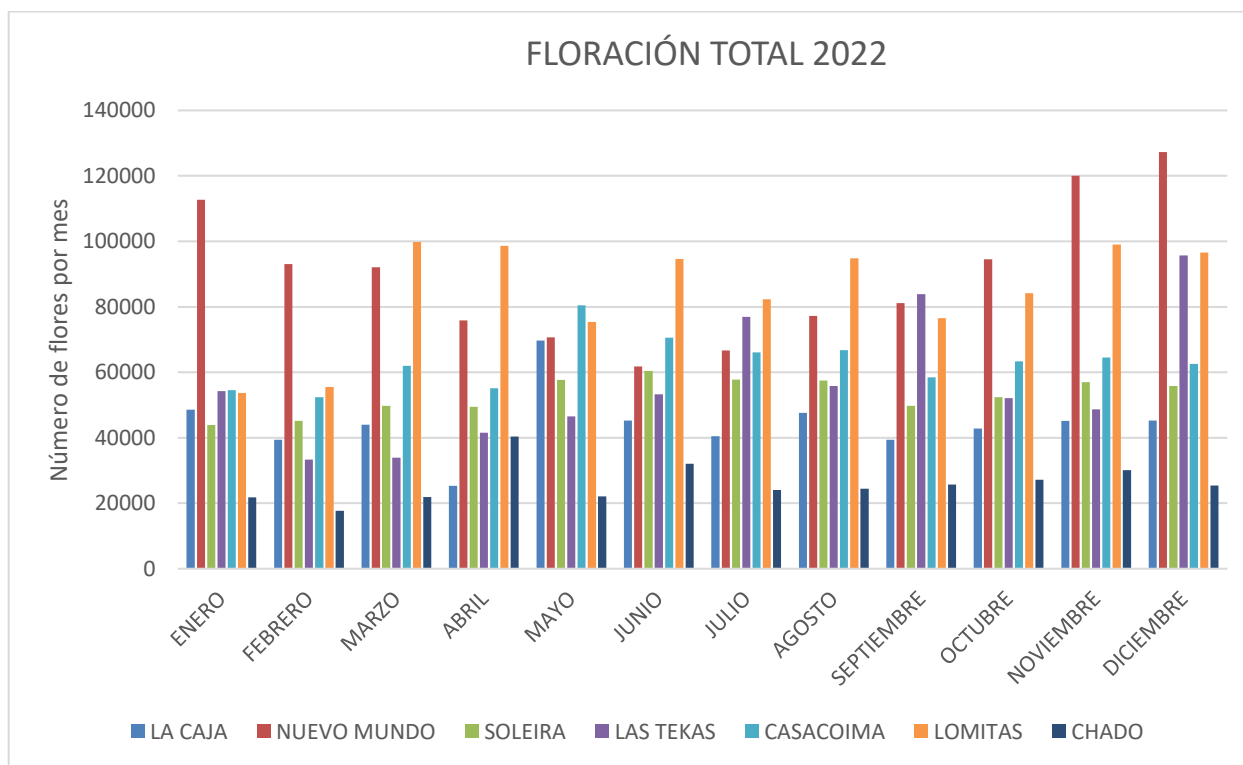


Figura 28. Comportamiento de floración total. Nuevo Mundo Oleico. Autor.

FINCA	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
LA CAJA	48602	39368	44001	25310	69738	45261	40444	47635	39422	42842	45126	45235
NUEVO MUNDO	112719	93095	92075	75901	70723	61790	66665	77263	81161	94498	120021	127312
SOLEIRA	43846	45153	49731	49504	57698	60385	57793	57447	49750	52404	56980	55778
LAS TEKAS	54280	33334	33965	41543	46528	53276	76895	55815	83914	52153	48639	95737
CASACOIMA	54591	52405	61982	55139	80439	70574	66037	66724	58458	63372	64492	62591
LOMITAS	53669	55537	99799	98595	75364	94660	82301	94806	76556	84171	99024	96542
CHADO	21780	17710	21909	40416	22076	32034	24090	24449	25752	27194	30139	25420
TOTAL	389487	336602	403462	386408	422566	417980	414225	424139	415013	416634	464421	508615

Tabla 5. Comportamiento de floración total 2022. Nuevo Mundo Oleico. Autor.

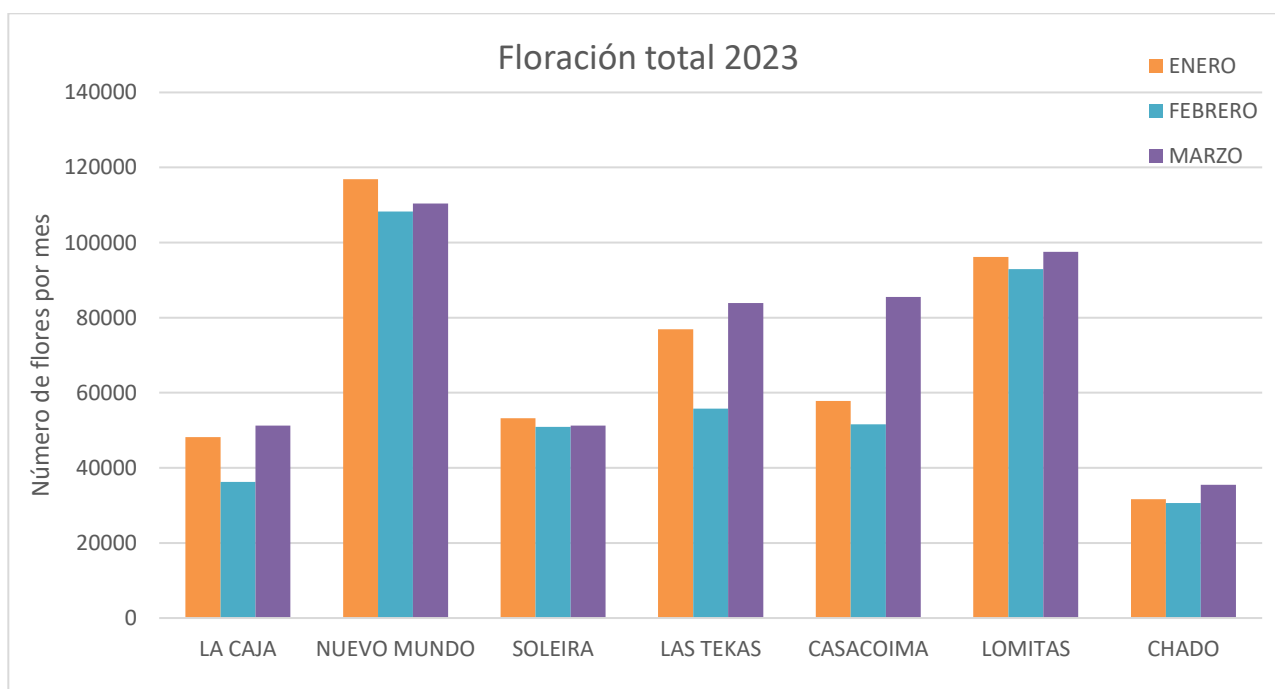


Figura 29. Comportamiento de floración total primer trimestre. Nuevo Mundo Oleico. Autor.

FINCA	ENERO	FEBRERO	MARZO
LA CAJA	48224	36281	51236
NUEVO MUNDO	116926	108262	110440
SOLEIRA	53224	50950	51291
LAS TEKAS	76895	55815	83914
CASACOIMA	57789	51610	85546
LOMITAS	96207	92932	97537
CHADO	31670	30663	35525
TOTAL	480935	426513	515489

Tabla 6. Comportamiento de floración total primer trimestre. Nuevo Mundo Oleico. Autor.

Al observar el comportamiento de la floración en el año 2022 y el primer trimestre del 2023, se puede observar que el tope máximo siempre va a estar representado en finca Nuevo Mundo, ya que está cuenta con el área más grande de las 7 fincas en producción, con un total de 516,4 hectáreas, y la menor va a ser finca Chadó con un total de 125,22 hectáreas.

Hay que entender que el comportamiento de la floración en el cultivo de palma OxG y en otras variedades de palma, siempre va a presentar los valles y picos de floración, y observando la figura 27 y 26 se presenta generalmente en pico de floración diciembre a marzo y el valle se intensifica entre abril a junio del año, lo cual permite hacer una programación acertada y temprana de cómo se hará la cosecha en 24 a 26 semanas.

Si se compara la floración del primer trimestre del 2022 contra del 2023 se puede ver un incremento del 80.91%, el cual está determinado por la edad de la plantación, ya que la plantación desde su siembra empieza su emisión floral después de 2,5 a 3 años y su incremento se intensifica en los primeros 4 años. Cabe aclarar, que, durante el primer año de emisión floral, ocurre algo que se debe hacer en toda plantación de OxG y es una castración, es decir, eliminar todas las flores que consideramos no productivas (andrógenas y machos) que para los productores de palma no tiene viabilidad y no es relevante para considerar en la producción ni en los estimativos.

Para poder conocer en un foco más cercano la floración de cada finca, se utiliza el cálculo de flor palma mes, las cuales permiten entender la estimación de cuánta emisión floral está generando una unidad productiva, en este caso, cada palma. Para ello, se hace la consideración de que para el cálculo se debe de conocer la cantidad de flores totales en un mes y adicional, tener siempre presente que una hectárea de siembra siempre representará 128 palmas. Los datos en una plantación deben de tener un intervalo de emisión entre 1,8 a 2 flores por palma para considerarse con una buena productividad y poder considerar la finca con una tasa de floración buena.

En la Tabla 7 y Tabla 8, que muestra el comportamiento de la floración palma mes, se puede ver que

los datos van desde 1,7 a 2,79 flor palma mes, pero este caso con una floración tan alta, mostrado en finca la caja tiene una justificación y es por una jornada de recuperación. Dichos eventos se programan en casos especiales como:

- ✓ Abandono de área por falta de personal
- ✓ No cumplimiento del cierre de área por parte del trabajador asignado al área
- ✓ Problemas externos que no permitan el ingreso al área de trabajo
- ✓ Intervención de áreas con menor ingreso de la labor de polinización.

La emisión floral es un proceso clave en la producción de frutos de palma de aceite, donde su mayor eficiencia se ha demostrado a través de la incorporación de nutrientes y hormonas en el momento adecuado, en este caso, cuando tenemos presencia de una antesis o pre-antesis dentro de la palma; adicional, la poda o castración mostrará un aumento significativo en la emisión de flores productivas. También, como otra variable se debe considerar variables externas que pueden interferir en la gestión de la emisión floral para maximizarla o minimizarla.

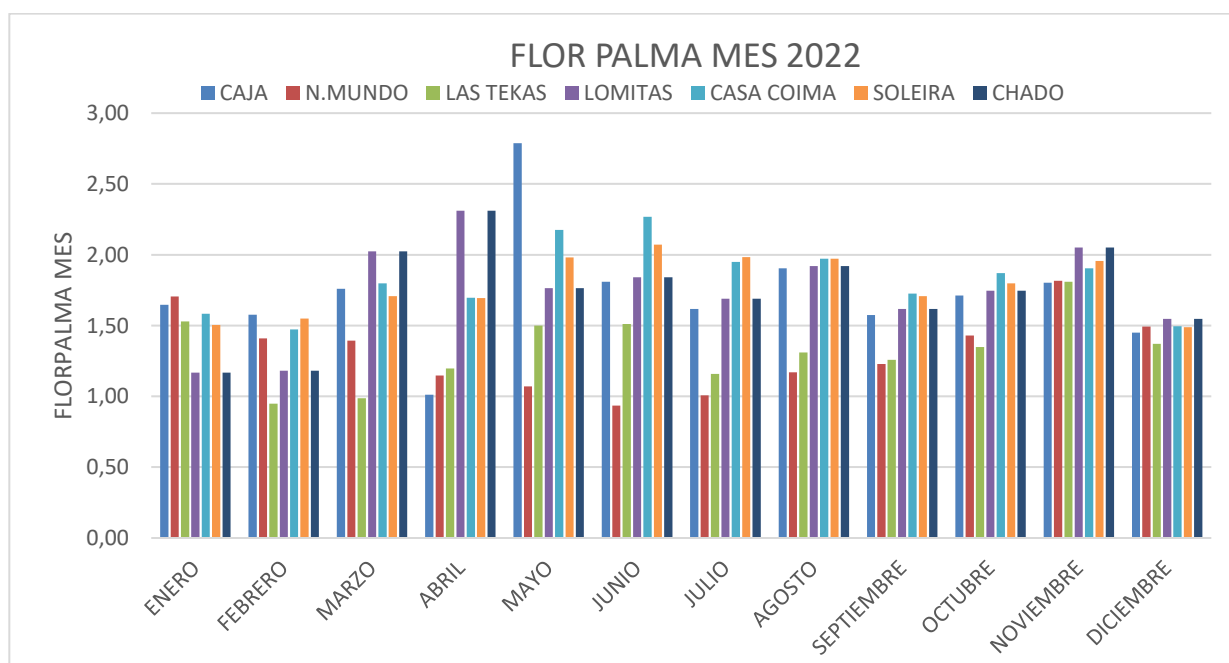


Figura 30. Comportamiento de flor palma mes 2022. Nuevo Mundo Oleico. Autor.

	FLOR - PALMA-MES						
	CAJA	N.MUNDO	LAS TEKAS	LOMITAS	CASACOIMA	SOLEIRA	CHADO
PALMAS/FINCA	25023	66097	45960	50599	33882	29139	15957
ENERO	1,65	1,71	1,53	1,17	1,58	1,50	1,17
FEBRERO	1,58	1,41	0,95	1,18	1,47	1,55	1,18
MARZO	1,76	1,39	0,99	2,02	1,80	1,71	2,02
ABRIL	1,01	1,15	1,20	2,31	1,70	1,69	2,31
MAYO	2,79	1,07	1,50	1,76	2,18	1,98	1,76
JUNIO	1,81	0,93	1,51	1,84	2,27	2,07	1,84
JULIO	1,62	1,01	1,16	1,69	1,95	1,98	1,69
AGOSTO	1,90	1,17	1,31	1,92	1,97	1,97	1,92
SEPTIEMBRE	1,58	1,23	1,26	1,62	1,73	1,71	1,62
OCTUBRE	1,71	1,43	1,35	1,75	1,87	1,80	1,75
NOVIEMBRE	1,80	1,82	1,81	2,05	1,90	1,96	2,05
DICIEMBRE	1,45	1,49	1,37	1,55	1,49	1,49	1,55
PROMEDIO	1,72	1,32	1,33	1,74	1,83	1,78	1,74

Tabla 7. Comportamiento flor palma mes 2022. Nuevo Mundo Oleico. Autor.

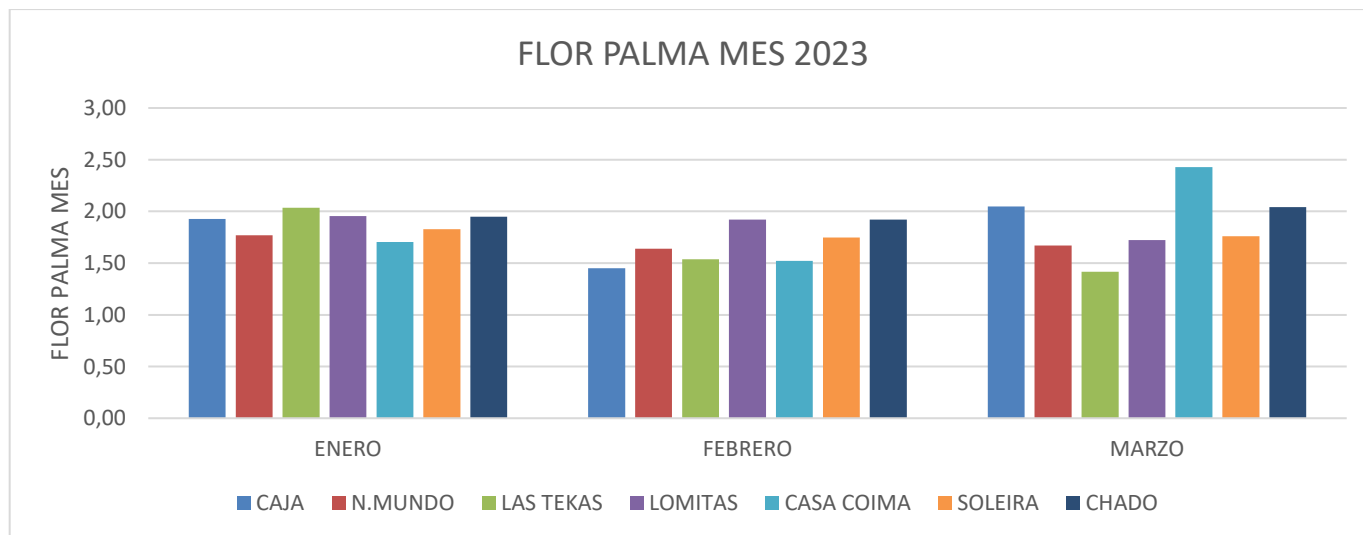


Figura 31. Comportamiento Flor palma mes primer trimestre. Nuevo Mundo Oleico. Autor.

	FLOR - PALMA-MES						
	CAJA	N.MUNDO	LAS TEKAS	LOMITAS	CASA COIMA	SOLEIRA	CHADO
PALMAS/FINCA	25193	66536	36994	50599	33781	27102	15957
ENERO	1,93	1,77	2,04	1,95	1,71	1,83	1,95
FEBRERO	1,45	1,64	1,54	1,92	1,52	1,75	1,92
MARZO	2,05	1,67	1,42	1,72	2,43	1,76	2,04
PROMEDIO	1,81	1,69	1,66	1,87	1,89	1,78	1,97

Tabla 8. Comportamiento Flor palma mes primer trimestre. Nuevo Mundo Oleico. Autor.

En la fase 3 se hace un seguimiento a las variables externas que influyen en la emisión floral de la palma, y en especial, en la producción de flores productivas (flores polinizadas y fitoayudadas). La palma de aceite OxG es un híbrido que se ha desarrollado para optimizar la producción de aceite en la palma de aceite; el comportamiento de las variables climáticas en este cultivo es crucial para lograr una buena producción y rentabilidad. Algunas de las variables climáticas más importantes y a las que se les hace un seguimiento comparativo para tomar decisiones dentro de la plantación que pueden incidir dentro de la producción de cada una de las fincas.

1. **Temperatura:** La temperatura, se contemplará los 3 ítems: temperatura media, máxima y mínima, todos con unidades de grados centígrados (°C).

La temperatura media de la atmósfera es uno de los parámetros que forman parte del clima. Indica la cantidad de energía calorífica que hay acumulada en el aire en un momento y lugar determinados. Proviene de los rayos que emite el sol, es decir, la radiación solar que llega hasta la tierra. La temperatura y la presión del aire son dos elementos del clima que varían entre sí de manera inversa: cuanto mayor sea la temperatura del aire, menor será su presión y el aire asciende. (*Ecoforest, 2018*)

En la zona ocurre una particularidad y es, que, aunque la zona normal oscila entre los 28°C a 32°C, la sensación térmica puede llegar hasta los 35°C. Para analizar el comportamiento de los datos se toman datos del IDEAM de la estación Villarteaga, la cual se encuentra con una zona de influencia adecuada para entender cómo se comporta esta información en la zona de estudio.

ESTACIÓN	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	ANUAL
Apto Los Cedros (12015070)	27.2	27.2	27.3	27.5	27.6	27.6	27.5	27.6	27.4	27.2	27.1	27.1	27.4
La Palmera (12015090)	27.3	27.7	27.8	27.6	27.5	27.3	27.1	27.2	27.1	27.1	27.0	27.0	27.3
Tulenapa (12015060)	26.7	26.8	27.0	27.2	27.0	26.9	26.8	26.8	26.8	26.7	26.5	26.6	26.8
Unibán (12015020)	26.5	26.6	26.9	27.0	26.8	26.8	26.7	26.7	26.5	26.4	26.4	26.5	26.6
Villarteaga (12015010)	25.9	26.1	26.2	26.3	26.1	26.0	25.8	25.9	25.8	25.8	25.7	25.7	25.9
Musinga (11115040)	20.4	20.7	20.8	20.9	20.8	20.7	20.6	20.6	20.5	20.3	20.3	20.3	20.6

Tabla 9. Valores mensuales de temperatura media (°C). Periodo 1975-2016. IDEAM, 2018.

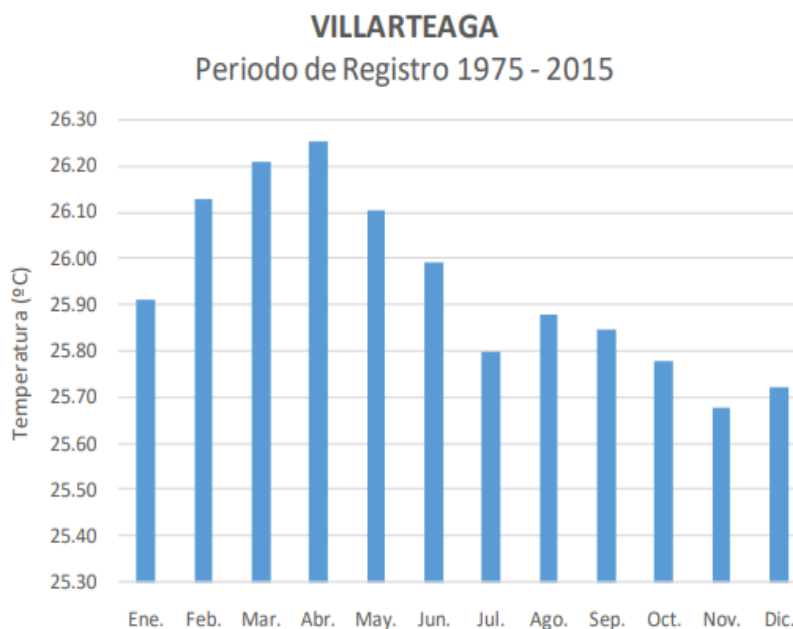


Figura 32. Comportamiento de temperatura media (°C) de estación Villarteaga. Periodo 1975-2016. IDEAM, 2018.

La temperatura máxima, es la mayor temperatura del aire alcanzada en un lugar en un día (máxima diaria), en un mes (máxima mensual) o en un año (máxima anual). También puede referirse a la temperatura máxima registrada en un lugar durante mucho tiempo (máxima absoluta). En condiciones normales, y sin tener en cuenta otros elementos del clima, las temperaturas máximas diarias se alcanzan en las primeras horas de la tarde. (Ecoforest, 2018).

En el cultivo de palma la temperatura máxima, tomada para la estación Villarteaga, tiene un valor máximo en el mes de febrero de 39.2°C, lo cual corresponde a una época del año seca y con bajos

índices de precipitación en toda la zona. En la figura 31 se puede observar que el comportamiento máximo de temperatura se ve focalizado en el primer trimestre del año.

ESTACIÓN	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	ANUAL
Apto Los Cedros (12015070)	36.2	34.6	36.5	35.8	35.4	35.2	36	35	35.4	35	34.4	33.8	36.5
La Palmera (12015090)	35.2	36.8	37.4	36.8	36.6	36.8	35.1	33.6	34.6	34.4	33.2	33.6	37.4
Tulenapa (12015060)	33.2	35.4	36.4	35.4	34.8	34.6	34.6	34.4	34.2	34	33.4	34.2	36.4
Unibán (12015020)	34.1	36.6	36.2	35.4	36.8	35.2	35.2	36.2	39.1	35.2	34.6	35	39.1
Villarteaga (12015010)	34.6	39.2	35.8	34	34.2	32.8	33.6	34.4	34	32.8	32	32.6	39.2
Musinga (11115040)	28	28.5	28	27.5	26.9	27.3	27.2	26.7	27.1	26.8	26.4	27.1	28

Tabla 10. Valores mensuales de temperatura máxima (°C). Periodo 1975-2016. IDEAM, 2018.

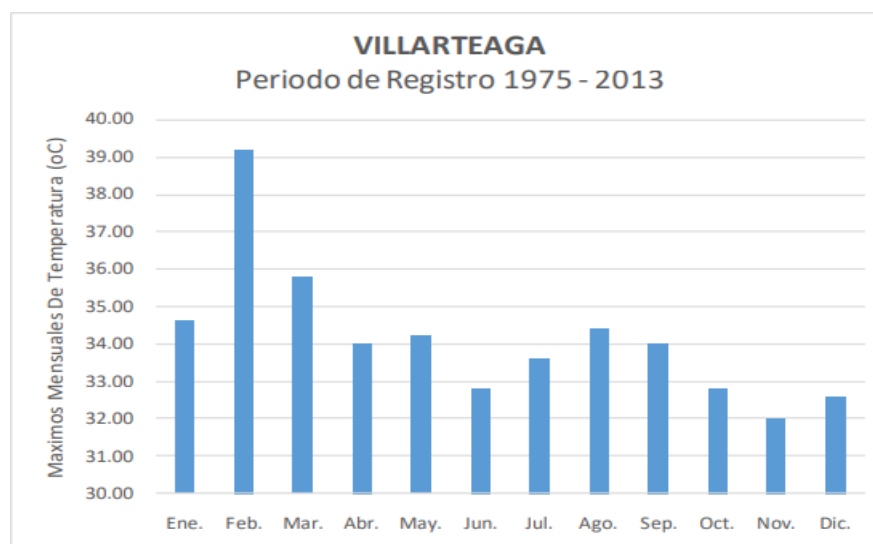


Figura 33. Comportamiento de temperatura máxima (°C) de estación Villarteaga. Periodo 1975-2013. IDEAM, 2018.

La temperatura mínima es la menor temperatura alcanzada en un lugar en un día, en un mes o en un año y también la mínima absoluta alcanzada en los registros de temperaturas de un lugar determinado. También en condiciones normales, las temperaturas mínimas diarias se registran en horas del amanecer. (Ecoforest, 2018).

Para la estación Villarteaga, la cual se encuentra a 132 m.s.n.m, la temperatura mínima se encuentra focalizada en los meses de julio y agosto con un intervalo entre los 15°C a 15,2°C. Su influencia se ve focalizada en esta época del año por el aumento de las tasas de precipitación en la zona.

ESTACION	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	ANUAL
Apto Los Cedros (12015070)	19.0	20.5	19.4	19.4	19.0	20.0	19.0	19.0	19.0	19.0	19.0	20.0	19.0
La Palmera (12015090)	17.8	17.6	18.2	19.0	19.0	20.2	20.0	18.2	18.2	16.4	19.3	18.6	16.4
Tulenapa (12015060)	19.0	19.6	18.6	19.8	19.6	17.0	18.6	20.1	18.2	19.4	17.2	16.0	16.0
Unibán (12015020)	16.2	17.4	17.0	19.2	17.0	18.0	18.2	18.0	17.0	17.5	17.5	17.5	16.2
Villarteaga (12015010)	16.0	17.0	15.4	16.4	16.0	17.2	15.0	15.2	16.0	15.4	16.0	16.0	15.0
Musinga (11115040)	13.9	13.4	14	14.9	14.7	14.4	14.6	13.2	13.2	12.8	13.1	13.8	13.9

Tabla 11. Valores mensuales de temperatura máxima (°C). Periodo 1975-2016. IDEAM, 2018.

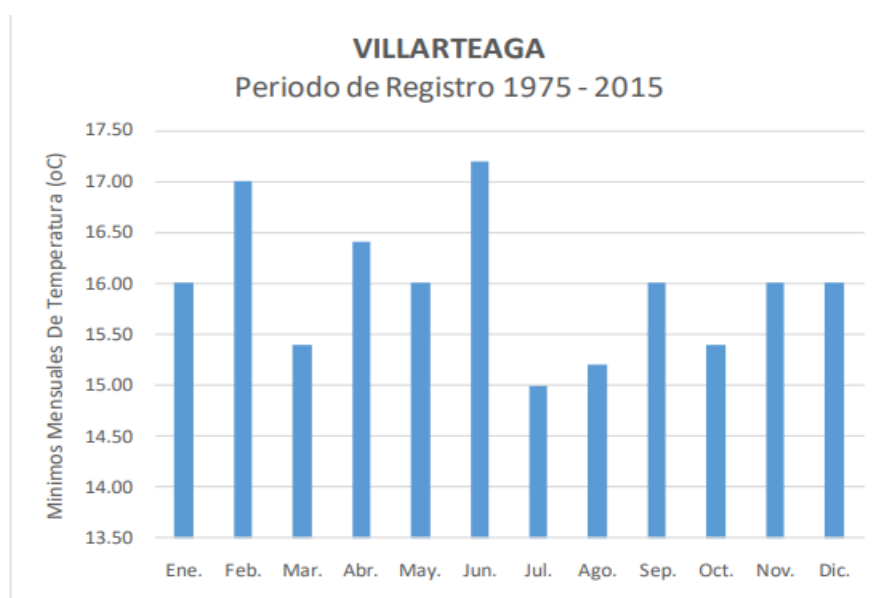


Figura 34. Comportamiento de temperatura mínima (°C) de estación Villarteaga. Periodo 1975-2015. IDEAM, 2018.

Las palmas de aceite OxG prefieren una temperatura promedio de entre 25°C y 30°C, en dónde las temperaturas por encima de 35°C pueden reducir la producción, y las temperaturas por debajo de 15°C pueden retrasar el crecimiento. En el caso de la zona de Urabá, y el foco de la zona de las fincas de Nuevo Mundo Oleico, los municipios en dónde se hace el análisis son Mutatá y Chigorodó, principalmente, de acuerdo con su ubicación geográfica mostrada en la figura 18.

Si se hace un análisis del comportamiento y se observa la Figura 35 donde se compara el comportamiento de la temperatura dentro de la zona donde se encuentran ubicadas las fincas y se tiene en cuenta las características de los factores bióticos y abióticos de la zona, se evidencia que los periodos más marcados de temperatura baja van a presentarse en los meses de julio y agosto, y

temperatura alta en los meses de enero, febrero y marzo. Y en la topografía, se observa que las temperaturas serán mayores en zonas bajas o cercanas al nivel del mar y menores en zonas de alta montaña.

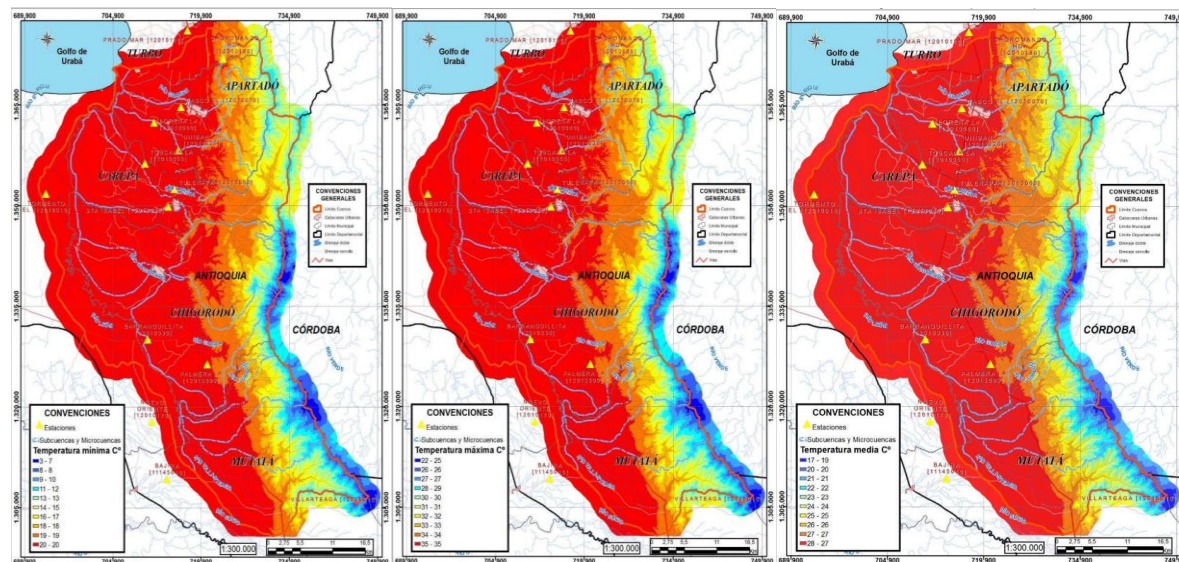


Figura 35. Comportamiento de temperatura media, baja y alta en la zona de Urabá. Ecoforest S.A.S 2018

1. Humedad:

La humedad del aire es el contenido de agua presente en la atmósfera. Ese contenido, proviene de la evaporación de los mares, océanos, lagos y en general de todos los cuerpos de agua que existan. Adicionalmente de la transpiración de los seres vivos. La humedad relativa de una masa de aire es la relación entre la cantidad de vapor de agua que contiene y la que tendría si estuviera completamente saturada; así cuanto más se aproxima el valor de la humedad relativa al 100% más húmedo está. (Ecoforest S.A.S, 2018).

Para el análisis de los datos dentro de la zona de estudio se toma en cuenta la estación Villarteaga, monitoreada por el IDEAM, en dónde los datos de humedad relativa se encuentran entre el 85.8 al 88.6 %, índices que se deben de manejar en un intervalo ideal del 50% al 70% para que la plantación de cultivo de palma se mantenga con una buena cantidad de emisión floral y su crecimiento sea el adecuado, además es ideal para mantener un buen nivel de transpiración en la planta y para evitar la aparición de hongos y enfermedades causadas por la humedad excesiva. (Cenipalma, 2011)

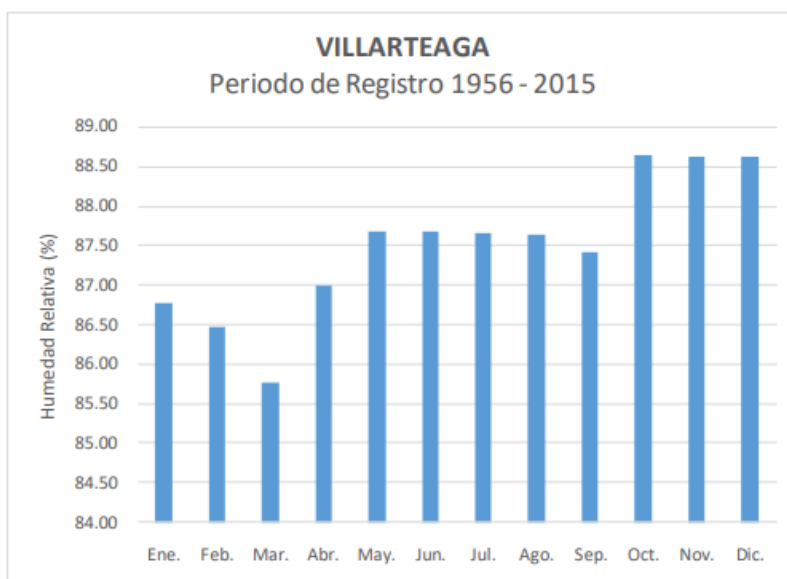


Figura 36. Comportamiento de humedad relativa (°C) de estación Villarteaga. Periodo 1956-2015. IDEAM, 2018.

Si se observa la Figura 36, se puede observar que la presencia más alta de humedad relativa se encuentra focalizada en los meses de abril a diciembre. La humedad relativa y la temperatura son dos factores importantes en el cultivo de palma de aceite OxG ya que afectan directamente el crecimiento y desarrollo de la planta. En general, la palma de aceite OxG se cultiva en regiones tropicales y subtropicales donde la humedad relativa tiende a ser alta y las temperaturas suelen oscilar entre los 25°C y 30°C. Sin embargo, tanto la humedad relativa como la temperatura pueden variar significativamente durante el día y la noche, así como entre las diferentes estaciones del año.

En términos generales, la palma de aceite OxG requiere una humedad relativa del aire de al menos el 80% para crecer adecuadamente. La humedad relativa elevada es importante para el correcto desarrollo de las hojas y para evitar la pérdida de agua a través de la transpiración. Si la humedad relativa es demasiado baja, la planta puede sufrir de estrés hídrico y esto puede afectar su crecimiento y producción.

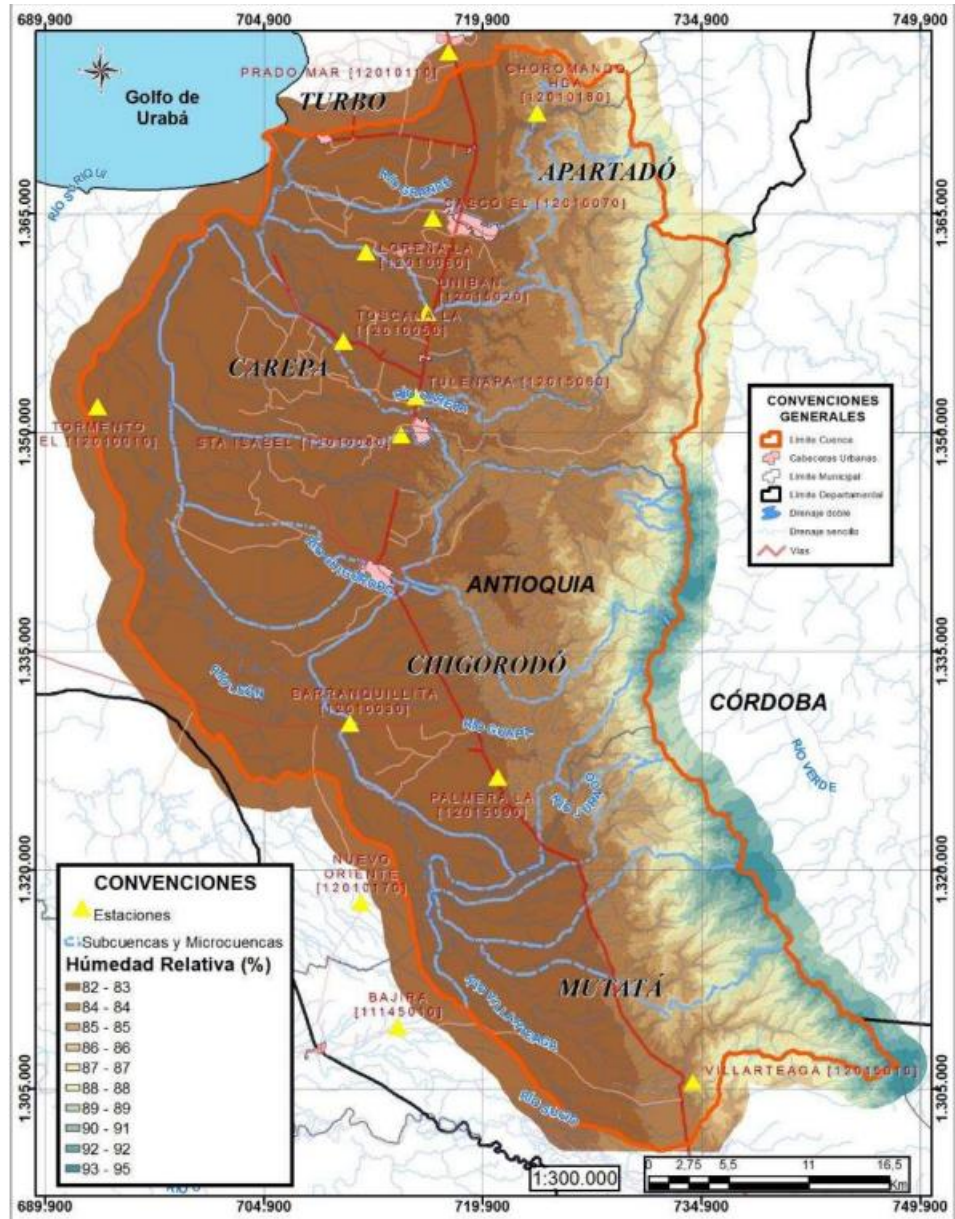


Figura 37. Distribución espacial de la humedad relativa en la zona de Urabá. Ecoforest S.A.S. 2018

Por otro lado, la palma de aceite OxG prefiere temperaturas cálidas y una temperatura media de 28°C es considerada ideal. Sin embargo, temperaturas extremas, tanto altas como bajas, pueden ser perjudiciales para la planta. Si la temperatura es demasiado alta, la planta puede sufrir de quemaduras solares y estrés térmico, mientras que, si la temperatura es demasiado baja, la planta puede sufrir de congelación y falta de crecimiento.

Es por eso que la relación entre la humedad relativa y la temperatura son factores críticos para este cultivo, y se deben controlar cuidadosamente para asegurarse de que la planta crezca y se desarrolle

adecuadamente.

2. Precipitación:

La cantidad de precipitación es importante, ya que se necesita agua suficiente para que las palmas crezcan y produzcan frutos. La palma de aceite OxG necesita aproximadamente 2500mm-3000mm de lluvia al año para lograr una buena producción. En la zona de Urabá, en especial en las fincas que en este momento se encuentran en producción, tenemos un régimen de lluvias que ha alcanzado hasta los 5810 mm anuales.

El seguimiento a los datos de precipitación se hace de manera diaria por un pluviómetro puesto en cada una de las fincas, y se hace un reporte general de la lluvia acumulada del día anterior. Finca Nuevo Mundo es la que presenta una mayor tasa de precipitación, con un mayor índice focalizado en los meses de abril a octubre del 2022, en dónde, se debe tener también en cuenta que el fenómeno del niño tuvo un comportamiento inusual dentro de la zona del ecuador y su interacción con los eventos de precipitación. Para el periodo 2071 – 2100, se espera que la precipitación aumente entre un 10 y un 30 % en la región del occidente de Antioquia, lo cual puede ser beneficioso para el abastecimiento de agua en la zona, pero se pueden ver afectadas las estructuras existentes y se incrementan las inundaciones en las áreas planas (*IDEAM, 2018*).

El hacer un seguimiento de la precipitación permite conocer bajo qué condiciones se va a trabajar durante el día y dar conclusiones del porqué no se realizaron diferentes labores dentro de lo que estaba planeado, ya que se tiene planteado que por eventos mayores a 30mm (resaltados en rojo en las tablas de información de precipitación por finca) no se permite realizar labores como fertilización ni relacionadas con la implementación de herramientas con funcionamiento de tractor (rastra, fumigación, entre otras).

La emisión floral en la palma OxG está influenciada por varios factores, entre los que se encuentra la precipitación, esta se ve favorecida por un aumento en la precipitación durante la época de floración. La palma OxG es una especie sensible a la disponibilidad de agua y necesita una cantidad adecuada de agua para producir una buena cosecha de frutos. Dentro de la zona, al tener dichos datos de precipitación no se cuentan con problemas que interfieran la producción de flores, pero se debe de garantizar que exista una buena red de drenajes para su evacuación.

En general, se recomienda mantener una buena gestión del agua en el cultivo de palma OxG, asegurando un suministro suficiente de agua en épocas de sequía y evitando inundaciones en épocas de lluvia intensa. Además, es importante monitorear la emisión floral para ajustar el manejo del cultivo y maximizar la producción de frutos.

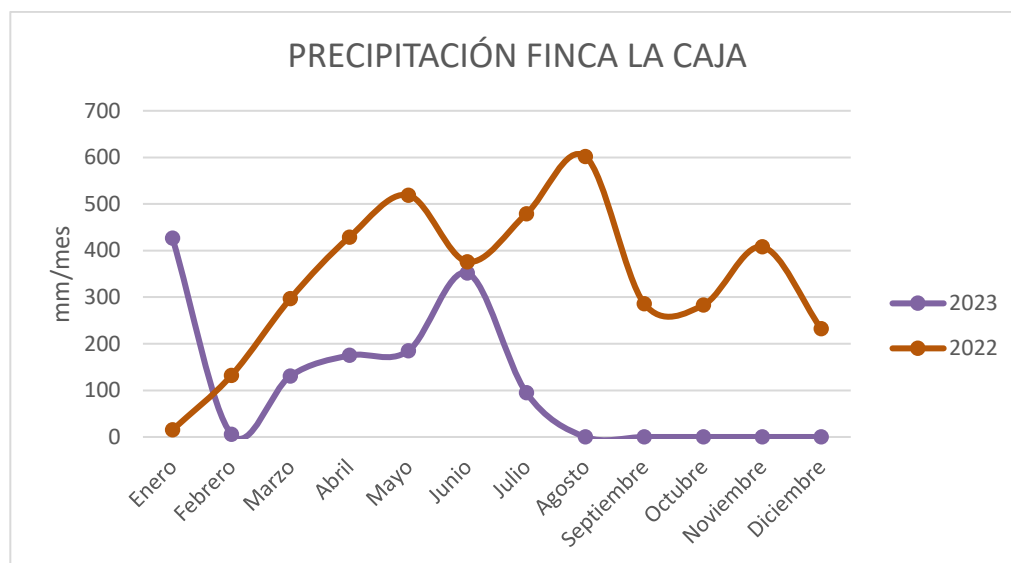


Figura 38. Comportamiento de precipitación finca La Caja. Nuevo Mundo Oleico S.A.S. Autor.

PRECIPITACIÓN ACUMULADA 2022																																		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	mm/mes	# eventos	
Enero	0	0	4	0	0	0	0	4	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	0
Febrero	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	50	19	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	40	0	0	0	132	2
Marzo	15	2	60	1	8	0	80	8	0	0	0	0	0	0	10	5	0	0	0	0	10	0	10	2	2	2	0	32	5	40	5	297	4	
Abril	10	10	0	61	15	5	80	13	10	8	0	5	5	0	0	0	0	0	140	0	0	0	0	0	0	0	0	27	40	0	0	429	4	
Mayo	0	110	0	0	0	0	0	0	11	80	0	2	41	20	5	5	110	20	10	10	5	0	15	0	5	55	5	0	0	10	519	5		
Junio	0	5	5	5	40	45	6	10	15	50	0	0	25	48	2	10	0	7	0	5	5	10	0	25	5	0	0	48	5	0	0	376	5	
Julio	10	10	0	0	140	5	2	20	35	0	30	10	20	10	0	5	0	5	5	0	50	20	0	0	30	0	62	10	0	0	0	479	6	
Agosto	80	10	15	70	5	5	0	2	20	140	10	40	35	0	10	20	0	0	20	24	0	5	0	0	60	10	0	0	5	5	11	602	6	
Septiembre	35	5	20	0	20	35	3	24	0	0	0	12	43	0	0	10	0	0	0	2	3	0	8	23	0	25	2	5	11	0	0	286	3	
Octubre	10	0	19	15	15	0	20	0	0	38	0	4	20	0	0	0	0	0	60	0	30	5	0	10	0	8	10	19	0	0	0	283	3	
Noviembre	0	0	9	40	0	0	10	0	4	8	0	5	0	5	60	9	55	5	0	0	98	40	0	0	0	5	0	40	10	5	0	408	6	
Diciembre	0	0	0	0	0	17	5	0	0	0	0	80	10	5	10	5	5	0	20	0	0	8	0	0	0	40	20	5	2	0	0	232	2	
TOTAL																																	4058	46

PRECIPITACIÓN ACUMULADA 2023																																		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	mm/mes	# eventos	
Enero	0	0	130	0	0	0	30	0	140	5	10	5	45	5	0	20	0	7	5	0	0	0	20	5	0	0	0	0	0	0	0	427	4	
Febrero	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	
Marzo	0	0	2	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20	0	0	13	0	5	0	80	0	2	0	5	0	0	131	1	
Abril	0	0	0	0	0	0	0	0	0	45	0	4	0	0	0	0	92	0	0	0	6	8	0	20	0	0	0	0	0	0	0	175	2	
Mayo	0	0	0	0	0	0	0	0	1	12	5	0	0	0	10	5	64	0	0	5	0	0	20	10	10	5	0	0	16	12	10	185	1	
Junio	20	0	0	0	5	2	2	40	80	0	0	0	30	20	5	10	18	0	0	15	5	5	5	0	0	80	10	0			352	4		
Julio	20	0	0	30	0	0	5	20	0	0	15	5																			95	1		
TOTAL																																	1371	13

Tabla 12. Datos precipitación finca La Caja. Nuevo Mundo Oleico S.A.S. Autor.

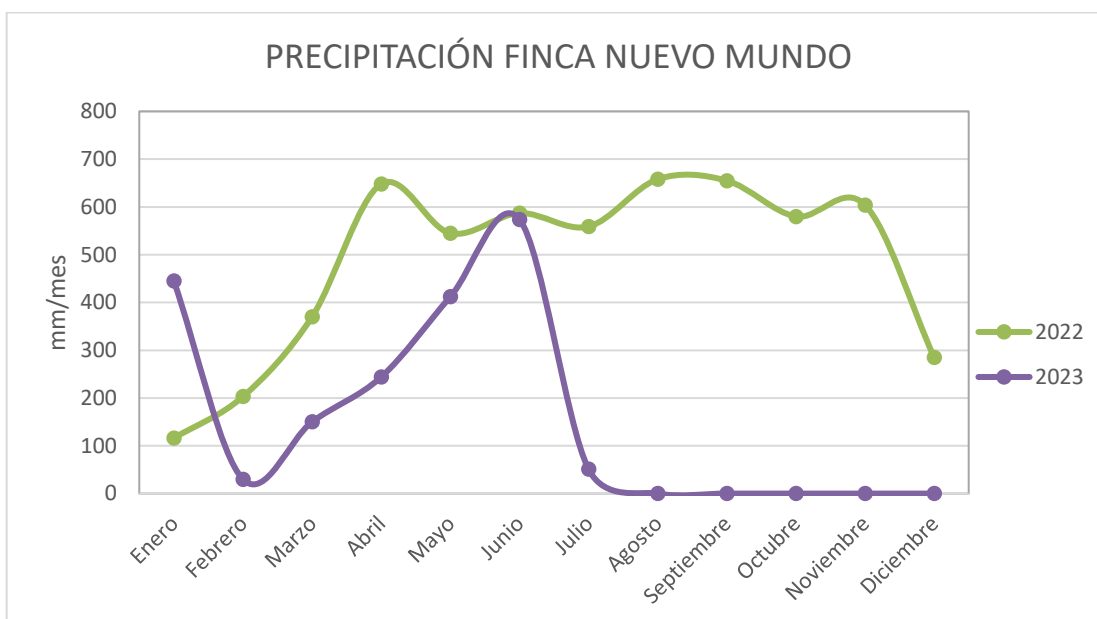


Figura 39. Comportamiento de precipitación finca Nuevo Mundo. Nuevo Mundo Oleico S.A.S. Autor.

PRECIPITACIÓN ACUMULADA 2022																																		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	mm/mes	# eventos	
Enero	0	0	38	0	0	0	24	2	0	0	28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	24	0	0	0	0	0	116	1	
Febrero	0	46	0	16	0	0	8	2	4	0	0	0	10	115	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	203	2	
Marzo	22	20	4	0	18	0	68	0	0	0	0	0	0	0	8	5	4	0	0	0	3	0	12	0	0	2	0	58	44	94	8	370	4	
Abril	20	52	0	14	22	0	24	4	6	70	5	0	24	0	0	0	0	150	86	48	20	8	32	0	9	28	2	24	0	0	648	6		
Mayo	0	68	0	0	10	0	0	0	0	50	44	0	15	13	9	0	8	135	19	3	20	0	0	28	5	28	5	5	10	0	0	70	545	5
Junio	0	50	0	10	2	18	22	42	44	22	24	0	46	80	10	10	3	2	0	26	10	7	0	14	64	0	0	48	18	15	587	7		
Julio	9	15	0	32	16	20	15	14	0	0	38	10	0	10	0	1	0	0	5	42	60	38	0	0	125	10	13	86	0	0	559	7		
Agosto	4	9	15	32	40	145	0	42	11	26	20	48	105	0	0	0	0	0	6	0	13	0	6	16	52	16	0	40	3	9	658	8		
Septiembre	22	0	32	0	100	18	0	64	12	0	0	15	20	30	6	100	0	0	68	2	12	7	12	4	0	80	13	28	8	2	655	7		
Octubre	28	0	30	7	0	12	2	0	12	5	20	14	8	2	0	0	130	32	84	8	66	0	12	2	4	100	0	2	0	580	6			
Noviembre	0	0	60	66	0	5	2	5	4	20	4	12	0	50	26	6	25	7	36	0	10	20	28	7	5	28	0	140	34	4	604	6		
Diciembre	5	12	2	0	12	3	5	0	0	0	0	8	20	0	8	4	52	0	2	2	22	5	4	4	0	25	40	5	5	0	40	285	3	
TOTAL	mm/año																															5810	62	

PRECIPITACIÓN ACUMULADA 2023																																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	mm/mes	# eventos
Enero	0	0	80	4	0	20	8	0	86	5	5	10	70	42	0	5	0	7	10	2	0	0	44	3	0	40	2	2	0	0	0	445	6
Febrero	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0	3	0	6	0	6	1	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30	0
Marzo	0	0	5	5	0	12	10	12	0	0	2	0	5	0	10	0	14	13	0	0	9	0	40	3	7	0	0	0	0	0	3	150	1
Abril	30	0	0	0	0	0	0	0	0	50	10	45	0	45	0	0	15	10	0	0	27	0	0	4	8	0	0	0	0	0	244	4	
Mayo	0	20	0	0	0	15	0	21	0	18	0	17	0	0	0	15	29	0	0	22	0	0	140	28	12	19	7	0	7	38	4	412	2
Junio	71	10	8	0	5	8	8	22	89	3	0	0	57	0	41	16	70	0	0	0	1	0	38	0	0	63	12	50	2	0	574	8	
Julio	12	0	0	11	0	0	7	6	0	2	8	5																			51	0	
TOTAL																																1906	21

Tabla 13. Datos precipitación finca Nuevo Mundo. Nuevo Mundo Oleico S.A.S. Autor.

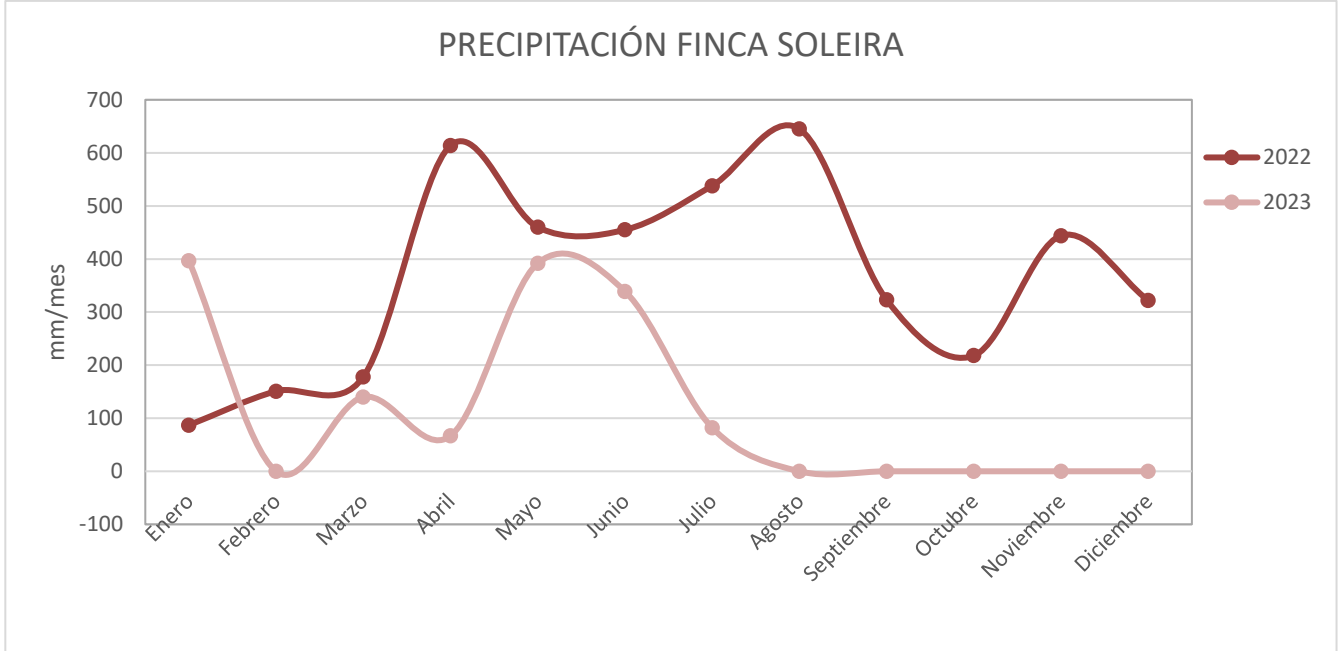


Figura 40. Comportamiento de precipitación finca Soleira. Nuevo Mundo Oleico S.A.S. Autor.

PRECIPITACIÓN ACUMULADA 2022																																		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	mm/mes	# eventos	
Enero	0	0	38	0	0	0	0	10	0	0	39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	87	2
Febrero	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	38	85	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20				151	2
Marzo	0	10	5	0	10	0	20	0	0	0	0	0	0	0	20	0	38	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	22	8	25	0	178	1	
Abril	20	0	0	20	15	0	55	15	32	40	60	0	70	0	0	0	0	140	40	20	40	20	5	0	0	14	3	5	0	0	0	614	8	
Mayo	0	60	0	0	0	0	0	0	20	15	0	10	5	25	60	5	115	15	0	80	0	0	0	0	0	12	0	10	0	0	28	460	4	
Junio	0	25	3	0	0	10	65	20	0	10	12	0	35	110	0	5	50	0	0	12	5	8	0	3	42	0	0	25	8	7		455	5	
Julio	5	15	0	0	75	40	0	22	0	0	15	10	18	5	0	0	0	65	3	7	62	43	0	0	45	5	42	58	0	3		538	8	
Agosto	18	3	15	50	80	15	0	5	10	15	7	80	60	0	120	30	0	0	3	56	0	3	3	3	12	25	0	0	20	0	12	645	7	
Septiembre	18	0	28	0	0	16	0	23	20	0	0	30	38	5	10	10	0	0	40	0	10	8	20	9	0	20	18	0	0	0		323	3	
Octubre	0	0	0	20	7	0	35	0	0	0	0	22	5	0	0	0	0	55	15	22	5	8	0	10	3	8	3	0	0	0		218	2	
Noviembre	0	0	65	20	0	0	3	0	2	0	3	7	0	58	22	50	10	3	0	0	5	30	0	5	3	5	0	150	3	0		444	5	
Diciembre	5	40	3	0	20	3	0	0	0	0	0	40	40	25	35	10	5	0	7	0	3	20	0	0	0	30	30	3	0	3	0	322	6	
TOTAL	mm/año																															4435	53	

PRECIPITACIÓN ACUMULADA 2023																																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	mm/mes	# eventos
Enero	0	0	95	7	0	0	7	0	70	5	0	0	8	12	0	0	0	110	10	0	0	0	55	0	0	0	18	0	0	0	0	397	4
Febrero	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0
Marzo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0	58	0	3	38	0	0	0	0	18	12	0	0	3	0	0	0	0	140	2
Abril	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	5	0	0	30	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	5		67	1	
Mayo	0	18	0	0	0	0	0	3	0	8	0	0	0	0	105	8	37	0	0	20	0	0	70	15	38	5	0	0	40	22	3	392	5
Junio	75	0	0	0	0	0	0	20	50	3	0	0	22	0	3	4	98	0	0	0	0	8	8	0	0	8	0	40	0	0		339	4
Julio	15	0	0	50	0	0	0	10	0	0	4	3																				82	1
TOTAL																																1417	17

Tabla 14. Datos precipitación finca Soleira. Nuevo Mundo Oleico S.A.S. Autor.

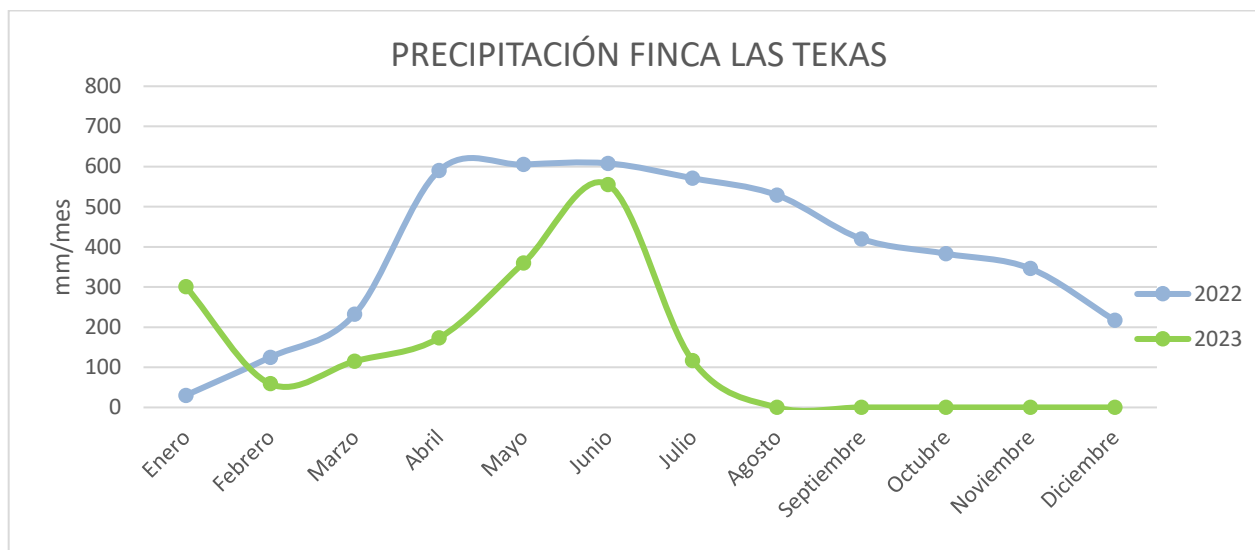


Figura 41. Comportamiento de precipitación finca Las Tekas. Nuevo Mundo Oleico S.A.S. Autor.

PRECIPITACIÓN ACUMULADA 2022																																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	mm/mes	# eventos
Enero	0	0	24	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	30	0
Febrero	0	0	0	0	0	6	0	9	0	0	0	10	80	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	125	1
Marzo	30	20	7	15	15	0	0	0	0	1	0	0	0	0	8	0	8	0	0	0	0	0	8	0	0	0	0	50	10	60	0	232	3
Abril	10	10	0	3	40	3	20	2	4	64	4	4	90	0	0	0	85	82	40	7	3	60	0	15	30	2	10	2	0	590	8		
Mayo	0	60	0	0	25	0	0	0	15	130	0	10	0	16	0	8	142	8	2	22	0	0	80	2	3	18	2	2	0	0	605	5	
Junio	0	100	0	0	0	21	25	81	50	25	25	0	32	120	11	6	6	2	0	0	0	10	0	13	0	0	0	65	2	14	608	6	
Julio	41	21	0	0	77	10	10	18	0	0	20	0	20	28	10	0	0	0	0	10	40	20	0	0	47	12	7	90	90	0	571	6	
Agosto	9	4	16	20	12	62	0	6	16	26	8	44	70	0	0	140	0	0	0	6	0	5	13	1	14	0	30	0	15	6	529	5	
Septiembre	34	5	13	0	7	22	2	42	8	0	0	28	12	0	6	58	0	0	90	3	6	6	8	12	0	34	8	8	8	0	420	5	
Octubre	20	0	5	12	11	0	13	0	0	5	0	16	10	0	0	0	52	34	50	3	12	0	9	2	7	105	16	1	0	0	383	4	
Noviembre	0	0	17	23	2	0	4	0	7	13	18	3	0	17	28	0	24	9	8	0	24	15	14	16	0	22	0	60	14	8	346	1	
Diciembre	15	3	3	0	20	2	2	0	7	0	0	0	3	11	14	21	2	0	63	2	2	4	0	0	0	10	26	3	4	0	217	1	
TOTAL	mm/año																														4656	45	

PRECIPITACIÓN ACUMULADA 2023																																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	mm/mes	# eventos
Enero	0	0	46	2	12	22	8	0	84	0	0	5	30	62	0	3	0	8	15	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	301	4	
Febrero	0	0	0	0	0	0	13	0	0	24	0	0	0	0	2	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	59	0	
Marzo	0	0	0	2	0	8	0	6	0	0	0	0	0	0	2	0	8	6	0	0	12	0	20	0	41	0	10	0	0	115	1		
Abril	11	6	0	0	0	0	0	0	0	24	2	5	0	5	0	0	60	17	0	0	38	1	0	0	0	0	0	4	0	0	173	2	
Mayo	0	19	0	14	0	0	0	6	0	7	0	0	0	0	15	22	39	0	0	3	0	0	110	42	2	8	0	0	15	48	10	360	4
Junio	105	1	0	0	0	3	50	20	92	0	0	0	36	0	54	8	42	0	0	0	0	2	38	0	0	38	5	50	0	11	555	9	
Julio	20	0	0	30	0	0	5	16	0	22	17	7																		117	1		
TOTAL																															1680	21	

Tabla 15. Datos precipitación finca Las Tekas. Nuevo Mundo Oleico S.A.S. Autor.

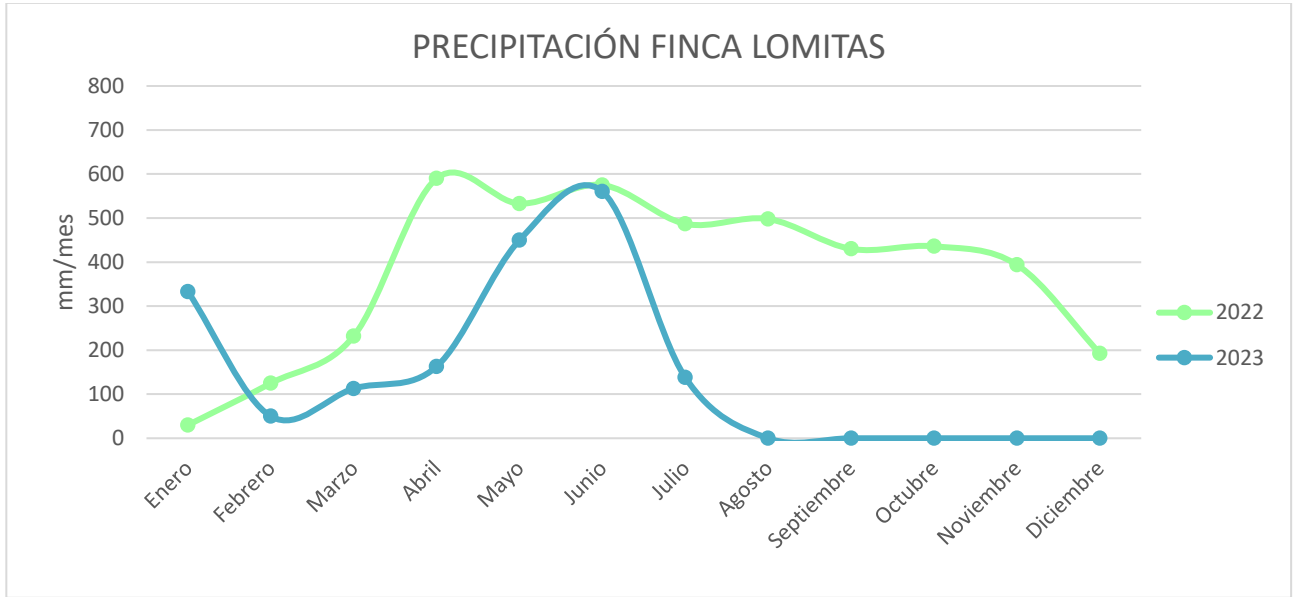


Figura 42. Comportamiento de precipitación finca Lomitas. Nuevo Mundo Oleico S.A.S. Autor.

PRECIPITACIÓN ACUMULADA 2022																																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	mm/mes	# eventos		
Enero	0	0	24	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	30	0	
Febrero	0	0	0	0	0	0	6	0	9	0	0	0	10	80	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	125	1
Marzo	30	20	7	15	15	0	0	0	0	1	0	0	0	0	8	0	8	0	0	0	0	0	0	8	0	0	0	0	50	10	60	0	232	3	
Abril	10	10	0	3	40	3	20	2	4	64	4	4	90	0	0	0	0	85	82	40	7	3	60	0	15	30	2	10	2			590	8		
Mayo	0	68	2	0	18	0	0	0	30	100	1	0	4	10	0	10	106	10	6	20	3	0	60	5	10	15	5	4	0	0	46	533	6		
Junio	4	63	8	8	0	0	23	60	58	27	20	0	23	100	10	6	0	6	0	20	5	10	0	15	40	0	0	0	59	10		575	6		
Julio	41	21	0	0	80	8	10	1	0	0	12	8	18	8	20	0	0	10	5	10	40	20	0	0	75	10	10	80	0			487	5		
Agosto	10	0	20	20	20	40	0	8	15	40	11	45	60	0	0	140	0	0	0	7	0	0	10	0	10	8	0	0	26	0	8	498	5		
Septiembre	35	3	14	0	0	25	3	55	8	0	0	20	10	25	8	60	0	0	80	0	0	4	10	0	40		15	8	7	0		430	5		
Octubre	12	0	0	19	10	0	15	12	0	3	0	22	22	3	2	0	0	50	22	60	10	22	0	10	0	27	105	10	0	0	0	436	3		
Noviembre	0	0	38	36	0	0	2	3	3	12	20	4	0	13	24	9	15	4	23	0	23	20	18	22	3	22	0	60	15	5		394	3		
Diciembre	10	0	0	0	42	0	0	0	4	0	0	6	0	10	5	8	0	0	60	0	8	5	0	0	0	20	15	0	0	0	0	193	2		
TOTAL	mm/año																														4523	47			
PRECIPITACIÓN ACUMULADA 2023																																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	mm/mes	# eventos		
Enero	0	0	40	8	0	23	0	0	98	6	5	0	20	45	0	0	0	5	20	0	0	0	10	8	0	45	0	0	0	0	0	333	4		
Febrero	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	25	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	50	0		
Marzo	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	5	15	0	0	0	0	20	0	60	0	8	0	0	0	113	1			
Abril	15	0	0	0	0	0	0	0	0	30	5	0	0	20	0	0	40	10	0	0	40	0	0	0	0	0	0	3	0	0	163	3			
Mayo	0	22	0	18	0	0	0	12	0	8	0	10	0	0	30	8	40	0	0	20	0	0	110	12	42	10	6	0	10	80	12	450	5		
Junio	110	4	0	0	0	2	44	28	100	4	0	0	32	0	34	10	0	0	0	0	0	4	32	0	0	60	12	80	0	4		560	8		
Julio	30	0	0	30	0	0	14	16	0	20	20	8																				138	2		
TOTAL																															1807	23			

Tabla 16. Datos precipitación finca Lomitas. Nuevo Mundo Oleico S.A.S. Autor.

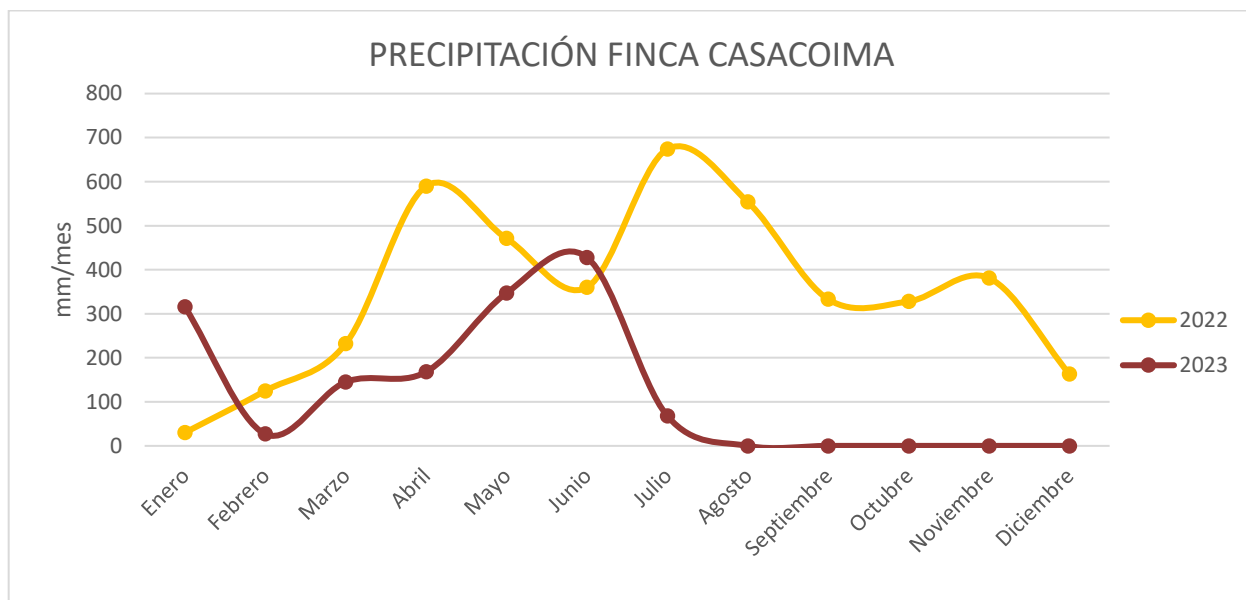


Figura 43. Comportamiento de precipitación finca Casacoima. Nuevo Mundo Oleico S.A.S. Autor.

PRECIPITACIÓN ACUMULADA 2022																																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	mm/mes	# eventos		
Enero	0	0	24	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	30	0	
Febrero	0	0	0	0	0	0	6	0	9	0	0	0	10	80	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	125	1
Marzo	30	20	7	15	15	0	0	0	0	1	0	0	0	0	8	0	8	0	0	0	0	0	8	0	0	0	0	50	10	60	0	232	3		
Abril	10	10	0	3	40	3	20	2	4	64	4	4	90	0	0	0	0	85	82	40	7	3	60	0	15	30	2	10	2			590	8		
Mayo	0	68	2	0	18	0	0	0	30	100	1	0	4	4	6	10	106	10	5	0	0	0	20	0	10	10	0	17	0	0	50	471	5		
Junio	0	59	10	0	4	9	24	49	0	0	49	0	13	60	16	3	0	0	0	11	3	0	0	0	10	0	0	36	2	2	0	360	5		
Julio	39	20	0	0	69	19	9	22	0	0	22	5	38	18	0	0	0	62	5	30	55	25	0	0	105	10	4	115	2	0	0	674	8		
Agosto	10	3	18	17	87	32	0	12	18	15	12	38	43	0	0	142	0	0	0	14	0	5	6	0	34	5	3	0	30	2	8	554	7		
Septiembre	9	0	18	0	18	10	2	16	9	0	0	14	5	0	12	48	0	0	85	0	8	12	8	14	0	17	10	9	9	0		333	2		
Octubre	12	0	3	22	9	0	4	0	0	5	0	40	24	3	0	0	0	55	19	75	2	4	0	6	2	6	21	16	0	0	0	328	3		
Noviembre	0	0	27	21	0	0	0	0	4	0	10	11	0	22	31	41	18	7	5	0	11	18	0	3	0	12	0	95	42	3		381	4		
Diciembre	4	16	0	0	25	0	0	0	0	0	0	5	0	2	8	10	0	0	35	0	0	15	0	0	0	0	38	5	0	0	0	163	2		
TOTAL	mm/año																															4241	48		

PRECIPITACIÓN ACUMULADA 2023																																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	mm/mes	# eventos
Enero	0	0	100	20	0	0	0	0	80	8	8	0	22	30	0	0	0	10	8	0	0	0	14	0	0	15	1	0	0	0	0	316	3
Febrero	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	3	0	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	27	0
Marzo	0	0	2	0	0	18	0	5	0	0	0	0	0	0	4	0	19	17	0	0	23	0	19	0	38	0	0	0	0	0	0	145	1
Abril	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	15	0	23	0	0	18	0	0	0	46	0	0	0	0	0	25	0	10			168	1
Mayo	0	0	0	6	0	0	0	8	0	4	0	2	0	0	25	32	39	0	0	0	0	0	42	65	36	12	9	0	27	32	8	347	6
Junio	34	0	0	0	0	4	23	27	120	0	0	0	30	0	13	8	62	0	0	0	0	0	0	30	0	12	0	65	0	0	428	6	
Julio	13	0	0	15	0	0	3	16	0	14	7																				68	0	
TOTAL																																1499	17

Tabla 17. Datos precipitación finca Casacoima. Nuevo Mundo Oleico S.A.S. Autor.

Como observación, los datos de precipitación de finca Chadó, se omiten del muestreo ya que está finca se encontraba hasta finales del primer trimestre del 2023 adherida a finca Lomitas, por lo que se manejan los mismos datos de precipitación.

3. Análisis foliares:

El análisis foliar es una herramienta esencial para conocer el estado nutricional de la palma OxG (híbrido entre los géneros Oleifera y Guineensis). Los valores adecuados para un cultivo de palma OxG variarán según la edad de la planta, la etapa fenológica, el tipo de suelo y las prácticas agronómicas aplicadas. Estos valores son solo una guía general y pueden variar según las condiciones específicas del cultivo y es de vital importancia realizar análisis foliares periódicos para ajustar la fertilización y asegurar un suministro adecuado de nutrientes a las palmas, para así asegurar un buen estado de crecimiento en la palma y garantizar una buena emisión floral. (Munevar, et ál, 2016)

Los análisis foliares analizados en la tabla 17 muestran el comportamiento de las fincas de área de estudio en el último muestreo realizado, donde los valores de referencia vienen incluidos y se observa que el déficit más latente en la plantación es en el ciclo básico de NPK (Sodio, fosforo y Potasio), Zinc y Boro. Estos elementos, aunque presentan un déficit que se ajusta muy cercano a los valores de referencia, deben ser corregidos por ciclos de fertilización que contribuyan al crecimiento de las hojas, aumento del tamaño del racimo y de la palma, mejorar la calidad del aceite y disminuir la incidencia de enfermedades.

Al relacionar los análisis foliares con las variables climáticas, en este caso, con la precipitación, se puede observar que el aumento de la precipitación en la zona disminuye la posibilidad de realizar con normalidad la labor de fertilización y cumplir con los ciclos establecidos para establecer los requerimientos nutricionales de la plantación, generando así, un comportamiento de disminución en factores de crecimiento de la planta y en la generación de flores y racimos de menor tamaño por el déficit de estos.

N° Laboratorio		VALORES DE REFERENCIA		LA CAJA	NUEVO MUNDO	CASACOIMA	LAS TEKAS	LOMITAS	CHADÓ	SOLEIRA
Identificación	Variedad	HOJA 9	HOJA 17							
		N	%	2,8	2,5	2,10	2,16	2,12	1,90	1,96
P	0,17	0,16		0,14	0,14	0,14	0,13	0,14	0,13	0,13
K	1,3	0,95		0,81	0,83	0,84	0,96	0,88	0,91	0,76
Ca	0,6	0,85		0,79	0,82	0,77	0,76	0,76	0,77	0,68
Mg	0,25	0,24		0,22	0,19	0,25	0,24	0,24	0,25	0,30
S	0,14	0,14		0,15	0,15	0,15	0,13	0,14	0,13	0,14
Cl	0,5	0,5		0,87	0,87	0,75	0,52	0,58	0,48	0,76
Fe	p.p.m.	<70	<75	69,09	82,84	74,06	71,63	75,94	82,69	70,49
Mn		<250	<300	226,68	258,43	208,68	277,20	208,88	258,28	288,96
Cu		7,25	6,25	7,86	6,78	8,07	8,91	9,16	8,11	8,29
Zn		15,25	16	14,33	14,44	13,51	13,91	14,91	12,33	12,61
B		22	22	19,75	13,98	15,40	14,27	13,66	16,97	17,10

Tabla 18. Análisis foliares. Nuevo Mundo Oleico S.A.S. 2022.

4. Análisis Edáficos:

El análisis edáfico permite entender en qué estado se encuentra el suelo de la plantación, conocer bajo qué componentes tiene buena calidad y cuáles presentan un déficit de acuerdo con valores de referencia establecidos para el cultivo de palma. Dentro del análisis de suelo se encuentran variables que permiten, además, tomar decisiones de cómo se está viendo afectada la plantación y qué debo de hacer para mejorarlas. El suelo, el cual es el medio por la cual la planta toma un 80% de sus componentes nutricionales, debe formar parte de los análisis de producción adecuados para entender el comportamiento de la emisión floral y así, entender el por qué las plantas pueden estar presentando señales en su crecimiento, producción, enfermedades y demás.

Las fincas de Nuevo Mundo Oleico presentan una textura Franco Arcillosa y Franca, por los cuáles presentan una proporción entre arena, limo y arcilla, además de tener una buena cohesión en las partículas de suelo. Al ver los análisis nutricionales, se puede observar que presentan buena textura y buen análisis nutricional dentro de su composición.

FINCA	LA CAJA	NUEVO MUNDO	LAS TEKAS	LOMITAS	CASACOIMA	CHADO	SOLEIRA
Profundidad a la cual se tomó la muestra (cm)	30	30	30	30	30	30	30
Textura	F-Ac	F-Ac	F	F	F	F-Ac	F-Ac
Arena	24,21	41,75	41,67	42,20	42,40	41,34	30,27
Limo	37,46	31,20	32,21	34,46	34,97	37,44	33,67
Arcilla	38,33	27,04	26,12	23,34	22,63	21,22	36,05
pH	5,24	5,25	5,18	5,23	5,50	5,53	5,37
Carbono Orgánico	1,47	1,40	1,41	1,57	1,36	1,30	1,38
Materia Orgánica	2,54	2,41	2,43	2,70	2,35	2,24	2,37
Fósforo	6,46	20,93	12,98	9,98	18,54	6,96	2,70
Azufre	12,35	10,75	11,74	10,52	9,85	9,66	7,69
Acidez intercambiable	0,46	1,63	0,93	0,90	0,83		0,74
Aluminio intercambiable	0,29	1,42	0,75	0,72	0,62		0,56
Calcio	14,05	19,25	14,27	12,85	16,46	16,27	7,54
Magnesio	8,02	6,07	5,40	5,03	6,22	5,19	5,99
Potasio	0,38	0,26	0,22	0,22	0,19	0,16	0,16
Sodio	0,16	0,15	0,21	0,15	0,17	0,19	0,09
Capacidad Intercambio Catiónico	25,48	30,71	24,30	23,58	26,29	25,46	18,17
Conductividad eléctrica	0,53	0,31	0,32	0,30	0,38	0,34	0,16
Boro	0,22	0,14	0,13	0,20	0,20	0,23	0,16
Hierro	61,32	23,77	49,48	30,02	18,10	17,33	51,08
Cobre	3,90	3,83	4,85	3,46	3,77	3,32	2,82
Manganeso	29,90	39,25	31,88	32,82	32,90	36,66	45,25
Zinc	2,10	1,28	1,24	1,46	1,32	2,34	1,29
CICE	22,90	26,95	20,85	18,97	23,24	21,80	14,15
Suma Bases	22,61	25,74	20,10	18,25	23,04	21,80	13,78
Sat de Bases	98,58	94,89	96,02	95,90	99,09	100,00	96,82
Sat K	1,65	1,03	1,05	1,18	0,82	0,74	1,14
Sat Ca	62,17	70,88	68,18	67,77	70,79	75,64	53,18
Sat Mg	34,03	22,42	25,79	26,20	26,76	22,77	41,85
Sat Na	0,73	0,56	1,00	0,75	0,72	0,85	0,65
Sat Al	1,42	6,03	3,98	4,10	2,74		4,77
Ca:Mg	1,91	3,32	2,65	2,66	2,65	3,79	1,33
K:Mg	0,05	0,05	0,04	0,05	0,03	0,04	0,03
(Ca+Mg)/K	93,51	107,40	93,43	81,51	119,55	133,41	85,59

Tabla 19. Análisis edáfico de fincas. Nuevo Mundo Oleico S.A.S.

Luego de analizar el comportamiento de las variables externas y cómo influyen en el comportamiento

de la emisión floral en el cultivo de palma OxG, se procede a la fase 4, en la cual se empieza el planteamiento de los mapas de calor para cada una de las fincas. Aquí, se deben de tener las siguientes consideraciones:

- ✓ Para el levantamiento de las áreas de trabajo se hizo un levantamiento topográfico previo a la siembra de la plantación, todo en coordenadas WGS84 y se toma un punto de amarre para esto. Los planos se encuentran en formato AUTOCAD y shape para la manipulación en ambos programas.

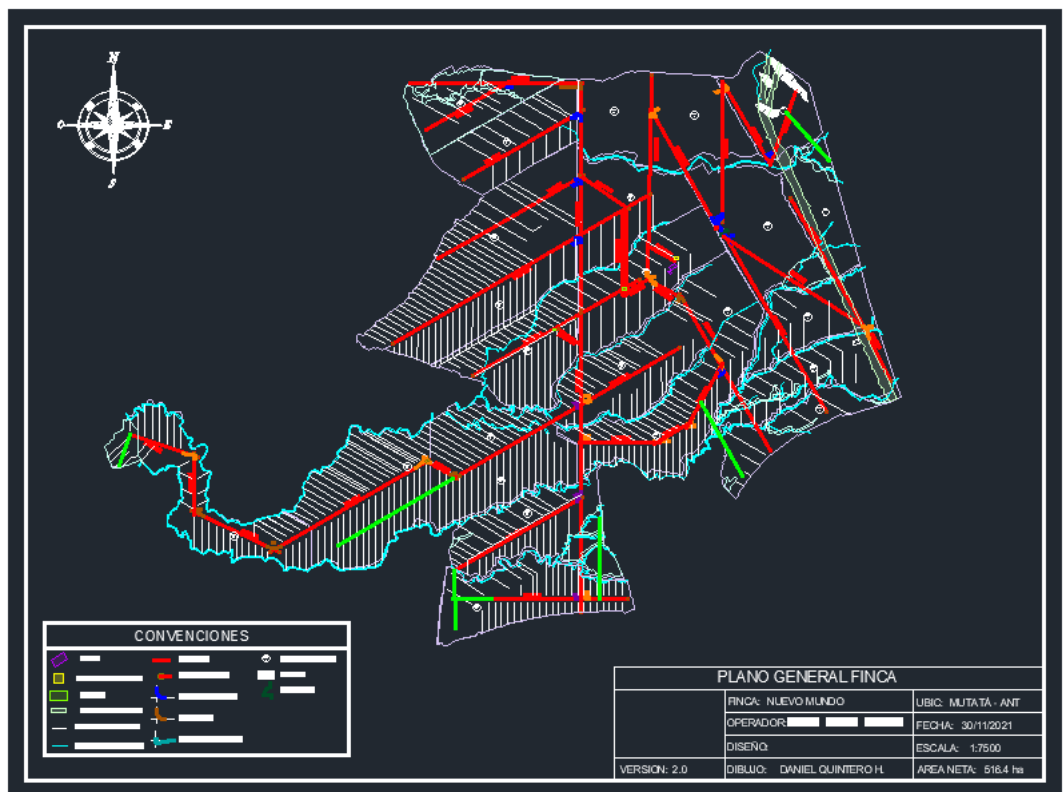


Figura 44. Levantamiento finca Nuevo Mundo. AutoCAD. Autor.

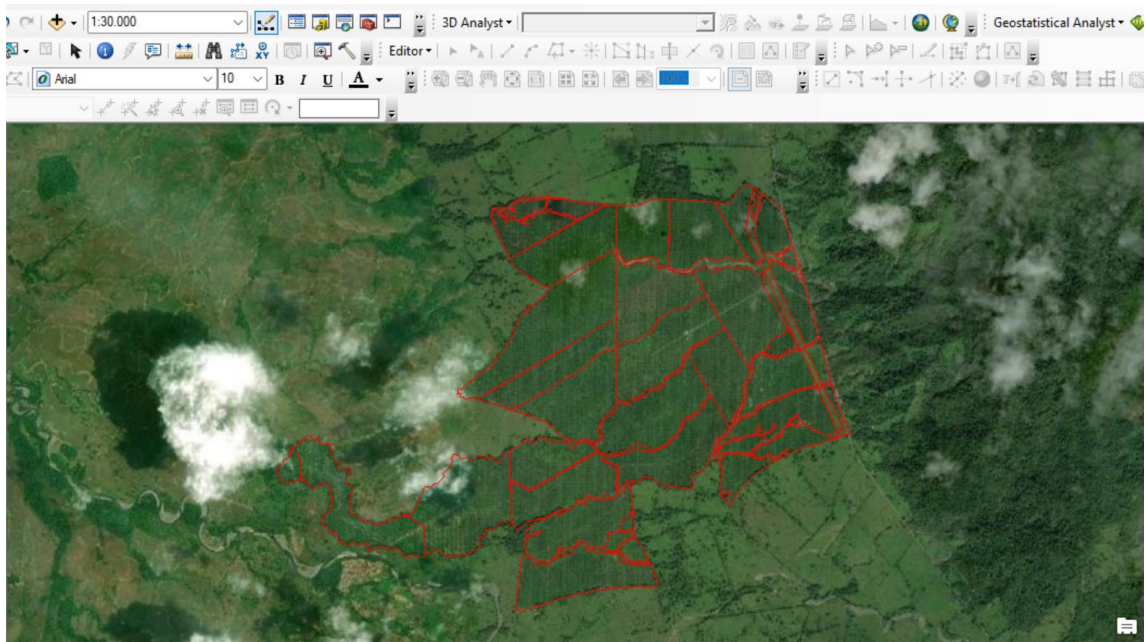


Figura 45. Levantamiento finca Nuevo Mundo. ArcGIS. Autor.

- ✓ Se hace una representación de datos en el mapa de calor de 5 intervalos, con el fin de tener una estimación de datos más cerrada y fácil de entender para la interpretación de los planos por parte de las personas que utilizan los mapas de calor.
- ✓ Se hace una recopilación de datos semanales y la depuración de bases de datos, en dónde se hace la clasificación en unidades de flor palma semana.

Para entender el proceso del paso a paso, se muestra un paso a paso de cómo es la creación de los mapas de calor desde la recopilación de bases de datos hasta su generación.

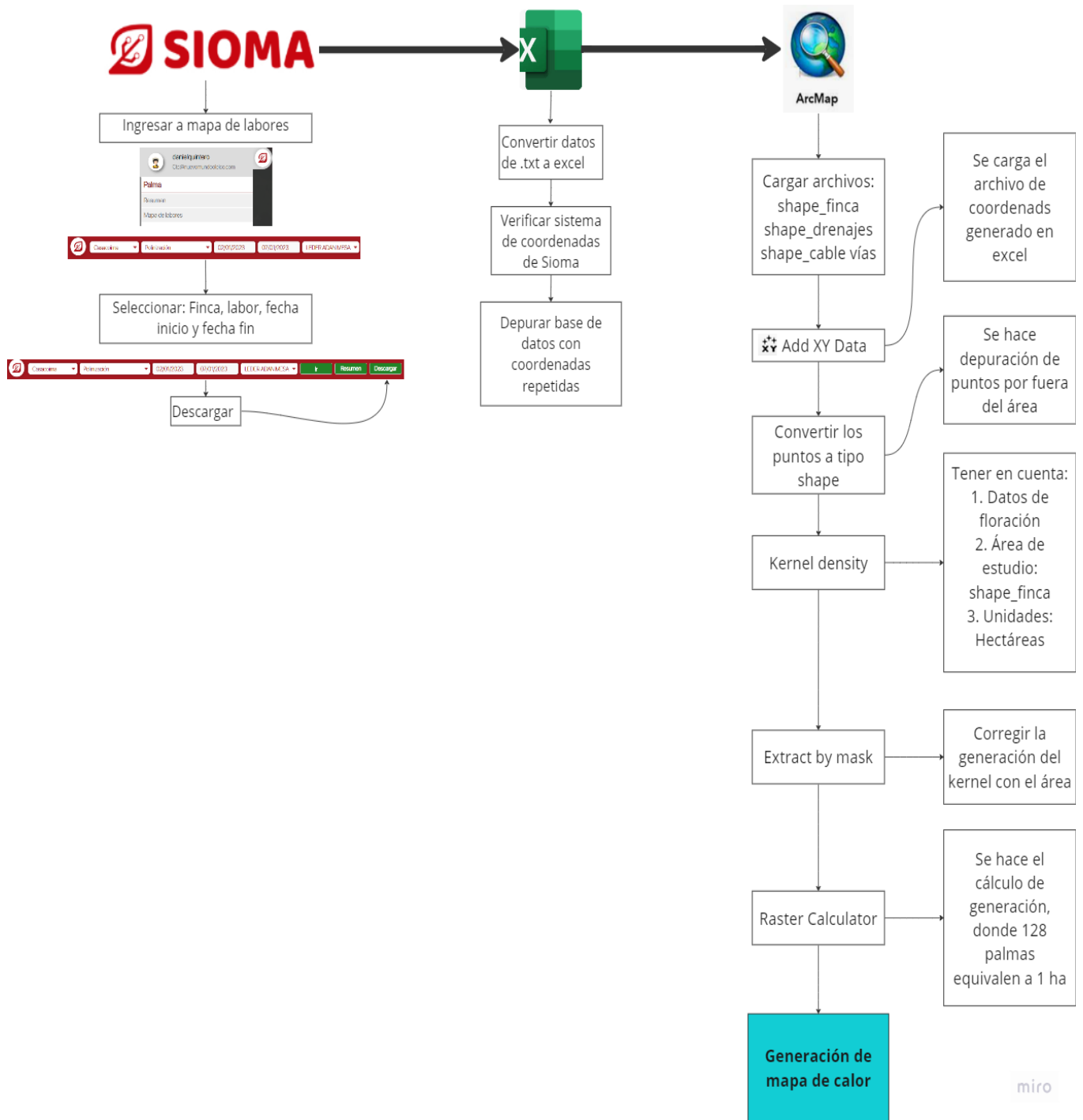


Figura 46. Procedimiento paso a paso para generación de mapa de calor. Autor.

Al realizar el anterior procedimiento buscando establecer los patrones de floración y conocer el comportamiento de la producción en cada área de estudio, se genera un plano como el de la Figura 47, Figura 48, Figura 49, Figura 50 y Figura 51.

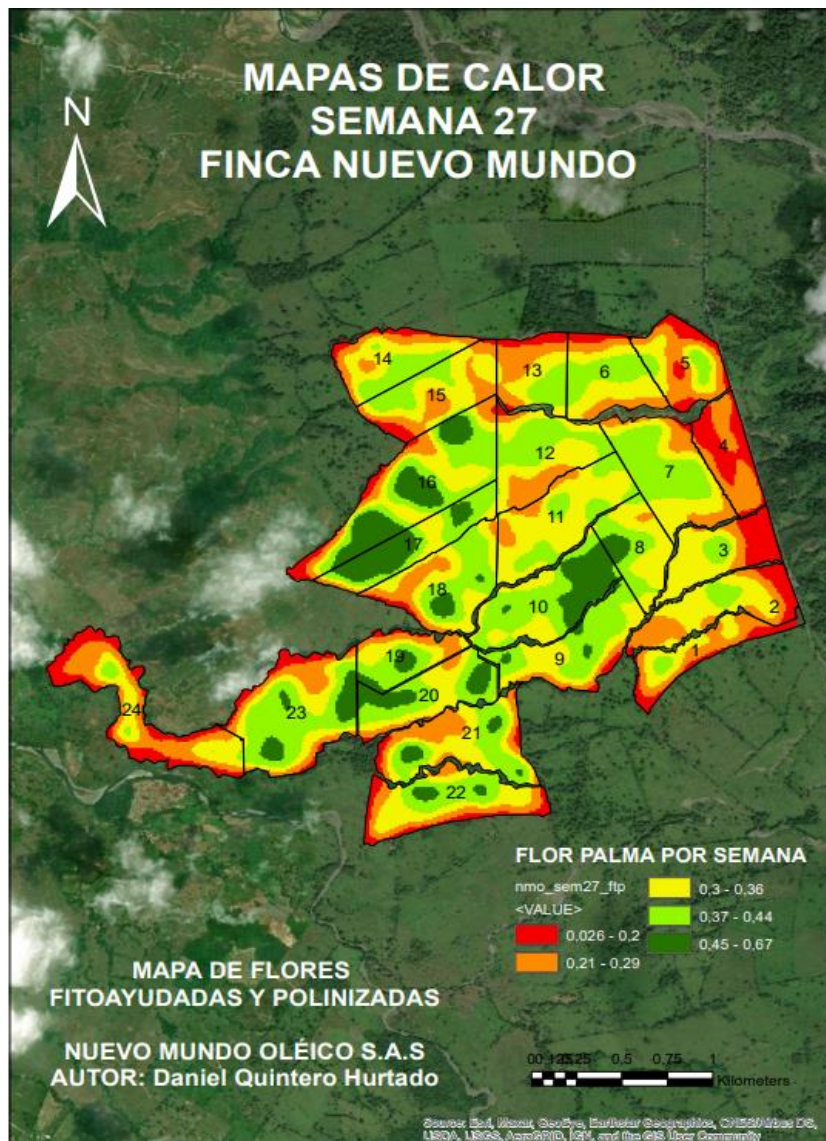


Figura 47. Mapa de calor semana 27. Finca Nuevo Mundo. Nuevo Mundo Oleico S.A.S

Para poder interpretar el mapa de calor, se debe tener en cuenta que la emisión floral mensual en el cultivo de palma, para considerarse una buena producción es de 2 flores por palma, es decir, que, por una semana de análisis, la producción debe estar en 0,5 flores por palma. Observando el mapa de calor de la semana 27 en finca Nuevo Mundo, se tiene un intervalo de producción desde 0,026 flores por palma hasta 0,67 flores por palma.

Las zonas con mayor índice de floración están focalizadas en los lotes 10,16,17,19 y 20, mostrando un intervalo de floración entre el 0,45 a 0,67 flores palma semana, indicando que la emisión floral en estas zonas estuvo por encima de las demás zonas de la finca.

Observando el comportamiento de la baja producción flora, que son las zonas rojas, se observa focalizado en la zona oeste de la finca, en la parte de los lotes 2,3 y 4 esto debido a que es un área donde se encuentra la instalación de cableado eléctrico de la zona, por lo que no se encuentra sembrada en palma; adicional, si se observa en los bordes de la finca, todos son de color rojo, lo cual se ha identificado que ocurre por ciertas variables:

- ✓ El polinizador no llega a los bordes de la finca en su recorrido de área
- ✓ Hay una baja producción de floración por presencia de árboles en la periferia, que genera sombra a las palmas y así no permite que la entrada de sol sea suficiente para su crecimiento.
- ✓ Al ser límite con otras fincas, las cercas o barreras vivas, generan que el crecimiento de la palma no sea el óptimo.

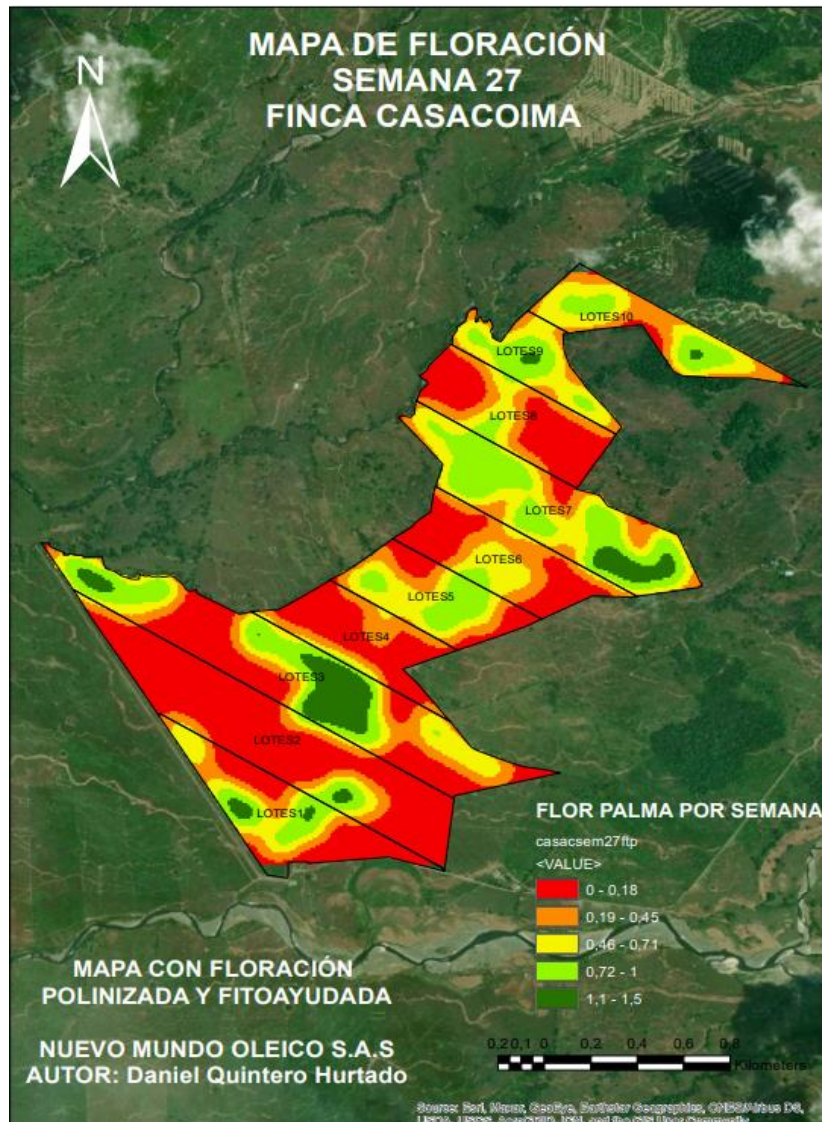


Figura 48. Mapa de calor semana 27. Finca Casacoima. Nuevo Mundo Oleico S.A.S

Al observar la Figura 48 en el análisis de floración de finca Casacoima, se puede observar que el comportamiento de la emisión floral oscila entre los 0,18 a 1,5 flores por palma en la semana 27. A diferencia de la Figura 47 que muestra una mayor área en zonas verdes, para esta finca se presentó una dificultad por parte de la cantidad de operarios realizando la labor de polinización, ya que se tuvo una disminución de mano de obra por la renuncia de personal, lo cual hizo disminuir los cierres de área en casi 50%.

Se debe tener en cuenta, que las áreas intervenidas para la identificación de la floración en esta semana podrán observarse en 24 a 26 semanas listas para la cosecha con un tiempo óptimo de formación de racimo y crecimiento, caso contrario a las flores que no alcanzaron y van a encontrarse a la siguiente semana cuando vuelva a intervenirse todas las demás áreas, pero con la particularidad que ya no tendrá una identificación como una flor polinizada (con mejor formación), sino como una flor fitoayudada, que presentará una menor formación de racimo y su peso no alcanzará a ser el mismo que si se hubiera tomado a tiempo.

Una de las principales causas del no alcanzar a cubrir toda el área de la finca durante la semana es la estabilidad de personal, lo que ocasiona una nueva programación con el personal que aún se encuentra disponible para intervenir las áreas que llevan tiempo sin ser polinizadas.

Por otra parte, si se analiza el mapa de calor generado por la floración productiva de finca La caja, en la Figura 49 se evidencia una emisión floral que va desde 0,021 a 0,66 flores por palma en la semana 25, evidenciándose buen cúmulo de datos con alta floración en el lote 8,22,23 y 25. Sin embargo, se identifica la misma dificultad explicada para la Figura 47 en finca Nuevo Mundo, en donde los bordes de la finca aparecen en rojo con los mismos indicadores de baja floración (baja floración, presencia de barreras vivas que son límite con otras fincas o falta de ingreso por parte del polinizador).

Existe una particularidad en la zona roja presente entre los lotes 17 y 18 de la finca, la cual tiene presencia de una madre vieja (un antiguo brazo del río que cruzaba cerca a esta zona), el cuál imposibilita la ejecución de la labor de la mejor manera por mantenerse constantemente con agua durante el año, además, que cuando se presentan eventos de precipitación altos (considerados dentro de Nuevo Mundo Oleico mayores a 30 mm), el flujo de agua es mucho más alto y la entrada no es posible a esta zona.

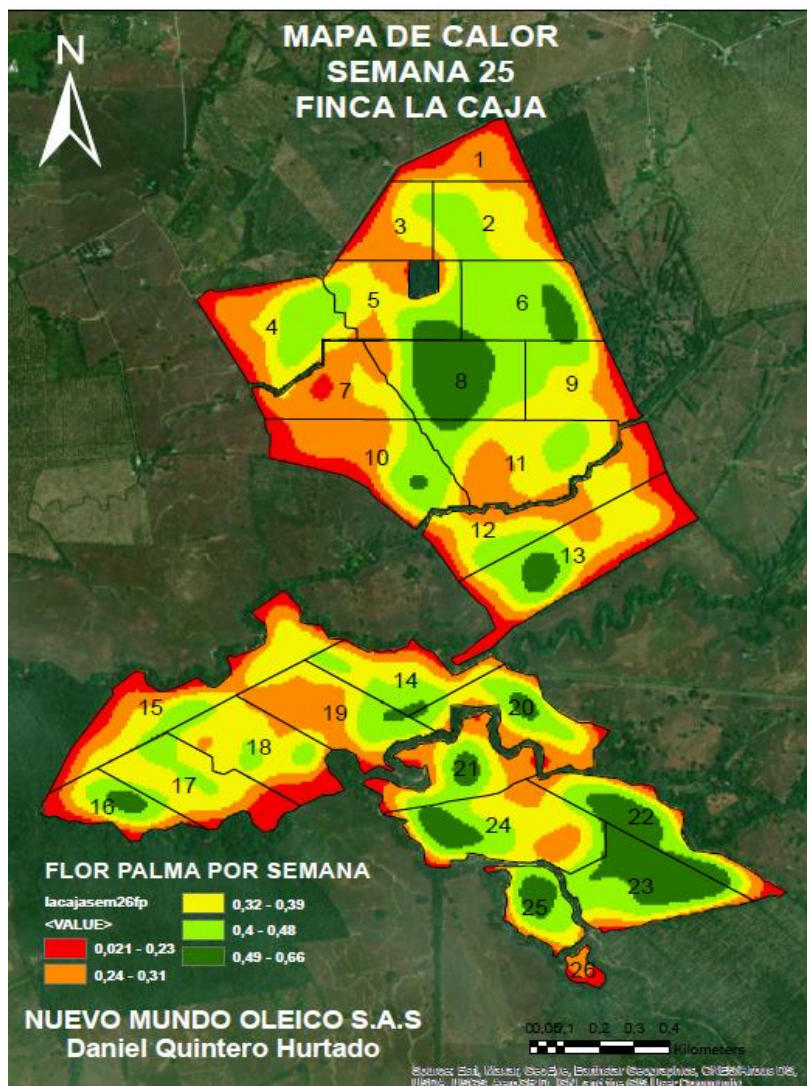


Figura 49. Mapa de calor semana 25. Finca La Caja. Nuevo Mundo Oleico S.A.S

En la figura 50 que representa el mapa de calor de emisión floral de la semana 25 en finca lomas, se evidencia un caso diferente a las demás fincas; en la parte derecha de la imagen se observa que más del 50% de la finca se encuentra en rojo, que, de acuerdo con la escala de colores, representa una baja floración en la zona. Sin embargo, en esta zona ocurrió un caso particular diferente a otras semanas y fue la programación de un área de recuperación para esta semana, ya que se venían presentando varias causas que estaban permitiendo la identificación y polinización de las flores productivas:

- ✓ Durante el transcurso de las semanas 23 y 24, la disminución del personal en el área de polinización aumento en un 56%, lo que ocasiona que las zonas que tenían asignadas para desarrollar su labor fueran abandonadas y sin tener responsable alguno.
- ✓ La mala ejecución de la labor por parte de los operarios se vio reflejada en su rendimiento y

evaluación de la labor por parte del supervisor, lo que ocasiona que se programen jornadas de recuperación de áreas para volver a recorrer el área e identificar todo lo que no se hizo la primera vez. Esto se realiza con el fin de dar una garantía en la identificación de toda la floración que en el periodo de tiempo de formación se convertirá en un racimo.

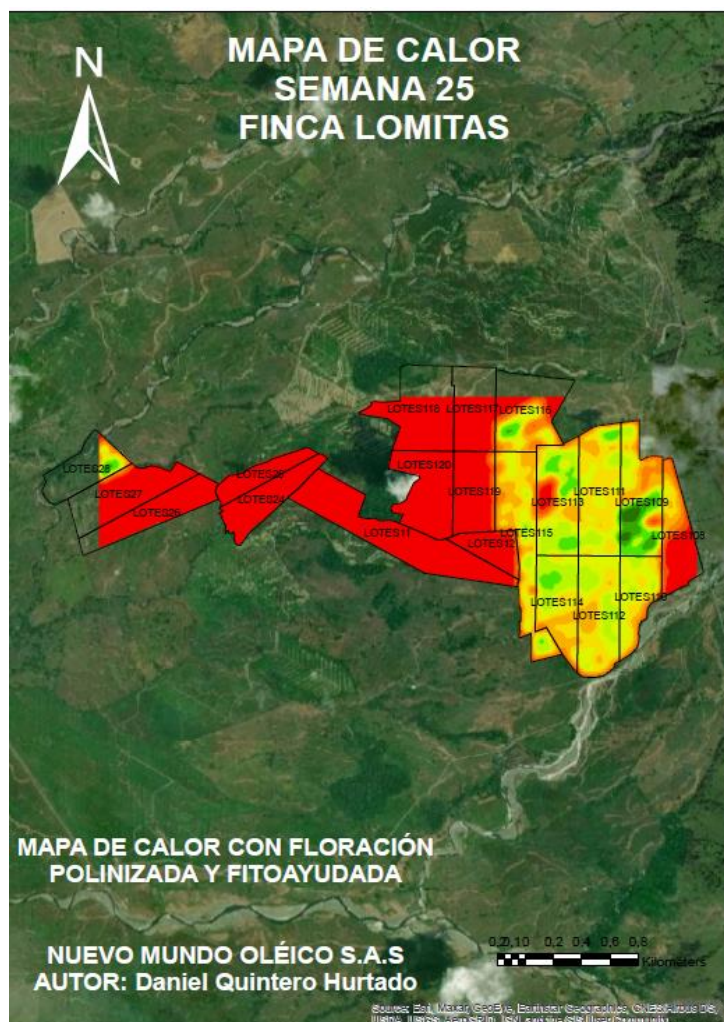


Figura 50. Mapa de calor semana 25. Finca La Caja. Nuevo Mundo Oleico S.A.S

Al analizar la figura 51, se evidencia que el comportamiento de la emisión floral de finca Soleira, oscila entre los 0,11 a 1,14 flores por palma en la semana, focalizando la mayor cantidad en los 2,3 y parte del 4. Por lo general, los lotes de arriba en esta finca presentan una mejor tasa de floración en el transcurso del año, atribuida a mejores condiciones agronómicas y edáficas de la plantación, lo que ha sido facilitado por mejores condiciones del suelo en cuanto a nutrición y por presencia de buenos drenajes en esta parte. Caso contrario que ocurre en los lotes 5,6,7 y 8, que se evidencia que la floración alcanza a llegar hasta los 0,46 flores por palma en una semana; las condiciones en esta

zona se imposibilitan un poco más en época de invierno o en eventos de alta precipitación, debido a su proximidad con el río Bajirá que parte la finca en dos bloques, lo que ocasiona que cuándo hay eventos de precipitación significantes, genera el aumento del nivel del río y por ende su desbordamiento a los lotes aledaños, generando mayor acumulación de agua superficial y las condiciones para generar la labor de polinización se dificulta.

Adicional, la presencia de árboles aledaños al cauce de este río genera competencia entre las palmas, ya que la radiación solar y los nutrientes tienen una distribución para ambos, por lo que la plantación tiende a producir menos flores productivas.

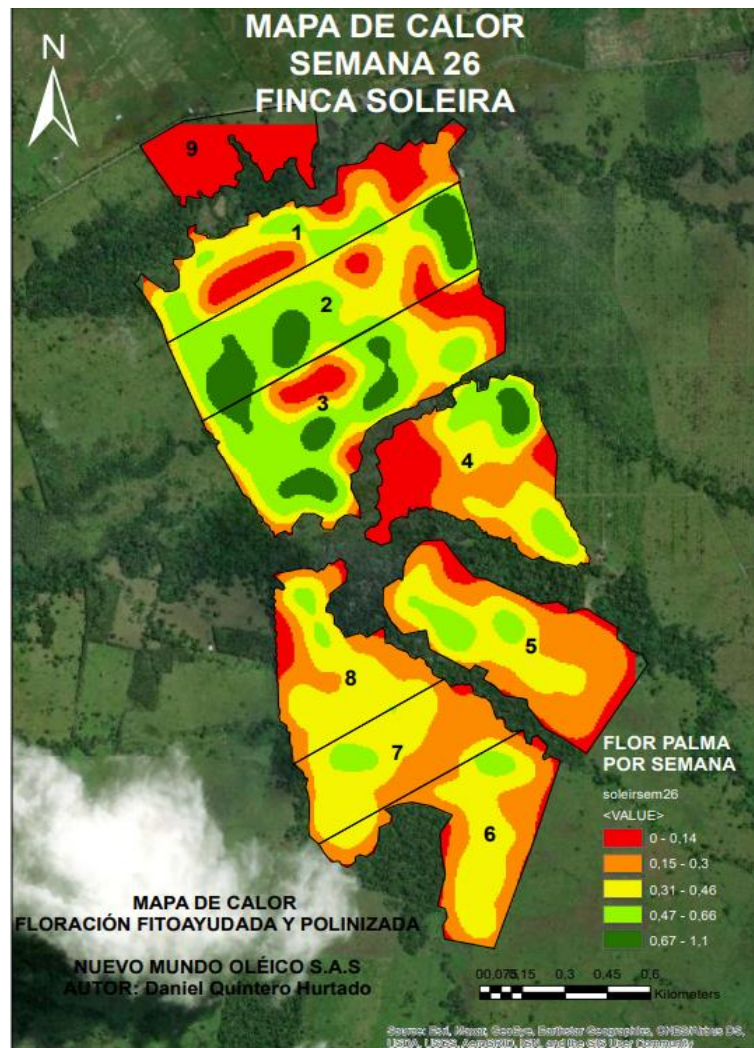


Figura 51. Mapa de calor semana 25. Finca La Caja. Nuevo Mundo Oleico S.A.S

6. Resultados Obtenidos

Objetivos	Resultados esperados	Indicador	Beneficiario
Analizar el comportamiento de los datos históricos de la floración en el cultivo de Palma	Conocer el comportamiento de los datos históricos de floración para la toma de decisiones	Base de datos organizada y generada a partir de los datos obtenidos por SIOMA	Departamento de Agricultura/Gerencia/Grupo Primario de fincas
Establecer patrones en la base de datos para el análisis de productividad	Identificar comportamientos de la información de floración para la toma de decisiones en la productividad	Información de indicadores de patrones obtenidos a partir de la base de datos. Informe de gráficos y base de datos generada a partir de datos de SIOMA.	Departamento de Agricultura/Gerencia/Grupo Primario de fincas
Realizar mapas de calor para las fincas en producción a través de la base de datos	Generar mapas de calor mostrando alta y baja actividad de floración en la zona de estudio	Mapas de calor obtenidos de la base de datos y análisis de patrones.	Departamento de Agricultura/Gerencia/Grupo Primario de fincas
Relacionar variables climáticas, edáficas y temporales en el comportamiento de la floración en el cultivo de Palma.	Conocer el comportamiento de los datos históricos de variables climáticas y edáficas del cultivo	Información de indicadores de patrones obtenidos a partir de la base de datos. Informe de gráficos y base de datos.	Departamento de Agricultura/Gerencia/Grupo Primario de fincas

Tabla 20. Resultados obtenidos.

7. Impactos Generados

Impacto esperado	Plazo	Indicador verificable	Supuestos
Generar una base de datos con datos históricos de forma ordenada para análisis	2 meses	Base de datos históricos	Para lograr el impacto, se debe hacer la depuración de la información que me generé inconvenientes con los análisis
Informe de gráficos y base de datos generada a partir de datos de SIOMA.	8 meses	Generación de informes y archivo programable para futuro análisis de información creada	Analizar modelos estadísticos acordes a la información obtenida, búsqueda en artículos científicos y proyectos ya instaurados para tomar como referente.
Mapas de calor obtenidos de la base de datos y análisis de patrones.	11 meses	Mapa de la zona de estudio de los datos para el análisis de la información	Obtener los intervalos en los que voy a clasificar la información más la generación de un archivo entregable con la información lista
Información de indicadores de patrones obtenidos a partir de la base de datos de variables edáficas, climáticas y demás. Informe de gráficos y base de datos.	8 meses	Base de datos históricos	Para lograr el impacto, se debe hacer la depuración de la información que me generé inconvenientes con los análisis

Tabla 21. Impactos Generados.

8. Cronograma

# FASE	DESCRIPCIÓN	INDICADORES	jun-22				jul-22				ago-22				sep-22				oct-22				nov-22				dic-22			
			sem 1	sem 2	sem 3	sem 4	sem 1	sem 2	sem 3	sem 4	sem 1	sem 2	sem 3	sem 4	sem 1	sem 2	sem 3	sem 4	sem 1	sem 2	sem 3	sem 4	sem 1	sem 2	sem 3	sem 4	sem 1	sem 2	sem 3	sem 4
1	Analizar el comportamiento de los datos históricos de la floración en el cultivo	Consolidar y depurar la base de datos																												
		Seleccionar y separar por tipo de floración, lote y finca																												
		Seleccionar la escala de tiempo																												
2	Establecer patrones en la base de datos para el análisis de productividad	Seleccionar base estadística para analizar el comportamiento de los datos																												
		Graficar y analizar patrones de floración																												
		Comparar análisis de datos para plantear hipótesis																												
3	Relacionar variables climáticas, edáficas y temporales en el cultivo	Consolidar y depurar la base de datos históricos																												
		Seleccionar y separar por escala, tipo de dato y finca																												
		Seleccionar la escala de tiempo																												
4	Realizar mapas de calor a través de la base de datos	Identificar áreas y perímetros del cultivo																												
		Identificar intervalos de representación																												
		Identificar el modelo para la interpolación de datos																												

Tabla 22. Cronograma 2022.

# FASE	DESCRIPCIÓN	INDICADORES	ene-23				ene-23				feb-23				mar-23				abr-23				may-23				jun-23				jul-23					
			sem 1	sem 2	sem 3	sem 4	sem 1	sem 2	sem 3	sem 4	sem 5	sem 6	sem 7	sem 8	sem 9	sem 10	sem 11	sem 12	sem 13	sem 14	sem 15	sem 16	sem 17	sem 18	sem 19	sem 20	sem 21	sem 22	sem 23	sem 24	sem 25	sem 26	sem 27	sem 28		
1	Analizar el comportamiento de los datos históricos de la floración en el cultivo	Consolidar y depurar la base de datos																																		
		Seleccionar y separar por tipo de floración, lote y finca																																		
		Seleccionar la escala de tiempo																																		
2	Establecer patrones en la base de datos para el análisis de productividad	Seleccionar base estadística para analizar el comportamiento de los datos																																		
		Graficar y analizar patrones de floración																																		
		Comparar análisis de datos para plantear hipótesis																																		
3	Relacionar variables climáticas, edáficas y temporales en el cultivo	Consolidar y depurar la base de datos históricos																																		
		Seleccionar y separar por escala, tipo de dato y finca																																		
		Seleccionar la escala de tiempo																																		
4	Realizar mapas de calor a través de la base de datos	Identificar áreas y perímetros del cultivo																																		
		Identificar intervalos de representación																																		
		Identificar el modelo para la interpolación de datos																																		

Tabla 23. Cronograma 2023.

9. Conclusiones

- ✓ La interpretación de los datos de emisión floral para la toma de decisiones en producción permite tener un panorama claro del cómo se está comportando la plantación. Se debe garantizar que, para hacer una estimación adecuada de la producción y las toneladas, se debe tomar de manera mensual el peso promedio de racimo y se considera que se multiplica la cantidad de flores productivas (flores polinizadas y fitoayudadas) por este para tener los kilogramos totales estimados. Siempre al conocer la floración total del mes presente, vamos a poder estimar de una forma aproximada los kilogramos totales en 24 a 26 semanas.
- ✓ El cultivo de palma de aceite es una actividad económica importante en la región de Urabá, contribuyendo significativamente al empleo y al PIB local, además de presentar ciertas ventajas frente al cultivo convencional, como una mayor productividad, menor uso de agroquímicos, menores costos de producción y menor impacto ambiental.

Sin embargo, el cultivo de palma de aceite OxG también plantea ciertos desafíos, como la necesidad de una alta tecnificación y capacitación por parte de los productores, la inversión en equipos especializados y tecnología, y el seguimiento riguroso de las Buenas Prácticas Agrícolas para garantizar la calidad del producto. Pero el reto más grande se ha convertido en la estabilidad del personal, en dónde establecerlo y darle continuidad por un periodo mayor de 6 meses dificulta que el seguimiento de la labor de polinización, como en las demás, tengan una periodicidad y registro adecuado en los datos.

Se hace una recomendación de buscar maneras y alternativas de interesar al personal nuevo que ingrese y a la comunidad de ser partícipes de las labores agrícolas en el cultivo, mostrando su importancia en el desarrollo de su comunidad y cómo una oportunidad de crecimiento personal dentro de la compañía.

- ✓ La polinización de la palma de aceite es de suma importancia, considerando que del éxito que se tenga en el número de flores polinizadas dependerá la producción de aceite de los racimos, con el consecuente beneficio para la agroindustria. En el caso de híbrido interespecífico OxG (*Elaeis oleifera* x *Elaeis guineensis*) a pesar de tener una alta producción de racimos de fruta fresca, la tasa de extracción de aceite es inferior a la de *E. guineensis* bajo condiciones de polinización natural, y ello se debe a la baja eficiencia de polinización (fruit set) que presenta el híbrido interespecífico. Sin embargo, esto se puede contrarrestar con la implementación de la polinización asistida, que consiste en hacer una

aplicación manual de polen, con lo que se logra mejorar la eficiencia del híbrido y aprovechar el potencial productivo de este material.

- ✓ Al hacer el análisis de los datos desde la plataforma SIOMA se logra evidenciar que el seguimiento de las labores y el registro de la floración por parte de los polinizadores cumple un papel importante a la hora de hacer una interpretación de la información proveniente de cada finca, sin embargo, existe una brecha a corregir en la tabulación de los datos y corrección de la información debido a marcaciones por fuera del área o en el lugar de acopio de los JACOS.

Esta información altera el flujo de los datos dentro de la clasificación de flores productivas y no productivas dentro del día a día de la labor, por lo cual se sugiere crear un apartado dentro de cada área de la finca que se llame “OFICINA”, para que el registro que realizan dentro de esta pueda depurarse de una manera más fácil a la hora de consolidar la información.

- ✓ Al identificar el comportamiento de la floración dentro del cultivo de palma, se evidencia que siempre va a existir un pico y un valle de floración, los cuales tienen implicaciones para la producción y la calidad del aceite. Durante un pico de floración se requiere una mayor cantidad de polen y mayor mano de obra, por lo que el seguimiento de la emisión en floral se complica en todos los aspectos. Es allí donde es indispensable contar con un personal estable dentro de la finca para garantizar una buena llegada a todas las áreas en la finca y así conocer en 24-26 semanas cuánta producción total se tendrá y conocer una estimación de los ingresos en ese periodo de tiempo.
- ✓ La integración de los datos obtenidos con mapas de calor con otras técnicas de análisis, como la medición de variables como humedad, precipitación, temperatura, entre otros, y la evaluación visual del estado de las plantas, permite obtener una visión completa y detallada del estado del cultivo. Esto favorece la toma de decisiones informadas y la implementación de medidas preventivas y correctivas adecuadas para el manejo del cultivo.
- ✓ La región de Urabá se ve influenciada por su localización entre el mar caribe y el océano pacífico, durante la época seca se presentan los vientos Alisios provenientes del mar Caribe, mientras que durante la época húmeda o época de lluvias la zona se ve afectada por los vientos provenientes del Pacífico que penetran por el sur y suroeste dejando su humedad en forma de altos niveles de precipitación en las cercanías de Mutatá.

Al observar la precipitación presentada en las fincas de Nuevo Mundo Oleico, se puede evidenciar que el foco principal de sequía se ve marcado en el primer trimestre del año, especialmente en el mes de febrero; sin embargo, esta falta de precipitación no tiene incidencia en el continuo crecimiento de la plantación, ya que, durante el año, se presentan meses de hasta 5900 mm, lo que permite que no haya déficit hídrico en la plantación.

- ✓ Los mapas de calor son una herramienta útil y efectiva para el monitoreo labores en los cultivos de palma OxG. A través de la información suministrada por el polinizador y con la integración de la información de los jacos en su labor diaria, se puede hacer un seguimiento de cómo es el comportamiento de la emisión floral de las plantaciones en las fincas de Nuevo Mundo Oleico, permitiendo, además, hacer un seguimiento a la labor para poder verificar que se encuentre ejecutando la labor de la mejor forma.
- ✓ El análisis de densidad de Kernel es una técnica estadística que permite visualizar la densidad de datos en una variable continua y se puede utilizar para interpretar el patrón de floración en un área determinada del cultivo. Al conocer los patrones a través de la modelación de los mapas de calor con el análisis de KDE, se podrán hacer intervenciones tempranas dentro del área de la finca, para así poder abarcar toda la emisión floral que realmente está en campo y poder generar una trazabilidad de esta.

10. Referencias

1. Ávila, R., Daza, E., Navia, E., & Romero, H. M. (2016). Response of various oil palm materials (*Elais guineensis* and *Elais oleifera* × *Elais guineensis* interspecific hybrids) to bud rot disease in the southwestern oil palm-growing area of Colombia. *Agronomía Colombiana*, 34(1), 74–81. <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v34n1.53760>
2. Amat, 2021. Ajuste de distribuciones con kernel density estimation y Python available under a Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) at <https://www.cienciadedatos.net/documentos/pystats02-ajuste-distribuciones-kde-python.html>
3. Ayala, I. M., & Romero, H. M. (2019). Cultivares híbrido OxG y la reactivación productiva de zonas con problemáticas de PC. En: *XV Reunión Técnica Nacional de Palma de Aceite*, Bucaramanga, Colombia.
4. Cooman et ál., 2021. Referenciación competitivo al proceso de polinización artificial en cultivares híbridos interespecíficos OxG: Coari x La Mé. Boletín Técnico No. 40. Centro de Investigación en Palma de Aceite – Cenipalma. Bogotá, abril 2021.
5. Corley, R., & Tinker, P. (2008). *The Oil Palm* (four edition). Word Agriculture Series.
6. Corley, R.V.H.; Tinker, P.B. 2009. La palma de aceite. Cuarta edición (versión en español). Fedepalma. Bogotá (Colombia). 604 p
7. Corporación para el Desarrollo Sostenible del Urabá - CORPOURABA (1988). Estudio de factibilidad presa de aprovechamiento múltiple sobre el río Chigorodó. Sodeic Ltda. Ingenieros consultores e interventores. Anexo A Climatología y Anexo B Hidrología.
8. Corporación para el Desarrollo Sostenible del Urabá - CORPOURABA (2012). Plan de Gestión Ambiental Regional 2012 - 2024 Versión 02. Tomado de: <http://corpouraba.gov.co/sites/default/files/R-PG-01PGARAPROBADO.pdf>
9. Daza, E., Ayala-Díaz, I., Ruiz-Romero, R., & Romero, H. M. (2020). Effect of the application of plant hormones on the formation of parthenocarpic fruits and oil production in oil palm interspecific hybrids (*Ealey's oleifera* Cortés x *Ealey's guineensis* Jacq.). *Plant Production Science*, 1–9. Tomado de: <https://doi.org/10.1080/1343943X.2020.1862681>
10. Ecoforest, 2018. AJUSTE DEL PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA DEL RÍO LEÓN SZH (1201) LOCALIZADA EN EL DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA EN JURISDICCIÓN DE LA CORPORACIÓN PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE DEL URABÁ (CORPOURABA). Fase diagnostico caracterización del medio físico. Clima.
11. Fitzgerald, GJ; Rodríguez, D; Christensen, LK; Belford, R; Sandras, VO; Clarke, TR. 2006. Spectral and thermal sensing for nitrogen and water status in rainfed and irrigated wheat environments. *Precision Agriculture* 7: 233-248
12. Forero, D., Hormaza, P., Moreno, L., Ruiz, R., & Romero, H. M. (2012).

- Generalidades sobre la morfología y fenología de la palma de aceite.* Bogotá, Colombia: Cenipalma
13. González-Cárdenas, A. (2016). La agroindustria de la palma de aceite en América. *Palmas*, 37(Especial Tomo II), pp. 215-228.
 14. Guataquira, S., Mesa, E., Ruiz, R., & Romero, H. (2019). Evaluación de la viabilidad y germinabilidad del polen durante la labor de polinización asistida en campo. *Palmas*, 40(1), 13-20.
 15. Hacienda La Cabaña. 2009. Multimedia: Palma de aceite alto oleico (híbrido OxG), en colaboración con Cirad, Fedepalma y Convenio Alianza en Palma.
 16. Hormaza, P.A.; Forero, D.C.; Ruiz, R.; Romero, H.M. 2011. Fenología de la palma de aceite africana (*Elaeis guineensis* Jacq.) y del híbrido interespecífico (*Elaeis oleifera* [Kunt] Cortes x *Elaeis guineensis* Jacq.). Corporación Centro de Investigación en Palma de Aceite (Cenipalma). Bogotá.
 17. JMP Statical Discovery, 2023. Mapas de calor. Consultado 21 de junio del 2023. Portal de formación estadística. Una introducción online gratuita a la estadística. Disponible en: https://www.jmp.com/es_co/statistics-knowledge-portal/exploratory-data-analysis/heatmap.html
 18. Martins, L.H.; Miranda, I. P.; Nunes, C. D., 2003. Morfología polínica de populações Amazônicas de *Elaeis oleifera*. *Acta Amazónica* 33(2): 159-166.
 19. M. E. Tarter & R. A. Kronmal (1976), “An Introduction to the Implementation and Theory of Nonparametric Density Estimation”, *The American Statistician*, 30 (3), 105. Disponible en: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/00031305.1976.10479153?journalCode=utas20>
 20. Montealegre, J. (2014). Actualización del componente meteorológico del modelo institucional del IDEAM sobre el efecto climático de los fenómenos El Niño y La Niña en Colombia, como insumo para el Atlas Climatológico. Bogotá: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM. Organización Meteorológica Mundial – OMM (2011) Guía de prácticas hidrológicas. Ginebra, Suiza
 21. Mosquera, M., Ruiz, E., Castro, L. E., López, D. F., & Munévar, D. E. (2019). Estimación del costo de producción para productores de palma de aceite de Colombia que han adoptado buenas prácticas agrícolas. *Palmas*, 40(2), 3–15. http://web.fedepalma.org/sites/default/files/files/Fedepalma/estudio_costos_final_2017_2018.pdf
 22. Mosquera, M., Fontanilla, C. A., & Alarcón, W. H. (2008). Comparación entre cosecha individual y en grupo en una plantación colombiana de palma de aceite. *Palmas*, 29(2), 11–16.
 23. Mosquera, M., Valderrama, M., Ruiz, E., López, D., Castro, L. E., & González, M. A. (2018). Costos económicos de producción para el fruto de palma aceitera y el

- aceite de palma en 2016: estimación para un grupo de productores colombianos. *Palmas*, 39(2), 13–26
24. Múnevar, F.; Franco, P.; Arias N.; 2016. Guía general para el muestreo foliar y de suelos en cultivos de palma de aceite Tercera edición. Boletín Técnico No. 37. Bogotá, Colombia.
 25. Romero Hernán M., Araque Leonardo y Forero Diana. La Agricultura de Precisión en el manejo del cultivo de la palma de aceite, *PALMAS* Vol. 29 No. 1 (pp 12-21) (2008)
 26. Romero, H. M., Daza, E., Ayala-Díaz, I., & Ruiz-Romero, R. (2021). High-Oleic Palm Oil (HOPO) Production from Parthenocarpic Fruits in Oil Palm Interspecific Hybrids Using Naphthalene Acetic Acid. *Agronomy*, 11(290), 1–18. <https://doi.org/10.3390/agronomy11020290>
 27. Romero, H., Daza, E., Urrego, N., Rivera, Y., & Ávila, R. (2018). La polinización artificial con reguladores de crecimiento incrementa la producción de aceite en híbridos interespecíficos OxG. XIX Conferencia Internacional sobre Palma de Aceite, Cartagena
 28. Ruíz, E., Fontanilla, C., Mesa, E., Mosquera, M., Molina, D. y Rincón, A. (2015). Prácticas de manejo y costos de producción de la palma de aceite híbrido OxG en plantaciones de la Zona Oriental y Suroccidental de Colombia. *Palmas*, 36(4), 11-29
 29. Ruiz, R., Daza, E., Calpa, A., & Romero, H. (2020). Mezcla de ácido naftalenacético y polen, ¿se puede considerar una alternativa para la obtención de frutos normales dentro de la polinización artificial en el híbrido *Elaeis oleifera* x *Elaeis guineensis*? *Palmas*, 41(2), 38–47.
 30. Sánchez, Á., Daza, E., Ruiz, R., & Romero, H. (2011). *Polinización asistida en palma de aceite. Tecnologías para la agroindustria de la palma de aceite: guía de facilitadores* (1ª. Ed.). Bogotá, Colombia: Cenipalma.
 31. Sánchez, Rodríguez Ángela; Daza, Édison; Ruiz, Romero Rodrigo; Romero, Angulo Hernán Mauricio. 2011. Polinización asistida en palma de aceite. *Tecnologías para la agroindustria de la palma de aceite: guía para facilitadores*. Bogotá (Colombia). 168 p.
 32. Silverman, BW Estimación de densidad para estadísticas y análisis de datos. Nueva York: Chapman and Hall, 1986.
 33. SIOMA, 2023. Guía de manejo de Jacos. Apartadó, Antioquia.

A. Anexo:

- ✓ CARTA APROBACIÓN DE INFORMACIÓN SIOMA
- ✓ CARTA APROBACIÓN DE INFORMACIÓN NUEVO MUNDO OLEICO
- ✓ CONSOLIDADO POLINIZACIÓN 2022-2023
- ✓ REGISTRO DE PRECIPITACIÓN
- ✓ REGISTRO COORDENADAS FLORACIÓN 2022-2023
- ✓ MAPAS DE CALOR

