

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DE SUROCCIDENTE
CARRERA DE INGENIERÍA EN AGRONOMÍA TROPICAL



INFORME FINAL DE INVESTIGACIÓN INFERENCIAL

**Evaluación de cinco concentraciones de ácido alfa naftalenacético “A.N.A.”
sobre el rendimiento(kg/ha) de fruto de *Elaeis guineensis* Jacq. Arecaceae
“Palma africana” en Finca San Nicolás, Escuintla.**

Por:

Luis Fernando Elías Reyes

Carné: 201530031

CUI:3386 82538 1001

eliasreyesluisfernando@gmail.com

Mazatenango, Suchitepéquez, abril 2025

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DE SUROCCIDENTE

M.A. Walter Ramiro Mazariegos Biolis

Rector

Lic. Luis Fernando Cordón Lucero

Secretario General

**MIEMBROS DEL CONSEJO DIRECTIVO DEL CENTRO UNIVERSITARIO DE
SUROCCIDENTE**

M.A. Luis Carlos Muñoz López

Director en Funciones

REPRESENTANTE DE PROFESORES

MSc. Edgar Roberto del Cid Chacón

Vocal

REPRESENTANTE GRADUADO DEL CUNSUROC

Lic. Vílser Josvin Ramírez Robles

Vocal

REPRESENTANTES ESTUDIANTILES

TPA. Angélica Magaly Domínguez Curiel

Vocal

PEM y TAE. Rony Roderico Alonzo Solís

Vocal

COORDINACIÓN ACADÉMICA

MSc. Bernardino Alfonso Hernández Escobar
Coordinador Académico

Dr. Álvaro Estuardo Gutierrez Gamboa
Coordinador Carrera Licenciatura en Administración de Empresas

M.A. Rita Elena Rodríguez Rodríguez
Coordinadora Carrera de Licenciatura en Trabajo Social

Dr. Nery Edgar Saquimux Canastuj
Coordinador de las Carreras de Pedagogía

MSc. Víctor Manuel Nájera Toledo
Coordinador Carrera Ingeniería en Alimentos

MSc. Martín Salvador Sánchez Cruz
Coordinador Carrera Ingeniería Agronomía Tropical

MSc. Karen Rebeca Pérez Cifuentes
Coordinadora Carrera Ingeniería en Gestión Ambiental Local

MSc. Tania María Cabrera Ovalle
Coordinadora Carrera de Licenciatura en Ciencias Jurídicas y Sociales
Abogacía y Notariado

Lic. José Felipe Martínez Domínguez
Coordinador de Área

CARRERAS PLAN FIN DE SEMANA

Lic. Néstor Fridel Orozco Ramos
Coordinador de las carreras de Pedagogía

M.A. Juan Pablo Ángeles Lam
Coordinador Carrera Periodista Profesional y
Licenciatura en Ciencias de la Comunicación

DEDICATORIA

A:

Dios:

Fuente de mi fortaleza, sabiduría y perseverancia, por guiarme en cada paso, darme fuerzas en los momentos difíciles y bendecirme con las oportunidades y personas que han sido clave en este camino.

Mi Madre:

Blanca Lorena Argueta Reyes, mi mayor inspiración y fortaleza. Su amor incondicional, sacrificio y apoyo han sido la base de mis logros. Gracias por creer en mí, por ser mi refugio y mi mayor motivación. Esta meta es tan suya como mía.

Mi hermano:

Luis Miguel Elías Reyes que, aunque no está físicamente, sigue presente en mi corazón y en cada uno de mis logros

Mis profesores:

Todos los docentes desde nivel primario hasta la universidad, por compartir su conocimiento, inculcarme valores y ser guías en mi formación. Cada enseñanza ha sido un pilar en mi crecimiento académico y personal.

AGRADECIMIENTOS

A:

La Universidad de San Carlos de Guatemala, especialmente al Centro Universitario de Suroccidente –CUNSUROC–, por permitirme formarme profesionalmente. A la Carrera de Agronomía y sus docentes, por su enseñanza y guía, fundamentales en mi desarrollo académico y profesional.

Mi asesor al Ing. José María Tamath Mérida por su invaluable apoyo, consejos y acompañamiento, especialmente en los momentos más difíciles de este proceso.

Gracias a Grupo HAME Escuintla por contribuir a mi formación profesional y brindar apoyo financiero esencial para el éxito de esta investigación.

A la administración de la finca San Nicolás, por su apoyo incondicional desde el inicio, facilitando los recursos y el acompañamiento necesarios para el desarrollo de este proceso.

Al área de aplicación de ANA, por compartir sus conocimientos y contribuir a mi formación en esta labor, y en especial a Edgar Pérez, por su apoyo incondicional a lo largo de todo el proceso de investigación.

A Olga Marina González por estar siempre presente, tanto en los buenos como en los momentos más difíciles, acompañando a mi madre y a mí con cariño y fortaleza.

A mis amigos a cada uno por nombre, por su apoyo, compañía y palabras de aliento a lo largo de este proceso. Su amistad ha sido un pilar fundamental en mi camino. Sobre todo, agradezco a Eliu Valenzuela, Bryan Saloc y Leonel Meneses por su incondicional respaldo, motivación y por estar siempre presentes en los momentos más importantes.

ÍNDICE DE GENERAL

Contenido	Página
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. JUSTIFICACIÓN.....	2
III. MARCO TEÓRICO.....	3
1. Marco conceptual.	3
1.1 Generalidades del cultivo de <i>Elaeis guineensis</i>	3
1.2 Origen del cultivo de <i>Elaeis guineensis</i>	3
1.3 Clasificación taxonómica de <i>Elaeis guineensis</i>	4
1.4 Características morfológicas de <i>Elaeis guineensis</i>	5
1.4.1 Morfología.	5
1.4.2 Raíz.....	5
1.4.3 Tronco o estípite.Z	6
1.4.4 Hojas.	6
1.4.5 Inflorescencias.	7
1.5 Variedades del cultivo de <i>Elaeis guineensis</i>	8
1.5.1 Dura.....	8
1.5.2. Pisífera.	8
1.5.3 Tenera.	8
1.5.4. Variedad Dami.....	9
1.5.5. Variedad IRHO (CIRAD).....	9
1.5.6. Variedad Ghana.	9
1.6 Requerimientos agroecológicos de <i>Elaeis guineensis</i>	10
1.7 Polinización de <i>Elaeis guineensis</i>	11
1.8 Ácido alfa naftalenacético “A.N.A.”	12
1.8.1. Generalidades de ácido alfa-naftalenacético “A.N.A.”.....	13
1.8.2. Propiedades de ácido alfa-naftalenacético “A.N.A.”.....	13
1.8.3. Mecanismo de acción de ácido alfa-naftalenacético “A.N.A.”.....	14
1.8.4. Características de ácido alfa-naftalenacético “A.N.A.”.	14
1.8.5. Tipo de aplicación de ácido alfa-naftalenacético “A.N.A.”.	14
1.8.6. Toxicidad de ácido alfa-naftalenacético “A.N.A.”.....	15
1.8.7. Enercrop.....	15

1.9	Antecedentes de otras investigaciones.....	16
1.10	Función de ácido alfa naftalenacético “A.N.A.” en <i>Elaeis guineensis</i> . ..	17
2.	Marco referencial.....	18
2.1.	Localización geográfica.....	18
2.2.	Mapa de la unidad de práctica.	18
2.3.	Croquis de la unidad de práctica.....	19
2.4.	Material experimental.....	19
2.4.1.	Plantas.	19
2.4.2.	Hormona sintética.	20
2.5.	Zona de vida y clima.	21
2.6.	Suelo.....	21
2.7.	Hidrología.....	21
2.8.	Precipitación pluvial.	22
2.9.	Producción histórica en finca San Nicolás.	22
2.10.	Investigaciones sobre el uso de ácido alfa-naftalenacético	22
IV.	OBJETIVOS	24
1.	Objetivo general.	24
2.	Objetivos específicos.....	24
V.	HIPÓTESIS.....	25
1.	Hipótesis nula.....	25
2.	Hipótesis alternativa	25
VI.	MATERIALES Y MÉTODOS	26
1.	Recursos.	26
1.1	Recursos físicos.....	26
1.2	Recursos humanos.	26
1.3	Recursos financieros.	26
2.	Metodología.....	27
2.5.	Manejo del experimento.....	38
2.5.1.	Preparación del área experimental.....	38
2.5.2.	Labores culturales dentro del área experimental.....	39
2.5.3.	Preparación de ácido alfa-naftalenacético “A.N.A.”	42
2.5.4.	Equipo para la aplicación ácido alfa-naftalenacético “A.N.A.”.	43

2.5.5. Aplicación de mezcla (ácido alfa-naftalenacético + talco).	43
2.5.6. Cosecha.	47
VII. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	48
VIII. CONCLUSIONES.....	87
IX. RECOMENDACIONES	88
X. REFERENCIAS	89
XI. ANEXOS	92

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Contenido	Página
1.	Condiciones edafoclimaticas de E. guineensis.....	10
2.	Descripción de los tratamientos evaluados.	27
3.	Datos de las aplicaciones en el área experimental.	44
4.	Resultados de rendimiento de fruto en Kg/Ha en los dos cortes.....	48
5.	Resultado de ANCOVA al 5% para el rendimiento de fruto en kg/Ha.	52
6.	Prueba de medias Tukey 5% para peso promedio de racimo en kilogramo.	53
7.	Resultados de peso promedio de racimos en kilogramos.	55
8.	Análisis de covarianza de peso promedio en kilogramos.....	58
9.	Prueba de medias Tukey 5% para peso promedio de racimo en kilogramo.	60
10.	Resultados de porcentaje de extracción de aceite.	62
11.	Datos transformados de porcentaje de aceite.	65
12.	Análisis de covarianza en la variable porcentaje de concentración de aceite.	66
13.	Análisis de laboratorio del porcentaje de aceite de la empresa grupo HAME.	67
14.	Resultados de rendimiento de aceite en kilogramos por hectárea.	68
15.	Análisis de covarianza de rendimiento de aceite en kilogramos por hectárea.	69
16.	Resultados de días a maduración de después de aplicación “A.N.A.”	71
17.	ANCOVA de variable días promedio a maduración después de aplicación. ...	74
18.	Prueba de Tukey 5% para días a maduración después de la aplicación.	75
19.	Costos de mano de obra en la aplicación de ANA.	76
20.	Costos de insumos en la aplicación de ANA.....	77
21.	Costos de aplicación por tratamiento en \$ por hectárea.	78
22.	Costos totales de aplicación por tratamiento en quetzales por hectárea.	80
23.	Comparación de tratamientos en base al rendimiento de aceite en kg/Ha.....	82
24.	Comparación de tratamientos sobre aceite obtenido por el peso promedio....	84

ÍNDICE DE FIGURAS

Figuras	Contenido	Página
1.	Formula estructural de ácido alfa naftalenacético.	13
2.	Presentación de un quintal de Acido alfa naftalenacético "A.N.A."	15
3.	Mapa de la finca	18
4.	Croquis de la unidad de práctica.	19
5.	Unidad experimental de la investigación.	28
6.	Distribución de los tratamientos evaluados en la unidad experimental.	29
7.	Plantas evaluadas en cada tratamiento con mezcla ("A.N.A." + talco).	45
8.	Cantidad de racimos evaluados en la investigación por tratamiento.	45
9.	Gramos de mezcla ("A.N.A." + talco) por tratamiento.	46
10.	Resultados de rendimiento de fruto en Kilogramos por hectárea.	48
11.	Resultados de rendimiento en kg/Ha en dos cosechas.	50
12.	Resultado de peso promedio de racimos en kilogramos por tratamiento.	55
13.	Resultados de peso promedio de racimos en dos cosechas realizadas.	57
14.	Resultados del porcentaje de extracción de aceite del fruto.	62
15.	Porcentaje de extracción de aceite en las dos cosechas realizadas.	64
16.	Resultado de rendimiento de aceite en kilogramos por hectárea.	68
17.	Resultados de días a maduración después de la aplicación.	71
18.	Días promedio a maduración de las dos cosechas realizadas.	72
19.	Costos de aplicación de ácido alfa-naftalenacético en dólares por hectárea. .	78
20.	Costos de mano de obra e insumos de tratamientos evaluados.	79
21.	Costos de aplicación por hectárea en Quetzales.	81
22.	Costos de mano de obra e insumos en Quetzales.	81
23.	Comparación de tratamientos en base al rendimiento de aceite en kg/Ha.	83
24.	Comparación de tratamientos del peso de aceite promedio por racimo.	85
25.	Preparación de mezcla de A.N.A. con talco.	92
26.	Presentación del ácido alfanaftalenacético "ANA"	92
27.	Proceso de secado del talco (tecnosilix).	93
28.	Proceso de pesado de la mezcla (ácido alfanaftalenacético "ANA" + talco). ..	93
29.	Proceso de agitación de la mezcla.	94
30.	Material preparado para la aplicación.	94
31.	Preparación del equipo para la aplicación.	95
32.	Aplicación de la mezcla de A.N.A. con talco.	95
33.	Identificación del racimo aplicado.	96
34.	Fruto de palma aplicado con ácido alfanaftalenacético "ANA" + talco.	96
35.	Peso de residuo de mezcla aplicada.	97
36.	Frutos de palma africana de la investigación cosechados.	97
37.	Equipo utilizado para pesa de frutos de palma africana.	98
38.	Medición de variables.	98
39.	Rotulación para racimos enviados a laboratorio.	99
40.	Peso de los frutos enviados al laboratorio.	99

RESUMEN

La investigación en la finca San Nicolás, ubicada en Tiquisate Escuintla, se centró en optimizar la producción y el rendimiento del cultivo de *Elaeis guineensis* a través del uso de ácido alfa-naftalenacético “A.N.A.”. Esta finca abarca 2,021.89 hectáreas, que incluyen plantaciones de las variedades DAMY, IRHO y GHANA, donde se realizan todas las labores para el apto desarrollo del cultivo.

El estudio evaluó la eficacia de cinco concentraciones de “A.N.A.” (0%, 2%, 4%, 6% y 8%) evaluando variables respuestas como el rendimiento en kilogramos por hectárea, peso promedio de los racimos, el porcentaje de extracción de aceite y días a maduración después de aplicación. Los resultados mostraron que las concentraciones de 2% y 4% de “A.N.A.” fueron las más efectivas. A un 2%, “A.N.A.” acelera la maduración, reduciendo el tiempo de cosecha sin aumentar costos; a un 4%, optimiza el rendimiento de aceite por hectárea, logrando el mejor equilibrio entre productividad y costo de aplicación.

“A.N.A.”, una auxina sintética, actúa promoviendo la elongación y división celular, lo que facilita un mayor desarrollo y peso de los frutos, contribuyendo a un rendimiento óptimo. Sin embargo, concentraciones superiores al 4% no ofrecieron beneficios adicionales, sugiriendo que el uso de “A.N.A.” debe limitarse a estas dosis para maximizar la eficiencia sin incurrir en gastos innecesarios.

Esta investigación no solo proporciona una base científica para el uso adecuado de “A.N.A.” en la finca San Nicolás, adaptándose a sus condiciones climáticas y de suelo, sino que también ofrece recomendaciones valiosas que pueden aplicarse en otras fincas dedicadas al cultivo de africana *Elaeis guineensis*, mejorando la productividad y reduciendo el uso de insumos en condiciones diversas.

SUMMARY

The research conducted at San Nicolás Farm, located in Tiquisate, Escuintla, focused on optimizing the production and yield of *Elaeis guineensis* through the use of alpha-naphthaleneacetic acid (A.N.A.). This farm spans 2,021.89 hectares, including plantations of DAMY, IRHO, and GHANA varieties, where all necessary agronomic practices are carried out to ensure optimal crop development.

The study evaluated the effectiveness of five A.N.A. concentrations (0%, 2%, 4%, 6%, and 8%), analyzing response variables such as yield in kilograms per hectare, average bunch weight, oil extraction percentage, and days to maturation after application. The results showed that the 2% and 4% concentrations of A.N.A. were the most effective. At 2%, A.N.A. accelerates maturation, reducing harvest time without increasing costs; at 4%, it optimizes oil yield per hectare, achieving the best balance between productivity and application cost.

A.N.A., a synthetic auxin, promotes cell elongation and division, facilitating greater fruit development and weight, which contributes to optimal yield. However, concentrations above 4% did not provide additional benefits, suggesting that A.N.A. application should be limited to these doses to maximize efficiency without incurring unnecessary expenses.

This research not only provides a scientific basis for the proper use of A.N.A. at San Nicolás Farm, adapting to its climatic and soil conditions, but also offers valuable recommendations that can be applied to other farms cultivating *Elaeis guineensis*, enhancing productivity while reducing input usage under diverse conditions.

I. INTRODUCCIÓN

El casco de finca San Nicolás se ubica en el kilómetro 159 carretera RD ESC - 34, ruta a Nueva Concepción, Escuintla. La Finca San Nicolás cuenta con 2,021.89 hectáreas en producción del fruto de *Elaeis guineensis*, en donde se tiene establecido el cultivo con tres variedades que son DAMY, IRHO y GHANA. En finca la se realiza las actividades y labores para mejorar la producción de fruto de *Elaeis guineensis*, los cuales son las fertilizaciones y fertirriego, control de plagas, control de enfermedades, control de malezas, riego, podas fitosanitarias y aplicación de ácido alfa-naftalenacético “A.N.A”.

Elaeis guineensis tiene una gran importancia en Guatemala, tanto económica como socialmente, al ser uno de los cultivos de mayor crecimiento en el país, ya que no solo genera empleo en zonas rurales, sino que también contribuye significativamente a la economía mediante la exportación de aceite de palma y sus derivados. En el contexto de la investigación que se realizó, está centrada en el uso de ácido naftalenacético “A.N.A” para optimizar la producción, es fundamental comprender cómo mejorar los rendimientos y calidad de los frutos, adaptándose a las condiciones específicas de la región.

El ácido alfa-naftalenacético “A.N.A”, se empezó a aplicar en el año 2022 en una concentración de 4% aplicándose un mes después de la floración, el cual ayuda a uniformar el desarrollo de racimos, mejorar la calidad del fruto, y maximizar la extracción de aceite. En este documento se evalúa si la concentración actual de “A.N.A” es óptima para la finca, mediante un diseño experimental de bloques completos al azar que compara concentraciones de 0%, 2%, 4%, 6% y 8%, analizando variables como el peso de racimos y la extracción de aceite, así mismo realizar una comparación de costos por aplicación por cada uno de los tratamientos, realizandose en ocho meses iniciando en el mes de noviembre de 2023 y finalizando en junio de 2024.

La investigación contribuyó a optimizar el uso de ácido alfa-naftalenacético “A.N.A.” en el cultivo de *Elaeis guineensis*. Sus hallazgos permitieron identificar estrategias para mejorar el rendimiento del fruto, maximizando la extracción de aceite y tomando en cuenta los costos de aplicación. Estos resultados tienen un impacto directo sobre el efecto de la hormona en el fruto de *Elaeis guineensis* y ofrecen una base sólida para su aplicación en otras plantaciones bajo condiciones similares.

II. JUSTIFICACIÓN

La información generada por esta investigación no solo beneficiará directamente a la finca San Nicolás, sino que también tendrá el potencial de impactar positivamente a otras fincas dedicadas al cultivo de *Elaeis guineensis*. Los resultados contribuirán al desarrollo de prácticas más eficientes en el uso del ácido alfa-naftalenacético (ANA), adaptadas a diversas condiciones climáticas y edáficas propias de distintas regiones productoras.

Al establecer la concentración óptima de ANA, se podrá demostrar con mayor claridad su impacto positivo en el rendimiento del cultivo. Esto permitirá que las fincas optimicen sus prácticas agronómicas al aumentar la productividad de las plantaciones, evitar el uso innecesario de insumos y garantizar un manejo sostenible. Además, estos hallazgos podrán ser adoptados como referencia para mejorar la competitividad y la sostenibilidad de la industria en el ámbito local y regional.

III. MARCO TEÓRICO

1. Marco conceptual.

1.1 Generalidades del cultivo de *Elaeis guineensis*.

La palma africana de aceite, también llamada "palma aceitera", es una planta monocotiledónea y es el cultivo oleaginoso que mayor cantidad de aceite produce por hectárea; puede llegar a tener un rendimiento de tres a cinco toneladas métricas de aceite de palma por hectárea y de 600 a 1,000 kg de aceite de palmiste. Es un cultivo perenne y su producción, con rentabilidad variable, puede durar hasta 50 años, su producción inicia a los tres años de sembrado, produce comercialmente durante 25 años.

Sus mejores producciones se dan entre los ocho a 10 años, para luego estabilizarse. Cada palma en condiciones adecuadas puede producirse entre 80 y 230 kilogramos de racimos por cosecha, después de cosechado el fruto se envía a las industrias procesadoras para la extracción de aceite. Este transporte debe darse en un tiempo corto debido a que el fruto puede acidificarse, factor que reduce enormemente la calidad del aceite. (Minelli, 2004)

1.2 Origen del cultivo de *Elaeis guineensis*.

La palma de aceite es una planta tropical propia de climas cálidos que crece en altitudes de 0 a 500 msnm. Su nombre científico es *Elaeis guineensis* Jac. Su origen se ubica en el golfo de Guinea en el África occidental por eso su denominación popular es palma africana de aceite.

Su introducción a América se atribuye a los colonizadores y comerciantes de esclavos portugueses, que la usaban como parte de su dieta alimenticia. El registro histórico de la palma de aceite es escaso. Clusius en 1,605 expuso que la palma se encontraba en la costa de Guinea y que el fruto, después de añadirle la harina de cierta raíz era usado por los portugueses de San Thomé para alimentar a sus esclavos durante todo el viaje a América (García, 2006).

Borrero (2012) también menciona que los frutos de la palma formaban parte de la dieta alimenticia de muchos pobladores de la franja tropical africana y al llegar a suelo americano, traían consigo frutos que posteriormente dieron origen a las primeras poblaciones de palma, tal como sucedió en San Salvador, Brasil, que al parecer fue el primer centro de adaptación y propagación espontánea de la palma.

1.3 Clasificación taxonómica de *Elaeis guineensis*.

Hutchinson (2006) ha clasificado la palma africana como:

Reino = Plantae

División = Fanerógamas

Tipo = Angiosperma

Clase = Liliopsida

Sub-clase = Monocotiledóneas

Orden = Arecales

Familia = Arecaceae

Género = *Elaeis*

Especie = *guineensis* y *oleífera*

La palma de aceite pertenece al orden Arecales y a la familia Arecaceae, una de las mayores monocotiledóneas, con más de 190 géneros y 2,364 especies. Esta familia está dividida en cinco subfamilias: Calamoidae, Nipoideae, Coriophoidae, Ceroxyloideae y Arecoideae; en esta última está la tribu Cocoseae, y la subtribu Elaeidinae a la que pertenece el género *Elaeis* formado por la especie *Elaeis guineensis* Jacq, habitualmente popular como palma africana (ASD, 2006).

1.4 Características morfológicas de *Elaeis guineensis*.

1.4.1 Morfología.

La morfología es el estudio de la forma de las plantas en todas sus partes que sirven para diferenciar, estudiar o identificar de otras especies.

1.4.2 Raíz

El sistema radical de la palma de aceite es fasciculado, es decir, que a partir de la emergencia de la plántula esta emite una radícula que es reemplazada pronto por las raíces fasciculadas (adventicias), que salen del punto de unión entre la radícula y el hipocótilo. Las raíces se originan en la base ensanchada del tronco, se ramifican y extienden a diferentes distancias y profundidades.

Poseen raíces de anclaje, raíces primarias, raíces secundarias, raíces terciarias. Las raíces en su mayor parte son horizontales. Se encuentran en los primeros 50 cm del suelo, las raíces primarias descienden en el suelo y algunas llegan hasta a 4.5 m de la superficie, el número es muy variado y continúan produciéndose a lo largo de la vida de la palma. La distribución de raíces en el suelo depende grandemente de las condiciones de suelo. Las raíces se encuentran en las interlíneas, como a 3 o 4 m de la palma (ASD, 2006).

Las funciones principales de la raíz son:

- ❖ Absorción de agua y minerales (nutrientes) del suelo.
- ❖ Anclaje del cuerpo de la planta.
- ❖ Traslocación del agua y minerales al tallo y de algunos productos fotosintéticos más allá del tronco

1.4.3 Tronco o estípite.

Un solo punto de crecimiento (Tronco), es de forma cilíndrica y cubierto con las bases de las hojas de los años anteriores, el diámetro es normalmente de 45-68 cm, la circunferencia es más o menos de 355 cm, pero la base comienza más gruesa. La proporción anual de elongación del tronco está entre 35 -75 cm (En Malasia hay un promedio de elongación de 45 cm anuales). Con este crecimiento en altura de las palmas la cosecha de la fruta llega a ser muy difícil ya después de 15 años. Los cruces interespecíficos entre *E. guineensis* y *E. oleífera* han tenido un incremento en el crecimiento anual muy bajo y han atraído el interés de los fitomejoradores (ASD, 2006).

Las funciones del tronco:

- ❖ El soporte de las hojas y su exposición sistemática (Filotaxia) para maximizar la intercepción de la luz por las hojas.
- ❖ El soporte de inflorescencias tanto masculinas como femeninas.
- ❖ La traslocación de agua, minerales y productos de la fotosíntesis.
- ❖ El almacenamiento de nutrientes y líquidos sirve de reservorio o depósito.

1.4.4 Hojas.

Bajo condiciones normales, el tronco sostiene entre 40 y 56 hojas. Produce entre 20 a 30 hojas por año. Usualmente se obtiene una proporción de 3 hojas por cada racimo producido. La mayoría de las palmas adultas producen un promedio entre dos y tres hojas nuevas cada mes. Las hojas son de color verde, tienen un largo de 6 a 8 m y están arregladas en espirales sobre el tronco. Si se mira desde arriba, se observa que en la mayoría de las palmas el espiral del estípite corre en sentido de las agujas del reloj de arriba hacia abajo.

El eje de la hoja se divide en una parte basal o más ancha, en cuyos bordes aparecen espinas planas, gruesas, agudas y un raquis en el que se insertan los folíolos (ASD, 2006).

Las partes de una hoja de palma son:

- ❖ base de la hoja.
- ❖ peciolo.
- ❖ raquis.
- ❖ foliolos.

1.4.5 Inflorescencias.

Las especies de *Elaeis* tienen inflorescencias axilares unisexuales, las primeras aparecen aproximadamente a los tres años y a partir de esa edad hay una por cada hoja que se abre. La relación ideal entre flores femeninas y masculinas es de 3:1. En las palmas adultas la flor está formada 33 - 34 meses antes de la antesis. El sexo de las inflorescencias de la palma aceitera es diferenciado 20 meses antes de que se haga visible en la palma (ASD, 2006).

La inflorescencia masculina de la palma aceitera está constituida por un raquis carnoso con espigas de 12-20 cm de longitud de forma aproximadamente cilíndrica. Cada espiga reúne entre 600 y 1200 pequeñas flores. El polen es de forma tetraédrica y de color amarillo y desprende un fuerte olor a anís. La cantidad de polen producido por una inflorescencia es entre 25 y 30 gramos, y éste es formado y liberado en un periodo 2 - 3 días después de que se ha completado la antesis. La inflorescencia femenina está constituida por un raquis central sobre el cual están distribuidos en espirales espigas que terminan en una punta dura. Las flores femeninas tienen tres estigmas carnosos, de colores blanco cremoso mientras son receptivos, y luego color rosado o rojo, hasta que se secan. La receptibilidad de los estigmas dura más de dos o tres días. (ASD, 2006).

El fruto y el racimo: El fruto es una drupa sésil cuya forma varía desde casi esférica a ovoide o alargada y un poco más gruesa en el ápice, su longitud varía desde 2-5 centímetros, el pericarpio del fruto consta del exocarpio exterior o piel, el mesocarpio o pulpa y el endocarpio o cuesco. **Pigmentos del fruto:**

- Frutos negruzcos antes de la madurez, adquieren color rojo al menos su parte inferior.

- Frutos verdosos antes de la madurez, luego van tomando un color rojo claro, más o menos intenso.
- Formación de carotenoides en la pulpa cuando llega a madurar, lo que da al aceite un color rojizo.

1.5 Variedades del cultivo de *Elaeis guineensis*.

1.5.1 Dura.

El porcentaje de mesocarpio de la fruta es variable; usualmente se encuentra en el rango de 35 - 50 %, pero en el material hallado en el Lejano Este (Deli dura) puede alcanzar 65 %. El endocarpio mide de 2 - 8 mm y tiene un anillo de fibras alrededor de este, el endospermo es usualmente largo. El contenido de aceite del mesocarpio en proporción al peso del racimo, pero es bastante bajo de 17 - 18 % (ASD, 2006).

1.5.2. Pisífera.

Este tipo de fruta se caracteriza por la ausencia de endocarpio, los vestigios de endocarpio están representados por un anillo de fibras alrededor del endospermo. Las pisíferas son usualmente descritas como hembras estériles, puesto que la mayoría de los racimos abortan en los primeros estados de desarrollo. Por esto es usado como padre, aunque se ha sugerido que ciertas pisíferas podrían ser usadas en escala comercial (ASD, 2006).

1.5.3 Tenera.

También se encontró un híbrido intervarietal, Tenera, obtenido mediante el cruzamiento artificial controlado de palmas de la variedad Dura (usadas como madre) con polen de palmas de la variedad Pisífera (usadas como padres). Endocarpio delgado con grosores de 0.5 mm a 4 mm alrededor del cual se observa un anillo de fibras. La proporción de mesocarpio es relativamente alta, usualmente se encuentra entre un rango de 60 - 96 %. Las palmas Teneras generalmente producen más racimos que las palmas duras, aunque el tamaño promedio de los racimos es más pequeño (ASD, 2006).

Las variedades dura y pisifera son básicamente los dos materiales usados en el mejoramiento genético de la palma aceitera además de los cruces interespecíficos de *E. guineensis* con la *E. oleífera*, dando como resultado una palma híbrida (ASD, 2006).

Existen variedades utilizadas en Guatemala las cuales son:

1.5.4. Variedad Dami.

Originaria de África, es reconocida por su resistencia y buena adaptación a diferentes condiciones de cultivo, especialmente en climas tropicales. Su uso en mejoramiento genético ha contribuido a desarrollar materiales que maximizan el rendimiento del aceite y minimizan el crecimiento excesivo, lo que permite un cultivo más eficiente.

1.5.5. Variedad IRHO (CIRAD).

Desarrollada por el *Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement* (CIRAD, 2001), esta variedad se utiliza ampliamente en Latinoamérica debido a sus altos rendimientos de aceite y su robustez frente a enfermedades comunes en la palma de aceite. La investigación de CIRAD en 2001 ha permitido mejorar la genética de esta variedad para obtener palmas más compactas y de alto rendimiento, adecuadas para plantaciones intensivas (CIRAD, 2001)

1.5.6. Variedad Ghana.

Esta variedad es conocida por su alta productividad de racimos y un buen porcentaje de aceite extraíble. Las palmas de origen Ghana suelen tener un crecimiento moderado y son tolerantes al estrés, características que las hacen valiosas en zonas con condiciones climáticas adversas o limitantes. Además, se adaptan bien a distintas prácticas de manejo, ofreciendo una buena alternativa para optimizar la eficiencia productiva en diversas condiciones agronómicas (García, 2021)

1.6 Requerimientos agroecológicos de *Elaeis guineensis*.

La palma africana es una planta propia de la región tropical calurosa, por ello se ubica en aquellas zonas que presentan temperaturas medias mensuales que oscilan entre 26 °C y 28 °C, siempre que las mínimas mensuales no sean inferiores a 21 °C. Temperaturas inferiores a 17 °C durante varios días provocan una reducción del desarrollo de plantas adultas y en vivero detienen el crecimiento de las plántulas. No soporta heladas (ASD, 2006).

A continuación, se presenta la figura sobre las condiciones edafoclimáticas ideales para el cultivo de *Elaeis guineensis*.

Tabla 1. Condiciones edafoclimáticas de *E. guineensis*

Variable	Descripción
Latitud	Entre 15° de Latitud Norte y 15° de Latitud Sur
Altitud (msnm)	Hasta 500 m
Terrenos	Con pendientes menores a 15°
Suelos	Francos, franco-arcillosos planos o ligeramente ondulados; sueltos, profundos, bien drenados, con pH neutro o moderadamente ácido (máx. PH4)
Temperatura (°C)	Máx. 33° – Mín. 22°. En todo caso no inferior a 21°
Luminosidad (horas luz/año)	Superior a 1500 h
Lluvia (mm/año)	Entre 1,800 y 2,200 mm, suficientes con 1,500 mm si hay lluvia todos los meses
Evaporación (mm/año)	1,100 mm
Humedad relativa (%)	80%

Fuente: (ASD, 2006).

1.7 Polinización de *Elaeis guineensis*.

La palma africana produce flores masculinas y femeninas en inflorescencias distintas y de forma separada en una misma planta, de tal manera que se necesita trasladar el polen de una flor a otra. Por esta razón, se necesitan agentes polinizadores que aseguren una buena fructificación (INFOAGRO, 2013).

La acción del viento y de las abejas para trasladar el polen es muy pobre, viéndose esta situación aún más comprometida con los materiales genéticos de alta producción de racimos, que durante los dos o tres primeros años de producción emiten muy pocas inflorescencias masculinas y son casi exclusivamente femeninos.

La polinización se debe iniciar entre los 26-28 meses después de la de la siembra. Por otro lado, también es posible la polinización entomófila. Las inflorescencias masculinas emiten un suave olor a anís que atrae especialmente a unos pequeños insectos, denominados curculiónidos, que se alimentan y reproducen en las flores masculinas. Estos insectos tienen el cuerpo cubierto de vellosidades a las que se adhieren los granos de polen, y al moverse entre las flores femeninas van liberando y asegurando la polinización de éstas. Estos insectos visitan las flores femeninas por error, inducidos por el olor a anís. En América, uno de los insectos que mejor se ha establecido en las plantaciones es *Elaeidobius kamerunicus*, lo que ha permitido diseñar un sistema de polinización, capturando dichos insectos en cultivos de más de 7 años de edad y liberándolos más tarde los cultivos jóvenes. La liberación de estos polinizadores obedece a un sistema que asegure una población de 20.000 insectos por hectárea cada tres días. Con este sistema de polinización, el porcentaje de polinización es de 80% (INFOAGRO, 2013).

Ambas modalidades de polinización se suspenden entre el sexto y séptimo año de edad de las palmas, que es cuando la emisión de flores masculinas es suficiente para abastecer la necesidad de polen y los insectos polinizadores ya establecidos aseguran de esta manera la fructificación de las flores femeninas de forma natural. El porcentaje de fructificación en este periodo alcanza el 85-95% de frutos normales. (INFOAGRO, 2013).

1.8 Ácido alfa naftalenacético “A.N.A.”

Estas sustancias reguladoras de Crecimiento vegetal (RCV) son sustancias orgánicas que se hallan en pocas concentraciones, se sintetiza en definido sitio de la planta y se translocan de un lugar a otro. Estas sustancias son compuestos que en porciones bajas estimulan, inhiben o modifican los procesos fisiológicos, son específicos conforme a su acción, regulan el aumento de las células, la división celular, diferenciación celular, la organogénesis, la senescencia y el estado de latencia. (Bedoya & Mejia, 2021).

Los reguladores de crecimiento vegetal más relevantes son las auxinas y citoquininas y el ácido naftalenacético (ANA), es una auxina sintética derivada del naftaleno, extensamente usado en la agricultura, primordialmente como promotor de regulador de las etapas reproductivas (floración y fructificación) en distintas especies. Además, muestra efectos consistentes como promotor de la formación de raíces en especies de propagación asexual (Amado & Fischer, 2006).

El ácido alfa naftalenacético “A.N.A.”, es usado en palma de aceite para la obtención de racimos con frutos partenocárpicos y conservar la producción de aceite, posibilita el desarrollo y el llenado de frutos de tal forma que, pese a no tener semilla ni cuesco, el peso medio de los racimos tiene la capacidad de conservarse. El resultado es hasta un 15% más de frutos cosechados; cuyo llenado de fruto sin pérdidas de flores, es superior al 95% (Oviedo, 2020).

Existen otras prácticas como la utilización de la polinización artificial con ácido alfa naftalenacético “A.N.A.” que implica ajustes en la logística, frecuencia de aplicación y dosis de mezcla por inflorescencia, así como además en los instrumentos empleados. Ya que la formación de frutos está ligada al contacto de la mezcla con los botones florales (ovarios tricarpelares) de las inflorescencias femeninas, es fundamental establecer la cobertura y las restricciones del equipo usado para hacer esta labor (Ponce, 2016).

Jiménez (2015) menciona que los efectos de la polinización artificial fueron contundentes para la agroindustria:

- ❖ Se incrementa la formación de frutos en el racimo llegando hasta el 95 %.
- ❖ Posibilita una ventana de tiempo más extensa que la polinización asistida para poder hacer la formación de frutos y una buena conformación del racimo.
- ❖ Se evidencian incrementos hasta del 15 % en la proporción de racimos cosechados, ya que disminuye el número de racimos malogrados.
- ❖ La utilización de la polinización artificial ha impactado en la producción de aceite por tonelada de racimos, con tasas de sustracción que oscilan entre 25 % y 28 %.

1.8.1. Generalidades de ácido alfa-naftalenacético “A.N.A.”.

El ácido alfa-naftalenacético “A.N.A.” es una auxina que se recomienda particularmente para impedir la caída prematura de las flores y los frutos en plantas y cultivos donde el fruto sea de interés comercial, tales como frutales, hortalizas, cereales, cacao, café, algodón e igualmente en plantas ornamentales, para prolongar el tiempo de floración.

1.8.2. Propiedades de ácido alfa-naftalenacético “A.N.A.”.

Ingrediente activo: El ácido alfa-naftalenacético “A.N.A” al 98%

El aspecto de la hormona sintética es un polvo blanco, la formula empírica con la que se identifica es $C_{12}H_{10}O_2$, su peso molecular es de 186.21 g/mol, la solubilidad es difícil de disolver en agua, pero si es soluble en acetona, éter, benceno, etanol, cloroformo y otros solventes orgánicos.

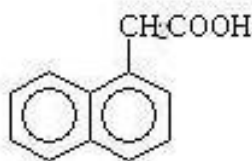


Figura 1. Formula estructural de ácido alfa naftalenacético.

Fuente: ENLASA (2021).

En la figura se muestra la formula estructural de la hormona sintética “A.N.A.”, donde se observa una molécula de ácido acético unida a dos bencenos.

1.8.3. Mecanismo de acción de ácido alfa-naftalenacético “A.N.A.”.

El ácido alfa-naftalenacético contiene una hormona vegetal específica, que actúa en forma más efectiva que otros homólogos como AIB (Ácido Indolbutírico) y AIA (Ácido Indolacético).

Es un bioestimulante que presenta una acción de carácter preventivo y correctivo ante la caída prematura de botones, flores y frutos no maduros.

1.8.4. Características de ácido alfa-naftalenacético “A.N.A.”.

Ácido alfa-naftalenacético funciona como un activador enzimático de los siguientes procesos fisiológicos en las plantas: Activa la división celular, regula la maduración, mantiene las semillas en un estado de germinación latente, promueve la emisión de raíces, la floración y la fructificación.

1.8.5. Tipo de aplicación de ácido alfa-naftalenacético “A.N.A.”.

Para la aplicación de ácido alfa-naftalenacético “A.N.A.” con aspersor de mochila, se recomienda utilizar un mínimo de 150 litros de agua por hectárea. Si se emplea un equipo de bajo volumen, la dosis adecuada es de 40 litros por hectárea. En aplicaciones aéreas, se deben usar entre 30 y 40 litros por hectárea. Es aconsejable realizar la aplicación en las primeras horas de la mañana o al final de la tarde, cuando la radiación solar es baja y las temperaturas son más frescas. Aplicaciones al medio día pueden no ser tan efectivas por excesiva pérdida de humedad por evaporación.

1.8.6. Toxicidad de ácido alfa-naftalenacético “A.N.A.”.

Antes de realizar mezclas con ácido alfa-naftalenacético debe realizarse previamente pruebas de compatibilidad con el producto que se desea mezclar y fito-compatibilidad, en pequeña escala. Acido alfa naftalenacético No es compatible con sustancias alcalinas. Acido alfa naftalenacético en las dosis y frecuencia recomendadas, es compatible con los cultivos registrados, sin embargo, se recomienda pruebas de fitocompatibilidad con nuevas variedades y/o híbridos.



Figura 2. Presentación de un quintal de Acido alfa naftalenacético “A.N.A.”.

Se observa la presentación en la que es adquirida la hormona sintética “A.N.A.” así como las recomendaciones de uso en la parte de adelante.

1.8.7. Enercrop.

La hormona sintética es una auxina conocida como acido alfa naftalenacético el cual la empresa ENLASA cataloga como un fertilizante y bioestimulante concentrado a base de aminoácidos, minerales y hormonas de crecimiento que estimulan la división y multiplicación celulares en los meristemos de crecimiento vegetativo.

Se menciona (ENLASA, 2021) que el producto de ENERCROP se utiliza en cultivos como hortalizas, banano, café, caña, cítricos y otros cultivos donde se necesite impulsar el desarrollo vegetativo.

El producto de ENERCROP permite obtener una planta sana, vigorosa y productiva al aumentar la tasa de crecimiento vegetal, el área de fotosíntesis y la biomasa vegetal. Se recomienda utilizar ENERCROP luego de podar o en plantillas para estimular la producción vegetal.

La dosis dependerá de los niveles de requerimiento de los cultivos. Su dosis va desde 200 a 500 gramos por hectárea, en frecuencias de aplicación mensual, quincenal o semanal (ENLASA, 2021).

En el caso de la palma africana, ENERCROP fórmula A.N.A. 98% es un regulador fisiológico a base de ácido alfa naftalenacético “A.N.A.”, utilizado principalmente en la estimulación del desarrollo de frutos partenocárpicos en híbridos de palma de africana. Esta formulación facilita la producción de racimos de fruto sin semilla o cuesco, promoviendo el crecimiento del mesocarpio, lo que es esencial para mantener altos rendimientos de aceite.

1.9 Antecedentes de otras investigaciones

El uso de ácido alfanaftalenacético “A.N.A.” en palma africana es reciente sin embargo existen algunos estudios o avances que reafirman el éxito de la hormona en el cultivo como es el caso de Gunawan y Widjaja (2021) reportaron que concentraciones de 0.5% a 1% de ANA durante la etapa de postantesis aumentan la producción de fruta fresca en un 20% en comparación con la polinización natural.

Así también se presenta que existe un impacto en la calidad de aceite como lo presenta Hartley (1988) reveló que el ácido alfanaftalenacético “A.N.A.” mejora tanto la cantidad de frutos como la calidad del aceite. La aplicación de “A.N.A.” resultó en un incremento del 15% en el contenido de aceite por racimo y mejoró el perfil de ácidos grasos.

Actualmente se está realizando la aplicación de la hormona sintética “A.N.A.” en toda la finca San Nicolás y fincas anexas utilizando 4% de concentración y una dosis de siete gramos por racimo, cabe mencionar que esta es una concentración obtenida de otras localidades.

1.10 Función de ácido alfa naftalenacético “A.N.A.” en *Elaeis guineensis*.

El ácido alfa naftalenacético “A.N.A.” actúa como un potente regulador del crecimiento al estimular la división celular en los ovarios de las flores. Este efecto es fundamental durante el proceso de cuajado de frutos. “A.N.A.” promueve la mitosis en las células del ovario, lo que resulta en una mayor formación de células y, en consecuencia, en un mayor número de frutos que logran cuajarse y desarrollarse. Este aumento en la división celular contribuye al incremento del tamaño y peso de los frutos, mejorando así el rendimiento de los racimos (Gunawan & Widjaja, 2021).

Además de estimular la división celular, “A.N.A.” también facilita la elongación celular. Esto es crucial durante el desarrollo de los frutos, ya que ayuda a expandir los tejidos del ovario y, posteriormente, del fruto en formación. La elongación celular promovida por el ANA asegura que los frutos no solo se formen en mayor cantidad, sino que también alcancen un tamaño óptimo antes de la cosecha. Este efecto es esencial para maximizar el rendimiento y mejorar la calidad del fruto (Hartley, 1988).

El ANA juega un papel importante en la prevención de la premaduración del racimo de frutos. Durante el desarrollo del fruto, el “A.N.A.” ayuda a regular los procesos hormonales internos que podrían inducir una maduración prematura. Al mantener el equilibrio hormonal adecuado, “A.N.A.” permite que los frutos continúen su desarrollo hasta alcanzar una madurez óptima. Esto no solo asegura un mejor cuajado y crecimiento de los frutos, sino que también contribuye a una mayor calidad del aceite extraído (Oliet, Molina, & Arbelo, 2020).

El uso adecuado de “A.N.A.” en la etapa de postantesis puede resultar en un aumento significativo en la producción de fruta fresca y en el porcentaje de extracción de aceite. Los estudios han mostrado que la aplicación de “A.N.A.” puede incrementar la producción de fruta fresca hasta un 20% y mejorar el contenido de aceite en los frutos. Esto se debe a que “A.N.A.” optimiza tanto el cuajado de frutos como su desarrollo completo, lo que resulta en racimos con un mayor peso y un mejor perfil de ácidos grasos en el aceite (Gunawan & Widjaja, 2021; Hartley, 1988).

La dosis y concentración de “A.N.A.” influyen en el rendimiento del cultivo. La investigación reciente muestra que diferentes concentraciones de “A.N.A.” afectan el cuajado y el peso de los racimos. Oliet, Molina y Arbelo (2020) encontraron que la aplicación de “A.N.A.” en concentraciones ajustadas a las condiciones locales puede maximizar la producción y la calidad del aceite.

2. Marco referencial.

2.1. Localización geográfica.

Finca San Nicolás se ubica en el kilómetro 159, carretera RD ESC-34 hacia Nueva Concepción del departamento de Escuintla. El casco de la finca se encuentra ubicada entre las coordenadas geográficas siguientes: Latitud Norte: $14^{\circ}11'23.62''$ Longitud Oeste: $91^{\circ}19'30.45''$ Altura sobre el nivel del mar: 50 metros.

2.2. Mapa de la unidad de práctica.

A continuación, se presenta la siguiente figura referida al mapa de finca San Nicolás donde se llevó a cabo la investigación.

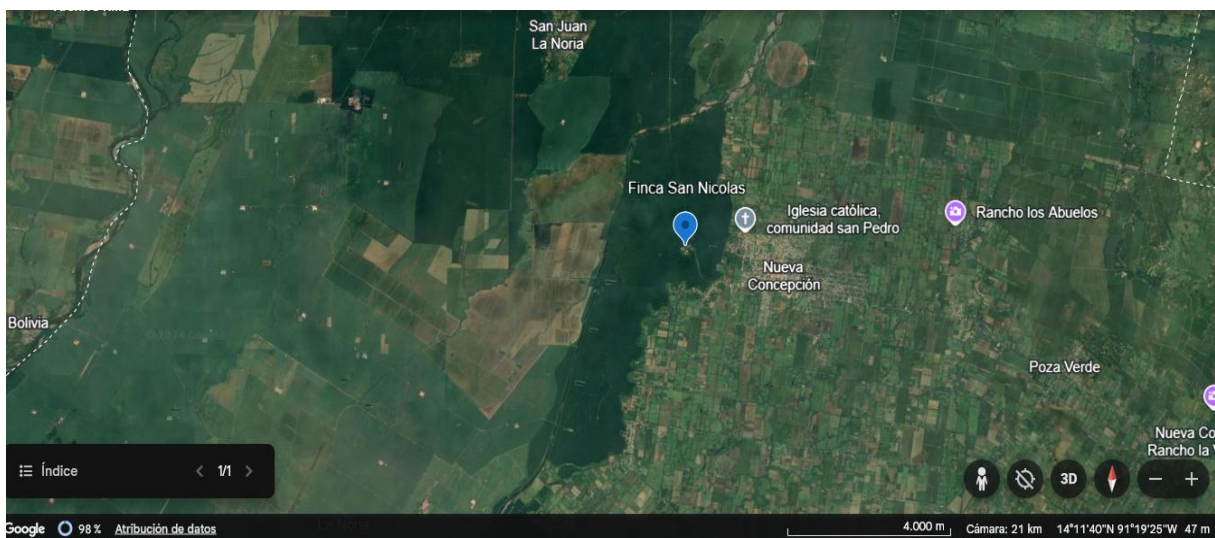


Figura 3. Mapa de la finca

Fuente: google Earth (2024)

2.3. Croquis de la unidad de práctica.

A continuación, se presenta la siguiente figura referida al croquis de finca San Nicolás donde se estableció la investigación, específicamente el área fue en el lote tres de finca Ilusiones que se encuentra en finca San Nicolás.

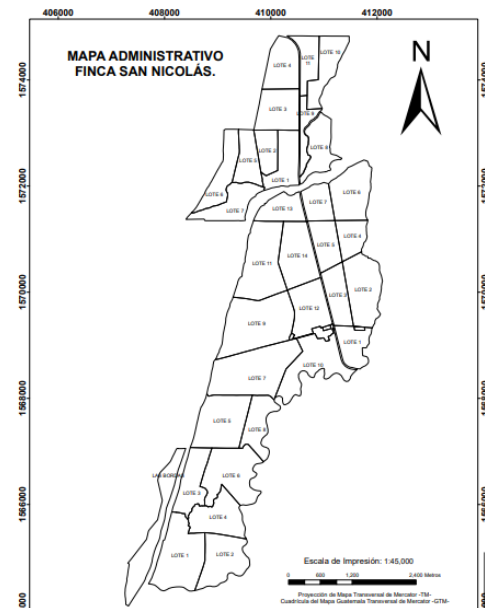


Figura 4. Croquis de la unidad de práctica.

Fuente: Administración de finca San Nicolás (2023).

2.4. Material experimental.

2.4.1. Plantas.

El material experimental en donde se realizó la investigación son plantas de las variedades IRHO y GHANA en el lote tres de finca San Nicolás, de 12 años de establecidas, con una densidad de 143 plantas por hectárea, y una altura promedio de nueve metros.

Las variedades IRHO y GHANA de palma africana, utilizada en Guatemala, son de las más conocidas y cultivadas debido a su resistencia y alto rendimiento en la producción de aceite. Estas variedades destacan por producir un alto porcentaje de aceite por hectárea, lo que la hace muy eficiente y atractiva para los productores en términos económicos.

Otra característica de estas variedades que tienen una buena tolerancia a enfermedades comunes en el cultivo de palma de aceite, como la pudrición del cogollo (PC). Esto la convierte en una opción segura para las zonas donde estas enfermedades son un problema. Tanto la especie IRHO como GHANA se adapta bien a las condiciones edafoclimáticas de Guatemala, donde las temperaturas tropicales y la alta humedad favorecen su desarrollo óptimo. Puede crecer en una variedad de suelos, lo que la hace ideal para diferentes tipos de terrenos dentro del país. Estas variedades producen racimos de frutos con un mayor porcentaje de mesocarpio, que es la parte del fruto utilizada para la extracción de aceite. El mayor contenido de aceite en el fruto aumenta la eficiencia del proceso de extracción.

En resumen, la variedad IRHO/GHANA es una opción robusta y eficiente para los productores de palma africana en Guatemala, donde las condiciones naturales favorecen su crecimiento, y su capacidad para resistir enfermedades y ofrecer altos rendimientos de aceite la convierte en unas de las variedades más apreciadas en la industria.

2.4.2. Hormona sintética.

El material utilizado en la investigación fue la hormona sintética llamada ácido alfanaftalenacético “A.N.A.” al 98% (Enercrop).

2.5. Zona de vida y clima.

Según Holdridge (1982) Finca San Nicolás se encuentra ubicada en una zona de vida de bosque húmedo subtropical cálido. Con una temperatura que oscila entre los 24.4 °C a 37.8 °C. La humedad relativa promedio es del 75%. Se tiene 10 horas luz en promedio/día y vientos con dirección predominante del sur con velocidades de hasta 19 km/h.

2.6. Suelo.

Su capacidad agrológica para los productos que se cosechan son: maíz, cacao, achiote, caña de azúcar, legumbres, café, tabaco, frutas de toda clase de clima entre las cuales se pueden mencionar: yuca, plátano, mango, naranja, etc.

Uso potencial para cultivos de máximas producción como el cultivo de caña de azúcar *Saccharum officinarum*, plátano *Musa paradisiaca*, banano *Musa acuminata* y palma africana *Elaeis guineensis*. El uso de la tierra de Finca San Nicolás, juntamente con las fincas anexas actualmente es para la producción del cultivo *E. guineensis* “Palma africana”, cubriendo una superficie cultivada de 2,021.89 hectáreas, la característica de los suelos es franco arcilloso y franco arenoso arcillosa, esto fue determinado mediante estudios a inicios del establecimiento del cultivo.

2.7. Hidrología.

La finca tiene estaciones meteorológicas que ayudan con la lectura de la precipitación, evaporación, horas luz y viento.

La finca de San Nicolás se encuentra en la cuenca Madre Vieja en donde pasa el Río Madre Vieja el cual abastece algunos reservorios de agua llamados norias que se utilizan como suministro de agua para realizar la aplicación de riego en donde se tiene establecido el cultivo de *E. guineensis* “Palma africana”. La extracción de agua del río se hace por medio de motores “John Deere” de 308 caballos de fuerza y bombas de succión. Se tiene 12 reservorios de agua y dos acequias que sirven para almacenar agua durante la época lluviosa, las norias principalmente son

abastecidas por agua subterránea a los que ellos llaman nacimientos y esta agua se utiliza para riego y fertirriego, el rango de consumo promedio de las bombas es de 3,000 a 4,500 Gal/min.

2.8. Precipitación pluvial.

La precipitación anual en la región varía entre 1,200 y 2,000 milímetros, con un promedio mensual de 163.61 milímetros. Es importante mencionar que, cuando la lluvia no alcanza el nivel necesario, se debe complementar con riego. Por ejemplo, si solo se registran 15 milímetros de precipitación, es necesario aplicar otros 15 milímetros de agua mediante riego para alcanzar los 25 a 30 milímetros que el cultivo requiere.

2.9. Producción histórica en finca San Nicolás.

Pesquera (2023) menciona que se tuvo un rendimiento promedio de 36.20 t/Ha racimos de fruta fresca en el año 2021, para el año 2022 se obtuvo un rendimiento promedio de 35 tm/Ha racimos de fruta fresca y para el año 2023 se estima una producción de 36 tm/Ha racimos de fruta fresca. Se menciona que los últimos cuatro años se ha mantenido la producción en 36 tm/Ha por año. La edad del cultivo es de 12 años y ha ido incrementando la producción

2.10. Investigaciones sobre el uso de ácido alfa naftalenacético.

La investigación mencionada no es directamente la base para la implementación del ácido alfa naftalenacético en finca San Nicolás. En lugar de ello, la idea surgió a partir de una visita realizada por el equipo de gerencia de la empresa HAME a Colombia y Costa Rica, donde obtuvieron información de primera mano sobre el uso de esta hormona en el cultivo de *Elaeis guineensis*. Durante esta visita, el equipo tuvo la oportunidad de observar prácticas en campo y recolectar datos directamente de los productores locales. Con esta experiencia y conocimiento adquirido, se decidió adaptar y aplicar esos métodos en las fincas de la empresa en San Marcos, utilizando el ANA en las condiciones locales para optimizar el rendimiento de los cultivos, sin embargo, no se dio mayor seguimiento a las pruebas.

En Colombia y Costa Rica, se han realizado varias investigaciones sobre el uso del ácido alfa naftalenacético ANA en la *Elaeis guineensis* para mejorar ciertos aspectos de la producción de aceite y la formación de frutos. Un estudio realizado en la Finca Venecia de Colombia demostró que la aplicación de ANA puede inducir la formación de frutos partenocárpicos, particularmente en condiciones donde la polinización natural es limitada. Esto es especialmente útil en escenarios de baja disponibilidad de polinizadores o en áreas con menos acceso a polen, ya que el ANA ayuda a aumentar el "fruit set" o cuajado de frutos, asegurando un rendimiento más estable en situaciones adversas. Estos estudios destacan la utilidad del ANA en contextos específicos, aunque los efectos varían según las condiciones ambientales y la genética de la palma (Fedepalma, 2022).

IV. OBJETIVOS

1. Objetivo general.

Evaluación de concentraciones de ácido alfa naftalenacético “A.N.A” sobre el rendimiento(kg/ha) de fruto de *Elaeis guineensis* Jacq. Arecaceae “Palma africana” en Finca San Nicolás, Escuintla.

2. Objetivos específicos.

- 2.1. Determinar cuál de las concentraciones de ácido alfa-naftalenacético “A.N.A.” es más eficiente en el rendimiento y en el aumento del peso promedio de los racimos de fruto fresco en *Elaeis guineensis*.
- 2.2. Determinar cuál concentración de ácido alfa-naftalenacético “A.N.A.” genera el mayor porcentaje de extracción de aceite en el cultivo de *Elaeis guineensis* “palma africana”.
- 2.3. Evaluar el efecto de las diferentes concentraciones de ácido alfa-naftalenacético “A.N.A.” sobre los días a maduración después de aplicación en el cultivo de *Elaeis guineensis* “palma africana”.
- 2.4. Evaluar los costos de aplicación del ácido alfa-naftalenacético “A.N.A.”, comparando los resultados de los tratamientos para identificar el más eficiente en términos económicos y de rendimiento en el cultivo de *Elaeis guineensis*.

V. HIPÓTESIS

1. Hipótesis nula

Las cinco concentraciones de la hormona ácido alfanaftalenacético “A.N.A.” evaluadas producen el mismo efecto sobre el rendimiento en kilogramo por hectárea de fruto del cultivo de *E. guineensis* “palma africana” en Finca San Nicolás.

2. Hipótesis alternativa

Al menos una de las cinco concentraciones de la hormona ácido alfanaftalenacético “A.N.A.” evaluada tiene un efecto diferente sobre el rendimiento en kilogramo por hectárea de fruto del cultivo de *E. guineensis* “palma africana” en Finca San Nicolás.

VI. MATERIALES Y MÉTODOS

1. Recursos.

1.1 Recursos físicos.

- ❖ Hormona sintética de ácido alfa-naftalenacético “A.N.A.” al 98%.
- ❖ Sacos de talco
- ❖ Cuchillo o navaja
- ❖ Calculadora
- ❖ Balanza
- ❖ Cubeta
- ❖ Recipiente
- ❖ Calculadora
- ❖ Equipo de protección personal
- ❖ Libreta de campo, lápiz y/o lapicero

Toma de datos biométricos

- ❖ Cuchilla malayo.
- ❖ Cinta métrica.
- ❖ Machete tipo cuta.
- ❖ Equipo de protección personal.
- ❖ Bolsas plásticas identificadas.
- ❖ Barreno helicoidal.
- ❖ Sacos de nylon identificados.
- ❖ Balanza analítica.
- ❖ Bolsas de nylon (etiquetadas para laboratorio).

Corte y peso de racimos cosechados

- ❖ Cuchilla malayo.
- ❖ Machete tipo cuta.
- ❖ Saco de nylon (costal).
- ❖ Balanza romana.
- ❖ Equipo de protección personal.
- ❖ Boleta registro de cosechas y lapicero

1.2 Recursos humanos.

- ❖ Estudiante de Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.)
- ❖ Personal de apoyo.

1.3 Recursos financieros.

Todos los gastos que se generaron en la realización de la investigación fueron solventados por la finca y estudiante de Ejercicio Profesional Supervisado (E.P.S.)

2. Metodología

2.1 Para determinar cuál de las concentraciones de ácido alfa-naftalenacético “A.N.A.” a evaluar es más eficiente en el rendimiento y en el aumento del peso promedio de los racimos de fruto fresco en *Elaeis guineensis*, se procedió de la siguiente manera:

2.1.1. Descripción

El objetivo se enfocó en identificar la concentración óptima de “A.N.A.” que maximizara la productividad en términos de rendimiento (kilogramos de fruto fresco por hectárea) y peso promedio de los racimos (kilogramos). Esto implicó un análisis detallado de los datos recolectados de diferentes concentraciones aplicadas, considerando las condiciones específicas del cultivo y los resultados obtenidos para establecer cuál fue la opción más efectiva.

2.1.1.1 Tratamientos.

Tabla 2. Descripción de los tratamientos evaluados.

No.	Tratamiento	Mezcla de 1000 gramos	Dosis por racimo	Ingrediente activo por racimo
1 (Testigo absoluto)	Sin aplicación (Testigo absoluto)	Sin aplicación (Testigo absoluto)	Sin aplicación. (Testigo absoluto)	Sin aplicación. (Testigo absoluto)
2	2% de concentración de hormona A.N.A.	20 gramos de producto comercial al 98% + 980 gramos de talco	7 gramos de mezcla de A.N.A. + talco por racimo	0.1372 gramos de ANA por racimo aplicado
3 (Testigo relativo)	4% de concentración de hormona A.N.A. (Testigo relativo)	40 gramos de producto comercial al 98% + 960 gramos de talco (Testigo relativo)		0.2744 gramos de ANA por racimo aplicado
4	6% de concentración de hormona A.N.A.	60 gramos de producto comercial al 98% + 940 gramos de talco		0.4116 gramos de ANA por racimo aplicado
5	8% de concentración de hormona A.N.A.	80 gramos de producto comercial al 98% + 940 gramos de talco		0.5488 gramos de ANA por racimo aplicado

En la tabla se presenta los tratamientos que son las concentraciones de producto comercial en relación de 1000 gramos de mezcla, la dosis de gramos por racimo y la cantidad de ingrediente activo de “A.N.A.” por racimo. Las concentraciones fueron distanciadas de dos por ciento para que exista variabilidad. Para la investigación se realizaron tres ciclos de aplicación de ácido alfa-naftalenacético “A.N.A.” y se efectuaron dos cosechas.

2.1.1.2 Repeticiones.

Para determinar el número de repeticiones se hizo uso de la fórmula de grados de libertad del error, de diseños bloques al azar en donde se obtuvo cinco repeticiones.

2.1.1.3 Unidad experimental.

La unidad experimental se conformó por un área de 45 x 23.4 metros, en donde se obtuvo cuatro surcos de seis plantas cada uno, teniendo 24 plantas por unidad experimental; la parcela neta estuvo compuesta de 8 plantas. El cultivo de palma africana está sembrado al tresbolillo de 7.80 metros entre planta y nueve metros entre surcos.

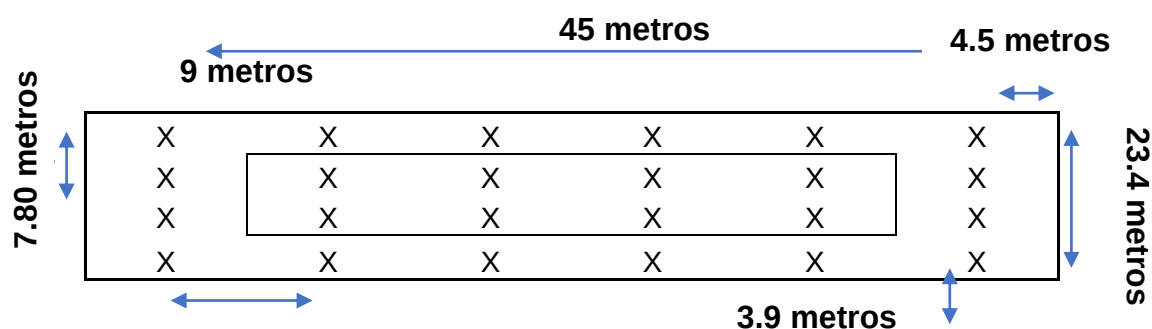


Figura 5. Unidad experimental de la investigación.

En la figura se presenta el tamaño de la unidad experimental que fue de 1,053 metros cuadrados, teniendo 24 plantas por unidad experimental.

2.1.1.4 Croquis de aleatorización de los tratamientos

Se realizó la aleatorización de los tratamientos con respecto a los bloques. A continuación, se presenta el croquis de la distribución de las unidades experimentales en sus respectivos bloques estableciendo cinco repeticiones por tratamiento. Los bloques se colocaron en contra de una ligera pendiente en el cultivo.

B I	T4R1	T2R1	T3R1	T5R1	T1R1
B II	T5R2	T1R2	T4R2	T2R2	T3R2
B III	T3R3	T4R3	T2R3	T1R3	T5R3
B IV	T2R4	T5R4	T1R4	T4R4	T3R4
B V	T1R5	T3R5	T5R5	T4R5	T2R5



Figura 6. Distribución de los tratamientos evaluados en la unidad experimental.

El área experimental consistió en cinco bloques con cinco tratamientos cada uno dando un total de 25 unidades experimentales y cada una de ellas es de 1,053 metros cuadrados teniendo así un área experimental de 2.63 hectáreas con 600 plantas de palma africana

2.1.2. Variables.

a) Rendimiento del fruto en kilogramos por hectárea.

- Para la variable de rendimiento se realizó al momento de cosechar los racimos de cada uno de los tratamientos evaluados.
- Se tomó el peso del racimo en cada una de las unidades experimentales, utilizando un saco de nylon y una balanza. Se pesaron los racimos cosechados del ciclo de cosecha y se registró el peso de racimos por palma expresada en kilogramos.
- Después se proyectaron los datos obtenidos en peso de racimos cosechados en las unidades experimentales, al área de cada unidad experimental del tratamiento en la etapa de evaluación (dos cortes).

b) Peso promedio del fruto en kilogramos.

- Para la variable peso del racimo, se realizaron una vez culminado el ciclo productivo del cultivo de palma desde que se inició con la aplicación del ácido alfa-naftalenacético “A.N.A.” hasta la cosecha de los mismos frutos aplicados.
- Una vez el fruto mostró los indicadores de cosecha se procedió a cortar el racimo, se cosechó el fruto con una cuchilla tipo hoz adherida a un tubo de aluminio largo para poder llegar al fruto.
- Seguidamente, se tomó el peso del racimo en cada una de las unidades experimentales, utilizando un saco de nylon para sostener el fruto y una balanza tipo reloj con capacidad de 200 libras. Se pesaron los racimos cosechados del ciclo de cosecha y se registró el peso de racimos por palma expresada en kilogramos.

2.1.3. Análisis de las variables.

Para el experimento se utilizó un diseño de bloques completos al azar debido a que la topografía del lugar presenta una leve inclinación con el 0.5% – 1% de pendiente.

El modelo estadístico del diseño experimental es el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = Variable de respuesta medida en el i-ésimo tratamiento y el j-ésimo bloque.

μ = Media general de la variable de respuesta.

τ_i = Efecto del i-ésimo tratamiento.

β_j = Efecto del j-ésimo bloque.

ε_{ij} = error asociado a la ij-ésima unidad experimental.

Para el análisis de las variables evaluadas se realizó un ANCOVA; es decir, un estudio de covarianza debido a que existió diferencia de racimos aplicados dentro de cada unidad experimental, aplicado para un diseño experimental bloques completos al azar, tomando en cuenta cinco tratamientos y cinco repeticiones. En las variables en donde existió diferencia significativa se realizó una prueba múltiple de medias de Tukey con un nivel de significancia del 5%.

Después de la recolección se analizaron los resultados realizando un análisis de covarianza, así mismo la prueba de medias Tukey para encontrar cuál de los cinco tratamientos da un resultado conveniente para la investigación en el rendimiento de kilogramos por hectárea de racimo de fruta fresca y el peso del fruto en racimo de fruta fresca en kilogramos.

Para expresar a rendimiento (kg/ha) se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{Rendimiento } \left(\frac{\text{Kg}}{\text{ha}} \right) = \frac{\text{Total de peso de racimos cosechados (Kg)}}{(\text{U.E.}) \text{hectáreas}}$$

2.2. Para determinar cuál concentración de ácido alfa-naftalenacético “A.N.A.” ofrece el mayor porcentaje de extracción de aceite en el cultivo de *Elaeis guineensis*, se procedió de la siguiente manera:

2.2.1. Descripción.

El objetivo busca identificar cuál de las concentraciones evaluadas de ácido alfa-naftalenacético “A.N.A.” maximiza el porcentaje de extracción de aceite en el cultivo de *Elaeis guineensis*. Este análisis se enfoca en establecer la relación directa entre las distintas concentraciones de “A.N.A.” y su efecto sobre la acumulación de aceite en los frutos.

La determinación del porcentaje de extracción de aceite no solo permite evaluar la eficacia de “A.N.A.” en términos de calidad del producto final, sino que también aporta información clave para optimizar los procesos de manejo y producción. Este enfoque integral tiene como objetivo identificar la concentración más eficiente, garantizando mayores rendimientos de aceite por hectárea y una mejor rentabilidad para los productores, sin comprometer la sostenibilidad del cultivo.

2.2.2. Variables

a) Porcentaje de extracción de aceite del fruto.

- Para la variable extracción de aceite expresada en porcentaje se inició al momento de cosechar los racimos, donde se apartaron cinco frutos uno por cada tratamiento por cada corte realizado, seguidamente se procedió a identificar los racimos con rótulos.
- Posteriormente se enviaron los frutos cosechados e identificados al laboratorio de la empresa ubicado en finca Santa Rosa que se encuentra en Tiquisate, Escuintla.
- Después de analizar los resultados de los racimos cosechados durante el ciclo de seis meses, se extrapolaron los datos obtenidos en el laboratorio a una escala de una hectárea. Es importante recalcar que se enviaron muestras de dos cosechas a laboratorio.

- Dentro del laboratorio el fruto ideal para obtener el mayor porcentaje de aceite debe de ser un fruto maduro completamente, preferible que no sea de base blanca es decir que en la base del racimo no debe ir con frutos no desarrollados ya que de estos no se obtiene aceite útil. En caso de un fruto maduro sin base blanca y sin aborto de frutos se puede llegar a obtener de 24% a 27% de aceite lo ideal es que la mayoría llegue a ese rango para obtener una cantidad de aceite rentable para la empresa.

b) Rendimiento de aceite en kilogramos por hectárea.

- Para obtener la variable rendimiento de aceite en kilogramos por hectárea, primero se recopiló el rendimiento total en kilogramos por hectárea de cada unidad experimental al finalizar el período de estudio.
- Luego, se consolidaron los datos obtenidos de cada una unidad experimental, agrupándolos por tratamiento, para obtener una media representativa de rendimiento de fruta fresca en cada tratamiento. Posteriormente, este rendimiento promedio se multiplicó por los porcentajes de extracción de aceite, específicos de cada tratamiento, que fueron determinados mediante análisis de laboratorio.
- Esta metodología permitió estimar con precisión el rendimiento de aceite para cada tratamiento, considerando no solo la producción total de fruta fresca por hectárea, sino también la eficiencia en la extracción de aceite de cada muestra. Los porcentajes de extracción de aceite varía entre tratamientos, lo que permitió comparar el efecto de cada uno sobre la eficiencia de producción de aceite por hectárea.

2.2.3. Análisis de las variables

Para analizar las variables evaluadas, se realizó un análisis de covarianza ANCOVA, que permitió controlar las diferencias en el número de racimos aplicados entre las unidades experimentales. Este análisis se implementó en un diseño experimental de bloques completos al azar, en el cual se consideraron cinco tratamientos y cinco repeticiones. En las variables donde se detectaron diferencias significativas, se aplicó una prueba de comparación múltiple de medias de Tukey con un nivel de significancia del 5%. Este enfoque aseguró un análisis preciso, ajustando por la variabilidad presente en las condiciones experimentales.

Antes de realizar el análisis de covarianza se llevó a cabo una transformación de los datos a la variable porcentaje de extracción de aceite, utilizando la formula $\sqrt{y}/100$ y sen^{-1} , con el propósito de reducir el error experimental al convertir los valores en cuantitativos continuos.

2.3. Para evaluar el efecto de las diferentes concentraciones de ácido alfa-naftalenacético “A.N.A.” sobre los días a maduración después de aplicación en el cultivo de *Elaeis guineensis*, se realizaron los siguientes pasos:

2.3.1. Descripción

Este objetivo se centró en analizar cómo las diferentes concentraciones de ácido alfa-naftalenacético “A.N.A.” influyen en el tiempo que los frutos de *Elaeis guineensis* (palma africana) tardan en alcanzar su madurez después de la aplicación del regulador de crecimiento. La investigación busca determinar si el uso de ANA puede reducir los días requeridos para que los racimos estén listos para la cosecha, optimizando así el ciclo productivo del cultivo.

Este análisis es fundamental para mejorar la gestión del cultivo, ya que un menor tiempo a maduración puede traducirse en ciclos de producción más cortos, un mayor número de cosechas anuales y un menor riesgo de pérdidas debido a factores climáticos o biológicos.

2.3.2. Variable

a) Días a maduración del fruto después de aplicación de ácido alfa-naftalenacético “A.N.A.”.

- Para esta variable experimental, se realizó un proceso de identificación y marcaje preciso de los racimos en su estado óptimo de desarrollo para la aplicación del ácido alfa-naftalenacético “A.N.A.”. Cada racimo, aproximadamente un mes después de su polinización por insectos, fue señalado con pintura de aceite para asegurar un seguimiento adecuado. Posteriormente, se procedió a la aplicación de “A.N.A.” conforme a las concentraciones establecidas en cada uno de los cinco tratamientos experimentales.

- Desde el momento de la aplicación hasta la cosecha, se implementó un monitoreo continuo, registrando los días transcurridos hasta la maduración completa de los frutos y el momento de corte. Este seguimiento riguroso permitió obtener datos específicos sobre el tiempo de desarrollo asociado a cada tratamiento de “A.N.A.”. Una vez recolectados, los frutos fueron evaluados para analizar las diferencias en tiempo de maduración según las concentraciones de “A.N.A.” empleadas.
- Reducir los días a maduración en el cultivo de *Elaeis guineensis* permite optimizar el ciclo productivo al incrementar el número de cosechas anuales, asegurando al mismo tiempo la calidad de los frutos. Esto generó una mayor disponibilidad de fruta fresca para procesamiento, lo que mejora la continuidad en la extracción de aceite y contribuye a mantener una producción constante. Además, al acortar el tiempo entre cosechas, se disminuyen los riesgos asociados a condiciones adversas, como cambios climáticos, enfermedades o plagas, que podrían comprometer los frutos si permanecen demasiado tiempo en el campo. Este enfoque no solo protege la calidad del cultivo, sino que también incrementa la eficiencia y rentabilidad de las operaciones agrícolas.

2.3.3. Análisis de las variables

Para analizar las variables evaluadas, se realizó un análisis de covarianza ANCOVA, el cual permitió ajustar las diferencias en el número de racimos aplicados entre las unidades experimentales, proporcionando mayor precisión en los resultados. Un aspecto clave fue el análisis detallado de la variable respuesta días a maduración después de la aplicación, dado su importancia para evaluar la eficiencia y rapidez en el desarrollo de los frutos. En la variable con diferencias significativas, se aplicó la prueba de comparación múltiple de medias de Tukey con un nivel de significancia del 5%. Este enfoque garantizó un análisis sólido, considerando tanto la variabilidad experimental como la relevancia de los días a maduración en la optimización del manejo agronómico del cultivo.

2.4. Para estimar los costos de aplicación del ácido alfa-naftalenacético “A.N.A.” en el cultivo de *Elaeis guineensis*, comparando los resultados de los tratamientos para identificar el más eficiente en términos económicos y de rendimiento, se procedió de la siguiente manera:

2.4.1. Descripción

Este objetivo busca analizar el costo económico asociado a la aplicación del ácido alfa-naftalenacético “A.N.A.” en el cultivo de *Elaeis guineensis*, tomando en cuenta las diferentes concentraciones y tratamientos evaluados. A través de esta estimación, se procuró identificar cuál de los tratamientos ofrece el mejor equilibrio entre inversión y rendimiento, considerando factores como el costo del insumo, la mano de obra necesaria y los resultados en términos de producción y calidad del aceite.

La comparación de costos permitió determinar la eficiencia económica de cada tratamiento, ayudando a las fincas a tomar decisiones basadas en datos confiables para maximizar la rentabilidad del cultivo. Este análisis es crucial para implementar prácticas agrícolas más sostenibles y competitivas, optimizando tanto los recursos financieros como los resultados productivos.

2.4.2. Variables

a) Costo de aplicación

El costo de aplicación por cada uno de los tratamientos se expresó en dólares ya que de esta forma se trabaja en la empresa y en quetzales, así mismo, se calcularon de la siguiente manera:

- Costo de mano de obra utilizada en la aplicación
- Costo de insumos utilizados

2.4.3. Análisis de las variables

La evaluación económica se enfocó en estimar y comparar los costos asociados a la aplicación de los diferentes tratamientos, sin llegar a calcular la rentabilidad. En este análisis, se tuvo en cuenta los siguientes aspectos:

Dado que las labores culturales y de mantenimiento de la plantación son uniformes en todos los tratamientos, los costos de mantenimiento y de mano de obra se consideraron constantes. Por lo tanto, el estudio se centró en los costos diferenciales derivados de las diversas concentraciones de ácido alfa-naftalenacético “A.N.A.” aplicadas mediante tablas y gráficas.

A partir de estos costos incrementales y de los beneficios obtenidos de cada tratamiento, se realizó una comparación de costos. Esto permitió identificar cuál de los tratamientos ofreció la mejor estimación de costos desde una perspectiva económica, facilitando así la toma de decisiones informadas en el manejo del cultivo.

2.5. Manejo del experimento.

2.5.1. Preparación del área experimental.

La investigación comenzó con la identificación precisa los frutos desarrollados aptos para la aplicación en el área experimental, seleccionando plantas en etapa de postantesis, que es el período donde el fruto estuvo apto para recibir la hormona debido que en esta fase comienza el desarrollo del fruto. Una vez identificados los frutos fueron cuidadosamente marcados para asegurar un seguimiento exhaustivo desde la aplicación del ácido alfa-naftalenacético “A.N.A.” hasta la etapa de maduración del fruto.

El seguimiento se llevó a cabo mediante monitoreos semanales, donde registraron los cambios de desarrollo de los frutos y verificando la respuesta de cada racimo tratado con "A.N.A.". Este control regular permitió un análisis detallado de la influencia de cada tratamiento en el tiempo hasta la maduración, proporcionando información clave para evaluar la efectividad del regulador de crecimiento en el rendimiento del cultivo.

2.5.2. Labores culturales dentro del área experimental.

- **Fertilización**

La fertilización se realizó de dos formas que son manual y fertirriego, el fertirriego se realizó la mayor parte del año aproximadamente desde octubre a mayo. La forma manual se aplica aproximadamente de tres a cuatro veces es decir una vez al mes en época lluviosa mayo - octubre, es importante comentar que cuando se necesita aplicar microelementos como el boro se aplica de forma manual incluso cuando se está aplicando fertirriego. Este año se aplicó nitrógeno y potasio según los resultados del análisis de suelos y tejidos, la concentración de 41% de nitrógeno y 17% potasio. Dentro del área experimental se utilizó una dosis de 1.44 quintales de fertilizante por hectárea en donde se aplicó una fórmula específica la cual es $23.53(N) - 0(P) - 18.95(K)$.

- **Riego**

El sistema de riego en el área experimental se controla mediante dos tensiómetros que determinan el momento adecuado para iniciar el riego, donde se tiene de siete a nueve turnos aproximadamente, se ajusta según los niveles de humedad indicados por los tensiómetros. En cada turno se manejan entre cuatro y seis llaves de paso, cada una conectada a un conjunto específico de microaspersores que cubren diferentes áreas de la plantación. De esta manera, se garantiza la aplicación uniforme de entre 5 y 6 milímetros de agua, cantidad óptima para satisfacer las necesidades hídricas del cultivo.

En el área experimental, se aplicó una lámina de riego de 5 mm por hectárea mediante microaspersores, con una duración de riego de aproximadamente ocho a nueve horas cada turno y una frecuencia de cada cuatro a cinco días, siempre regulada de acuerdo con las lecturas de humedad de los tensiómetros.

- **Manejo de tejidos**

El manejo de tejidos se realiza una o dos veces al año, básicamente es la eliminación de hojas senescentes y aquellas afectadas por enfermedades o plagas, lo cual es crucial para evitar el desarrollo de patógenos y reducir la acumulación de plagas. Al remover estas hojas, se mejora la ventilación alrededor de la planta, permitiendo una mayor penetración de luz, lo que optimiza la fotosíntesis y beneficia el desarrollo de los racimos de frutos. Se efectúa, siempre cuando se considere necesario ya que se realizan estudios de índice de masa foliar en donde se debe mantener un 6% siempre y cuando dejando un aproximado de 35 – 40 hojas funcionales por planta.

Primero, se identificaron las hojas senescentes o aquellas que están amarillentas, secas, o muestran daños causados por plagas o enfermedades. Generalmente, las hojas más viejas y las que presentan síntomas de deterioro son las principales candidatas para la poda. Se utilizaron herramientas como machetes o cuchillas especiales para cortar las hojas. Estas herramientas debían estar limpias y afiladas realizando cortes precisos y evitando daños en el tronco o en las estructuras cercanas. La poda se realizó con cuidado para evitar dañar el estípite (tronco) y respetando el punto de inserción de la hoja.

Se cortaron las hojas de modo que solo las ramas secas y en descomposición sean eliminadas, manteniendo una cantidad suficiente de hojas verdes asegurando la fotosíntesis y la protección de la planta contra el sol intenso. Las hojas cortadas se incorporaron con los restos de poda en el suelo como materia orgánica.

- **Control de malezas**

En el área experimental se efectuó el control de malezas de forma química donde el control químico se realizó en dos formas las cuales fueron en calle y en el plato, al plato se aplicó glifosato (Roundup 35.6 SL) en el mes de abril aproximadamente y seis meses después se aplicó indaziflam (Alión 50 SC) (elimina brotes de palma o “palma silvestre”).

Primero, se aplica el producto al plato de la planta. Un mes después de esta primera aplicación, se realiza la primera aplicación de diquat (Reglone SL). Luego, un mes después de la primera aplicación de diquat, se procede a una segunda aplicación del mismo herbicida para reforzar el control de malezas.

- **Control de plagas**

Dentro del área experimental se implementó un control de plagas a través de revisiones sistemáticas en estaciones fitosanitarias distribuidas en cada lote. Cada estación está formada por una planta central rodeada por seis plantas, establecida a intervalos de 12 plantas y 12 surcos, con la primera planta central situada a tres plantas de los bordes y seis surcos hacia adentro, evitando así plantas ubicadas en los bordes de los caminos principales.

La planta de *Elaeis guineensis* cuenta con entre 35 y 40 hojas y genera una nueva hoja aproximadamente cada dos meses. Debido a este ritmo de regeneración, para realizar las inspecciones sin afectar repetidamente a la misma planta, se utiliza un sistema rotativo de corte. El primer mes, se cortan las hojas de la planta central de todas las estaciones de cada lote (entre 60 y 120 estaciones). En cada estación se corta un estrato de hoja distinto: en la estación uno se corta la hoja nueve, en la estación dos la hoja 17 y en la estación tres la hoja 25, abarcando así los estratos bajo, medio y alto para obtener un muestreo representativo.

- **Cosecha**

La cosecha consiste en que el cortero al observar un racimo con coloración púrpura o morada y de gran tamaño debe de tocarlo con la cuchilla malayo para ver si se desprenden cinco frutos o más que están sujetos al racimo, si se caen se debe de cortar y si solo se desprende un fruto aún no se puede cosechar ya que se considera como verde o inmaduro. Seguidamente de cortar el fruto se coloca en una calle terciara o calle por donde pasa una carreta halada por dos bueyes recogiendo los racimos y los sacos de nylon con los frutos sueltos, colocando los frutos en góndolas que son estructuras metálicas de gran tamaño con capacidad 10 a 13 toneladas donde se transportan los frutos a la extractora de aceite.

Existen parámetros importantes a tomar en cuenta para la recolección del fruto ya que al no estar el fruto en su punto de maduración es rechazado en la extractora y clasificado como fruto de mala calidad.

2.5.3. Preparación de ácido alfa-naftalenacético “A.N.A.”.

La hormona sintética A.N.A es un polvo blanco que se mezcla con un talco llamado Tecnosilix, el cual es un silicato de magnesio que funciona como un vehículo que transporta a la hormona a abarcar más área y más frutos. La mezcla se tenía lista antes de ir a campo por eso es recomendable realizarla un día antes de la aplicación en campo.

Tomando como base las concentraciones así se realizaron las mezclas, normalmente se realizan mezclas de 3,000 gramos para cada aplicador y en el campo se lleva un seguimiento de lo que va aplicando y la cantidad de frutos aplicados, siempre utilizando una dosis de siete gramos por racimo. Cada espolvoreadora se le coloca aproximadamente 500 gramos de mezcla.

2.5.4. Equipo para la aplicación ácido alfa-naftalenacético “A.N.A.”.

El equipo utilizado en la finca es improvisado ya que no se tiene equipo especial para la labor. El equipo que se utiliza es un espolvoreadora de azufre con un mecanismo entre fuelle (avivador de llamas) y espolvoreadora de sulfatar que cuenta con una palanca, cinchos de agarre, extensiones de tubos de aluminio añadido por el personal, manguera donde se transporta el producto, en la parte superior posee una boquilla de media pulgada y pincho de hierro que sirve para limpiar el fruto de hojas o algún material que impida la aplicación y así mismo se utiliza para marcar las hojas donde se realizó la aplicación de A.N.A.

Es importante mencionar que se ha ido mejorando la labor conforme el tiempo ya que no existe un equipo especial, dicho tiempo se han realizado calibraciones en base a la descarga de la espolvoreadora es por eso que se ha evaluado que tres descargas expulsan los siete gramos aproximadamente.

El grupo de personas encargada de la aplicación debe tener su equipo de protección personal (E.P.P.) adecuado debido a que es obligatorio para evitar algún tipo de problemas respiratorio, sin embargo, es importante mencionar que tanto la hormona sintética como el talco no son tóxicos. El E.P.P. se constituye de guantes, mascarilla, lentes, botas de hule, gorro, camisa y pantalones lavables.

2.5.5. Aplicación de mezcla (ácido alfa-naftalenacético + talco).

La aplicación se realizó un mes después de la fase de antesis, que es la etapa en la que la inflorescencia femenina de *Elaeis guineensis* se abre completamente, alcanzando su desarrollo óptimo y estando activa para la polinización. Durante la antesis, que dura entre 24 y 32 horas, la flor femenina se encuentra receptiva al polen, permitiendo el proceso de fecundación. Al esperar un mes después de esta etapa para aplicar el tratamiento, se asegura que el fruto esté en un punto adecuado de desarrollo para maximizar los beneficios de la aplicación del ácido alfa-naftalenacético “A.N.A.”, promoviendo así un crecimiento y maduración eficientes del fruto.

Es por ello que se requiere que el racimo este en desarrollo ya que en este tiempo el fruto ya está polinizado donde la función de la hormona empezaría hacer efecto mediante la división celular ayudando a la obtención de racimos con frutos partenocárpicos y conservar la producción de aceite, posibilitando el desarrollo y el llenado de frutos de tal forma que, pese a no tener semilla, el peso medio de los racimos tiene la capacidad de conservarse.

La aplicación de la mezcla solo se realiza una vez por ciclo del racimo, es decir el racimo al mes después de antesis se aplica la mezcla y ese mismo racimo se cosecha a los cinco meses y dos semanas. La labor se aplica una vez al mes debido a la metodología que se utiliza en la empresa.

La aplicación está a cargo de personas capacitadas en la aplicación de la mezcla y con conocimiento del manejo del equipo. La hora debe ser de seis a las 11 de la mañana, se evita aplicar de doce a dos o tres de la tarde debido a la temperatura, lluvia y la luz que pueden afectar la distribución y aplicación de la mezcla.

A continuación, se presenta los datos de las tres aplicaciones realizadas de ácido alfa-naftalenacético “A.N.A.” en el área de estudio.

Tabla 3. Datos de las aplicaciones en el área experimental.

Tratamientos	Plantas aplicadas	Racimos aplicados	Total en las tres aplicaciones				
			Gramos de mezcla aplicados	Gramos Sobrante	Total	Gramos/racimos	Ha aplicadas
1	108	143	0	0	0	0	0.76
2	107	149	1367	1633	3000	9.18	0.25
3	107	144	1315	1685	3000	9.15	0.25
4	133	153	1390	1610	3000	9.13	0.31
5	123	144	1332	1668	3000	9.27	0.29
Total	578	733	5404	6596	12000	9.18	1.10

En la tabla se tienen datos como lo es la cantidad de plantas aplicadas, los racimos aplicados y los gramos aplicados en total de las tres aplicaciones las cuales se realizaron en las fechas siguientes, la primera aplicación realizada el 26/11/2023, la segunda aplicación realizada el 03/ 01/ 2024 y por último la tercera aplicación realizada el 29/01/2024. Las aplicaciones se realizaron una vez al mes debido a la metodología que utilizan en el área de la labor el cual está dispuesto por la empresa.

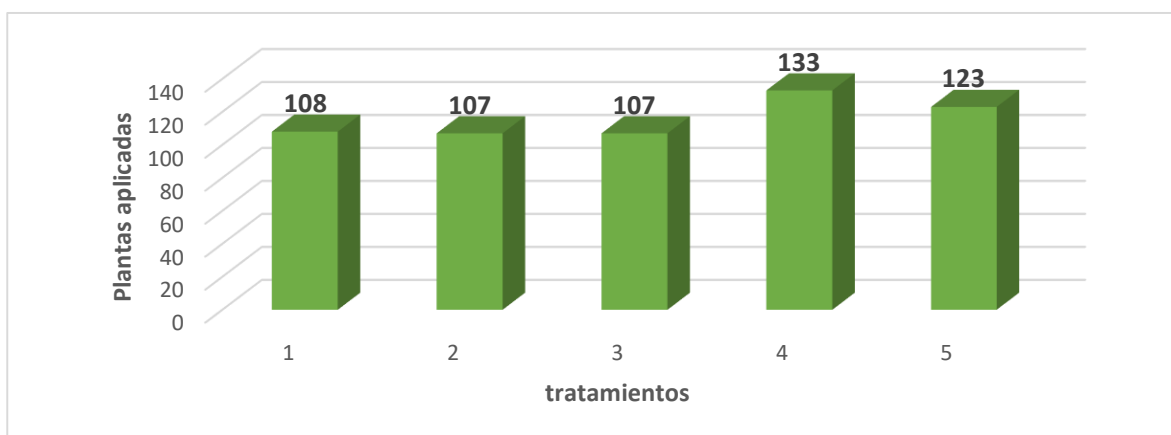


Figura 7. Plantas evaluadas en cada tratamiento con mezcla (“A.N.A.” + talco).

En la figura se muestra la cantidad de plantas aplicadas en donde al tratamiento uno no se le aplicó a ninguna planta debido a que es el testigo absoluto de la investigación, pero si se contabilizó la cantidad de plantas encontradas dentro del área experimental, siendo así, el tratamiento cuatro el cual se aplicaron a 153 plantas y esta diferencia se debe a que al momento de aplicar había plantas que presentaban frutos en el desarrollo ideal para aplicar ANA y otras plantas que no y esto se puede adjudicar a distintos factores de los cuales no se pueden controlar.

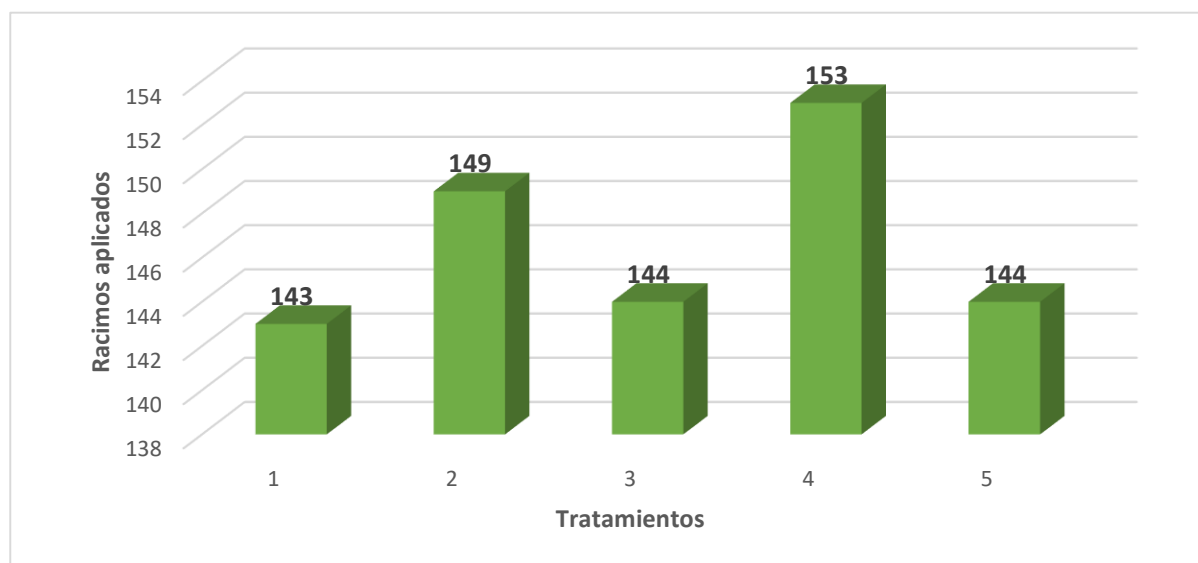


Figura 8. Cantidad de racimos evaluados en la investigación por tratamiento.

En la figura ocho se presenta la cantidad de frutos identificados, marcados y aplicados y de igual forma se observó que el tratamiento cuatro es el que obtuvo mayor cantidad de frutos aplicados por mínima diferencia y esta diferencia se debió a que había 153 frutos con el desarrollo ideal para aplicar, cabe mencionar que en la palma se puede tener frutos maduros, medianos o pequeños inclusive hasta floración, pero si no están aptos para su aplicación no se toman en cuenta es por ello que existe diferencia en la cantidad de racimos aplicados.

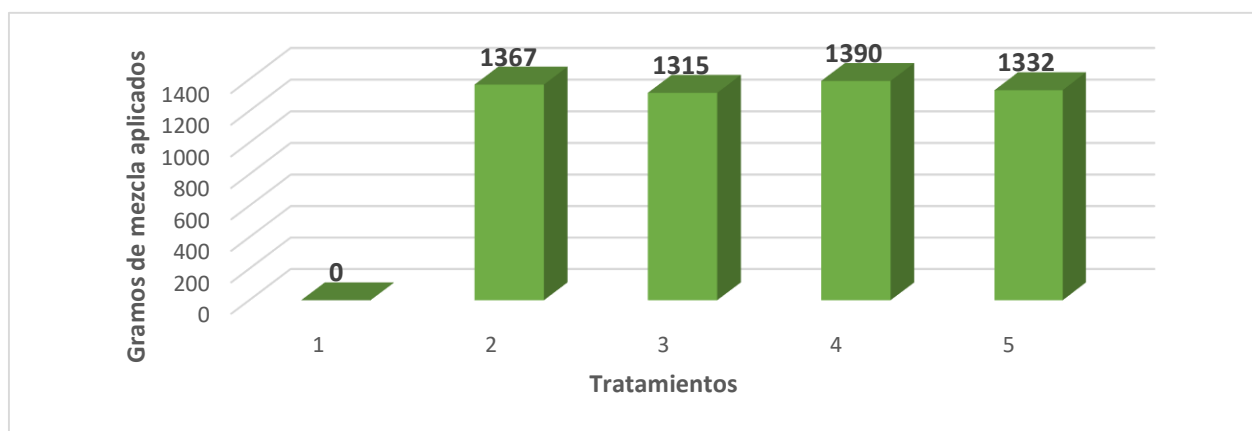


Figura 9. Gramos de mezcla (“A.N.A.” + talco) por tratamiento.

En la figura anterior se presenta la cantidad de mezcla aplicada por tratamiento siendo importante mencionar que la mezcla se compuso de ácido alfa-naftalenacético ANA al 98% y talco de yeso llamado tecnosilix el cual es inerte. En 1000 gramos de mezcla existe el porcentaje de ANA y el resto es talco, por ejemplo, en 1000 gramos del 4% se tiene 40 gramos de producto comercial ANA y 960 de talco de yeso. Como se puede observar el tratamiento cuatro es el que presentó la mayor cantidad de mezcla aplicada con un valor de 1390 gramos y esto es debido a que en ese tratamiento se tiene mayor cantidad de frutos idóneos para aplicar ANA.

2.5.6. Cosecha.

Después de la aplicación de la mezcla se realizaron monitoreos semanales y se tomaron los datos necesarios que fueron relevantes para la investigación hasta la maduración o cosecha de los racimos.

La cosecha se realizó el día que el fruto presentó los indicadores de maduración y con las herramientas adecuadas, así mismo utilizando el E.P.P. (equipo de protección personal) necesario de la labor. Se coordinó con el jefe de área de cosecha para la organización de corte de los racimos.

Para medir las variables se midió el peso de cada una de las frutas cortadas con una balanza analítica y se seleccionó al azar un racimo de cada tratamiento por cada corte realizado para enviarse al laboratorio y obtener el porcentaje de extracción de aceite.

Es importante destacar que para esta investigación se llevaron a cabo tres ciclos de aplicación de ácido alfa-naftalenacético y se realizaron dos cosechas. Este enfoque no solo permite obtener una mayor cantidad de datos, sino que también ofrece la posibilidad de observar variaciones entre diferentes etapas de desarrollo del fruto y su respuesta a las concentraciones aplicadas.

Al realizar más de una cosecha, se puede evaluar con mayor precisión la consistencia de los efectos de los tratamientos, y al tener tres ciclos de aplicación, se asegura un análisis más robusto y representativo. Esto mejora el análisis de covarianza y proporciona conclusiones más sólidas y confiables sobre la influencia de los tratamientos en el rendimiento y la producción de aceite.

VII. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

1. Determinación sobre cuál de las concentraciones de ácido alfa-naftalenacético “A.N.A.” a evaluar es más eficiente en el rendimiento en Kilogramos por hectárea y en el aumento del peso promedio de los racimos de fruto fresco en *Elaeis guineensis*.

A continuación, se presenta las variables respuestas evaluadas:

1.1 Rendimiento del fruto en Kg/Ha

A continuación, en la siguiente tabla se presenta los datos de los resultados del rendimiento del fruto en kilogramos por hectárea, en las dos cosechas realizadas.

Tabla 4. Resultados de rendimiento de fruto en Kg/Ha en los dos cortes.

Tratamiento	Concentración de ANA	Bloques					Y _i .	Ȳ.
		I	II	III	IV	V		
1	0 % de ANA	3894.09	3980.25	3971.63	4449.78	4527.31	20823.06	4164.61
2	2% de ANA	3480.56	4135.32	4406.70	4092.24	3407.33	19522.16	3904.43
3	4% de ANA	3838.09	4884.85	5169.15	4135.32	3588.25	21615.66	4323.13
4	6% de ANA	5018.38	5022.69	3851.02	4859.00	6267.59	25018.69	5003.74
5	8% de ANA	4880.54	4768.54	3639.94	4385.16	4014.71	21688.89	4337.78
Y _j .		21111.67	22791.64	21038.44	21921.50	21805.20	108668.46	4346.74



Figura 10. Resultados de rendimiento de fruto en Kilogramos por hectárea.

En la figura se presentan los resultados de la variable rendimiento en kilogramos por hectárea en donde se observa diferencia entre los cinco tratamientos. El tratamiento sin la aplicación de ANA mostró un rendimiento de 4,164.61 kilogramos por hectárea, lo que indicó que, sin el uso de reguladores de crecimiento, la producción de racimos de *E. guineensis* presenta un rendimiento, se considera inferior en comparación con los tratamientos en los que se aplicó ANA, lo que reafirma la importancia de los reguladores de crecimiento en el aumento del rendimiento. Curiosamente, el tratamiento con una concentración del 2% de ANA produjo un rendimiento menor 3,904.43 kilogramos por hectárea en comparación con el tratamiento uno el cual es el testigo absoluto. Este resultado sugiere que, a esta concentración, la hormona no obtuvo el efecto esperado en el aumento de la productividad. Esto pudo deberse a que la concentración fue insuficiente para generar un impacto positivo significativo en relación al rendimiento, o que la respuesta de la planta a esta concentración no es lineal.

El tratamiento tres con el 4% de ANA incrementó el rendimiento a 4,323.13 kilogramos por hectárea, superando tanto al tratamiento uno como al tratamiento dos con 2% de ANA. Esto indicó que esta concentración fue más efectiva para estimular el crecimiento y el desarrollo de los racimos de palma africana. Este resultado podría estar relacionado con el hecho de que, a esta concentración, el ANA logra un equilibrio adecuado para favorecer la división celular y el desarrollo del fruto, incrementando la biomasa sin causar sobreestimulación. El tratamiento cuatro, con 6% de ANA, mostró el rendimiento más alto de todos, alcanzando 5,003.74 kilogramos por hectárea, lo que sugiere que esta concentración fue la más eficiente para maximizar la producción de racimos de *Elaeis guineensis*. Este aumento indicó que, a esta concentración, la hormona optimizó los procesos fisiológicos, como la elongación y división celular, lo que mejora el transporte de asimilados hacia los frutos.

El tratamiento con cinco con el 8% de ANA, aunque todavía mostró un aumento en comparación con el tratamiento uno y el tratamiento dos con el 2% de ANA, resultó con un rendimiento de 4,337.78 kilogramos por hectárea, el cual fue inferior al tratamiento cuatro de 6% de ANA. Este resultado confirma que existió un umbral a partir del cual la concentración de ANA dejó de ser efectiva y, en algunos casos, pudo tener un efecto negativo. Este fenómeno puede deberse a que una concentración excesiva de reguladores de crecimiento puede causar desequilibrios fisiológicos en la planta, reduciendo la eficiencia del transporte de asimilados o interfiriendo con otros procesos hormonales críticos para el desarrollo del fruto.

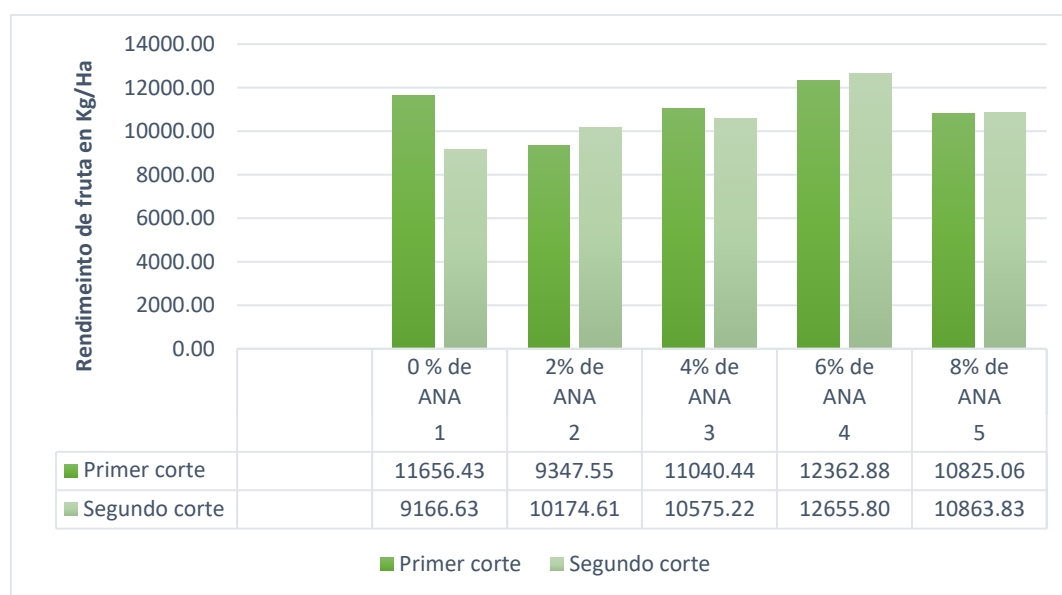


Figura 11. Resultados de rendimiento en kg/ha en dos cosechas.

En la figura se presentan los resultados de rendimiento dispuesto en kilogramos por hectárea, teniendo como resultado que el tratamiento sin la aplicación de ANA presentó un rendimiento de 2,331.29 kilogramos por hectárea en el primer corte y 1833.33 kilogramos por hectárea en el segundo corte. El rendimiento total fue de 4164.61 kilogramos por hectárea. Este tratamiento muestra un descenso notable entre el primer y el segundo corte. Esto es consistente con el hecho de que, sin la hormona, los procesos fisiológicos de la planta, como el crecimiento celular y la partición de asimilados, pueden ser menos eficientes. Con la aplicación de la concentración al 2% (tratamiento dos) de ANA, se observó un rendimiento en el

primer corte de 1,869.51 kilogramos por hectárea, que aumentó a 2,034.92 kilogramos por hectárea en el segundo corte, dando un total de 3,904.43 kilogramos por hectárea. Este tratamiento mostró un comportamiento interesante, ya que el rendimiento fue menor en el primer corte en comparación con el tratamiento sin ANA, pero aumentó en el segundo corte, superando el rendimiento del tratamiento uno en esa etapa. Este incremento en el segundo corte sugiere que la concentración de 2% de ANA podría estar ayudando a la planta a mantener su productividad a lo largo del ciclo, aunque el rendimiento total fue inferior al de otros tratamientos.

El tratamiento tres con 4% de ANA presentó rendimientos de 2,208.09 kilogramos por hectárea en el primer corte y 2,115.04 kilogramos por hectárea en el segundo corte, lo que da un total de 4,323.13 kilogramos por hectárea. Estos resultados indican que la aplicación de ANA al 4% es decir el tratamiento tres promueve un rendimiento más equilibrado entre ambos cortes, con un ligero descenso en el segundo, pero manteniendo una producción relativamente alta. El hecho de que el rendimiento total de este tratamiento sea superior al del tratamiento uno y al del tratamiento dos con 2% de ANA sugiere que el tratamiento tres con 4% de ANA podría ser una concentración adecuada para fomentar un crecimiento sostenido sin efectos negativos significativos sobre la producción a lo largo del ciclo.

El tratamiento cuatro, con 6% de ANA, mostró el mayor rendimiento tanto en el primer como en el segundo corte, con 2,472.58 kilogramos por hectárea y 2,531.16 kilogramo por hectárea respectivamente, para un total de 5,003.74 kilogramos por hectárea. Estos resultados destacan que la aplicación de 6% de ANA es efectiva para maximizar el rendimiento de los racimos de palma africana. La solidez en ambos cortes, con un ligero aumento en el segundo, sugiere que esta concentración de ANA no solo favoreció el crecimiento y desarrollo inicial de los frutos, sino que también mantiene la productividad a lo largo del ciclo. El rendimiento notablemente superior al de los demás tratamientos indicó que esta concentración podría estar optimizando los procesos fisiológicos de la planta, como la elongación y división celular, así como la partición de los asimilados. Por último, el tratamiento cinco con

la concentración al 8% de ANA tuvo un rendimiento de 2,165.01 kilogramos por hectárea en el primer corte y 2,172.77 kilogramo por hectárea en el segundo corte, lo que dio un total de 4,337.78 kilogramo por hectárea. A pesar de que este tratamiento presentó una estabilidad en el rendimiento entre los cortes, su rendimiento total fué inferior al del tratamiento cuatro con 6% de ANA. Estos resultados sugieren que concentraciones más altas de ANA no necesariamente se traducen en un mayor rendimiento.

En términos generales, los resultados reflejan una clara relación entre la concentración de ANA y el rendimiento en kilogramos por hectárea. A medida que la concentración de ANA aumenta, el rendimiento también mejora, alcanzando su punto máximo en el tratamiento con 6% de ANA. No obstante, al superar este umbral, como se observa en el tratamiento con 8%, el rendimiento comienza a decrecer. Estos resultados confirman la hipótesis de que ácido alfa-naftalenacético ANA, al ser una auxina, estimula procesos de crecimiento celular que favorecen el desarrollo del fruto y el rendimiento de la planta. Sin embargo, este estímulo es efectivo hasta una cierta concentración, y después de ese punto, el exceso de hormona puede generar efectos contrarios, posiblemente debido a una sobreestimulación que afecta el balance hormonal natural de la planta.

Tabla 5. Resultado de ANCOVA al 5% para el rendimiento de fruto en kg/Ha.

F.V.	SC	gl	CM	F	P-valor	5%	Coef
Modelo	7644301.69	9	849366.9	4.81	0.0038	0.05	
Tratamiento	3305450.72	4	826362.7	4.68	0.0119	0.05	
Bloque	405991.62	4	101497.9	0.57	0.6853	0.05	
# Racimos	3932859.35	1	3932859	22.27	0.0003	0.05	152.64
Error	2649275.22	15	176618.4				
Total	10293576.91	24					

C.V.= 9.67%

El análisis de covarianza (ANCOVA) muestra que las diferentes concentraciones de ácido alfa-naftalenacético "A.N.A.", tienen un efecto significativo sobre la variable de respuesta es decir si hubo diferencia significativa. Con un p-valor de 0.0119, se evidencia que las concentraciones de ANA generan diferencias estadísticamente significativas al nivel de confianza del 5%. Esto indicó que las variaciones en la concentración de ANA influyen de manera relevante en la variable dependiente, sugiriendo que ajustar las concentraciones puede ser clave para optimizar los resultados. Por lo tanto, se acepta la hipótesis alternativa que indica que al menos una de las concentraciones evaluadas de ácido alfa-naftalenacético "A.N.A." tienen efecto sobre la variable respuesta que es rendimiento de fruto en kilogramo por hectárea de *E. guineensis*.

Por otro lado, la covariable "Número de Racimos" también muestra significancia estadística, con un p-valor de 0.0003. Este resultado resalta la importancia del número de racimos en el modelo, indicando que su influencia es considerable en la variación de la respuesta, es por ello que se realizó un análisis de covarianza.

Tabla 6. Prueba de medias Tukey 5% para peso promedio de racimo en kilogramo.

Tratamiento	Medias	Literales	
3 (4% de ANA)	4658.94	A	
4 (6% de ANA)	4637.40	A	
2 (2% de ANA)	4423.41	A	B
5 (8% de ANA)	4246.19	A	B
1 (0% de ANA)	3767.75		B

En la prueba medias de Tukey al 5% se obtuvo que los tratamientos con concentraciones del 4% y 6% de ANA (tratamientos tres y cuatro) tienen medias más altas, y pertenecen al grupo "A" según las literales de la prueba de Tukey. Esto indicó que estos tratamientos no presentaron diferencias significativas entre ellos y tienen el mejor desempeño en comparación con las demás concentraciones evaluadas. Por otro lado, los tratamientos con 2% y 8% de ANA (tratamientos dos y cinco) también se encuentran en el grupo "A" y el grupo "B," lo que sugiere que, si bien sus medias son inferiores a las de los tratamientos de 4% y 6%, aún no

presentan una diferencia estadísticamente significativa en comparación con el grupo de tratamientos más efectivos.

Finalmente, el tratamiento de 0% de ANA (tratamiento uno), es el único que se encuentra exclusivamente en el grupo "B," evidenciando un rendimiento significativamente menor en comparación con los tratamientos con ANA. Estos resultados sugieren que la aplicación de ANA es efectiva para aumentar el rendimiento, y que las concentraciones óptimas para obtener mayores resultados podrían estar entre el 4% y 6%, ya que estos tratamientos son estadísticamente superiores al tratamiento sin aplicación (0%).

En resumen, el análisis de los resultados obtenidos a través de gráficos, tablas, el ANCOVA y la prueba de Tukey indicó que el mejor tratamiento para maximizar el rendimiento en kilogramos por hectárea fue el tratamiento con una concentración del 6% de ácido alfa-naftalenacético (ANA). Este tratamiento alcanzó el mayor rendimiento promedio con 5,003.74 kg/ha, superando significativamente a los demás tratamientos y mostrando un efecto positivo estadísticamente significativo en comparación con el tratamiento sin ANA (0%) y el tratamiento con una concentración más baja del 2%.

El ANCOVA reveló diferencias significativas en el rendimiento de fruto entre los tratamientos ($p = 0.0119$), confirmando que la variación en la concentración de ANA tuvo un efecto relevante sobre el rendimiento. La prueba de Tukey también respalda estos resultados al clasificar el tratamiento del 6% de ANA en el grupo con las medias más altas ("A"), junto con el tratamiento del 4%, mientras que el tratamiento sin ANA (0%) quedó en un grupo aparte con un rendimiento notablemente inferior. Esto indicó que una concentración del 6% de ANA fué óptima para mejorar la producción en este contexto experimental, balanceando de manera efectiva el crecimiento sin sobrepasar el umbral en el que la hormona podría tener efectos adversos.

1.2 Peso promedio de los racimos en kilogramos.

En la siguiente tabla se presenta los resultados de las dos cosechas realizadas sobre la variable peso promedio en kilogramo por tratamiento.

Tabla 7. Resultados de peso promedio de racimos en kilogramos.

Tratamiento	Concentración de ANA	Bloques					Yi.	Ȳ.
		I	II	III	IV	V		
1	0 % de ANA	16.20	17.38	16.76	16.57	16.44	83.34	16.67
2	2% de ANA	19.30	21.98	18.32	20.68	18.93	99.21	19.84
3	4% de ANA	21.51	22.28	18.76	21.60	19.09	103.25	20.65
4	6% de ANA	17.39	18.90	17.61	21.20	24.50	99.60	19.92
5	8% de ANA	19.62	18.62	17.39	18.57	17.35	91.54	18.31
Yj.		94.02	99.16	88.83	98.62	96.30	476.93	19.08



Figura 12. Resultado de peso promedio de racimos en kilogramos por tratamiento.

Como se puede observar, el tratamiento uno sin aplicación de ANA con el 0% se obtuvo el menor peso promedio con 16.67 kilogramos. Esto confirmó el efecto positivo de la hormona ANA en la promoción del crecimiento y desarrollo del fruto, ya que todas las concentraciones de ANA muestran un aumento significativo en comparación con el control. Sin embargo, este aumento solo fue efectivo hasta

cierto umbral de concentración, como se observa con la reducción en el tratamiento cinco del 8% de ANA.

Los tratamientos dos con el 2% de ANA y el tratamiento tres con el 4% de ANA presentaron un aumento notable en el peso promedio de los racimos, alcanzando 19.84 kilogramos y 20.65 kilogramos, respectivamente. Estos resultados indicaron que estas concentraciones de ANA promueven un desarrollo óptimo del fruto, posiblemente acelerando los procesos de crecimiento y partición de asimilados hacia los frutos. La hormona ANA, al ser una auxina, está involucrada en la elongación celular y la división celular, lo que podría explicar este incremento en la biomasa.

El tratamiento cuatro con el 6% de ANA, con un promedio de 19.92 kilogramos, presentó una ligera disminución en comparación con el tratamiento tres de 4%, aunque aún superior al tratamiento de 2%. Esto sugiere que la concentración óptima de ANA para maximizar el peso del racimo podría estar entre el 4% y el 6%. Sin embargo, el incremento no siguió un patrón lineal, lo que podría indicar que en concentraciones más altas se podría estar alcanzando un punto de saturación hormonal en las plantas. Un caso interesante es la disminución del peso promedio de los racimos con el tratamiento cinco con una concentración de 8% de ANA, que alcanzó un promedio de 18.31 kilogramos. Esto podría sugerir que concentraciones demasiado altas de ANA pueden tener efectos negativos en el crecimiento del racimo, posiblemente debido a una sobreestimulación hormonal que puede provocar desequilibrios fisiológicos.

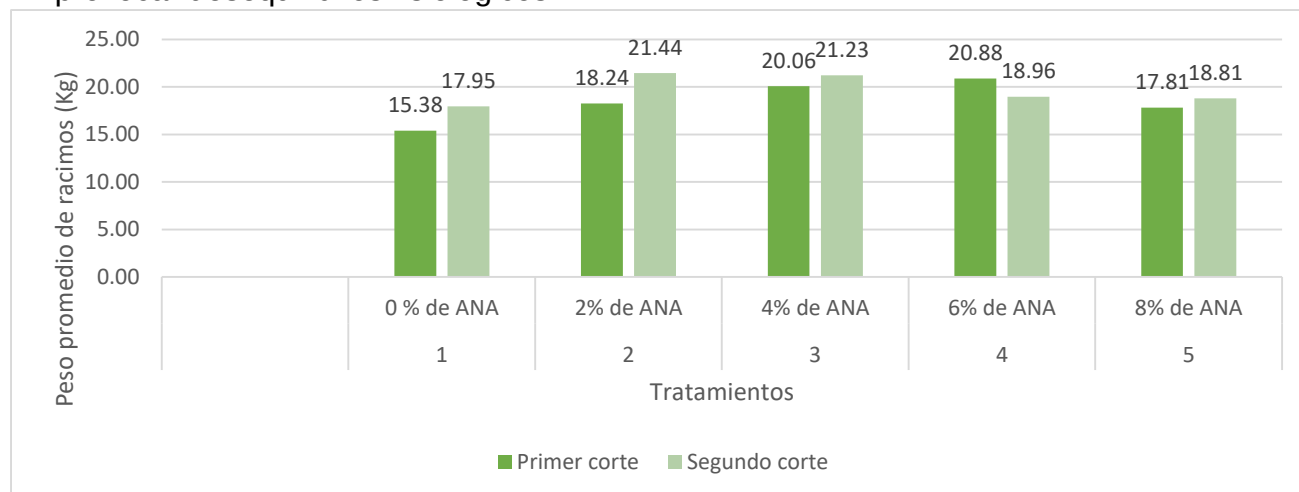


Figura 13. Resultados de peso promedio de racimos en dos cosechas realizadas.

Se presentan los resultados del peso promedio de los racimos en los dos cortes realizados, donde se pesó cada uno de los racimos cosechados dentro del área experimental. El tratamiento sin aplicación de ANA con 0% presentó los valores más bajos en ambos cortes, con 15.38 kilogramos en el primer corte y 17.95 kilogramos en el segundo corte. Estos resultados refuerzan la importancia del uso de ANA para mejorar el rendimiento, ya que todos los tratamientos con ANA superan significativamente al tratamiento testigo.

Los tratamientos dos con 2% de ANA y el tratamiento tres con el 4% de ANA presentaron los mejores resultados en cuanto al peso promedio de los racimos, especialmente en el segundo corte. El tratamiento dos que contiene la concentración de 2% de ANA mostraron un incremento notable entre el primer corte de 18.24 kilogramos y el segundo corte de 21.44 kilogramos, mientras que el tratamiento tres del 4% de ANA tuvo un comportamiento similar, pero más estable 20.06 kilogramos y 21.23 kilogramos. Esto indicó que estas concentraciones de ANA estimulan un crecimiento sostenido y adecuado del racimo, optimizando su peso y posiblemente promoviendo una partición de asimilados eficiente.

A pesar de que el tratamiento cuatro con 6% de ANA presentó un buen peso en el primer corte con 20.88 kilogramos, el cual fue el más alto en esta etapa, se observa una caída significativa en el segundo corte con 18.96 kilogramos. Esto podría indicar que, en concentraciones más altas, la ANA podría estar causando algún tipo de saturamiento fisiológico en la planta, impidiendo que el tratamiento mantenga un efecto positivo a largo plazo. El tratamiento cinco con 8% de ANA no presentó resultados tan favorables. En el primer corte, el peso promedio fue de 17.81 kilogramos, inferior a las concentraciones más bajas. En el segundo corte, aunque mejora a 18.81 kilogramos, siguió estando por debajo de los valores obtenidos con el 2% y 4% de ANA. Esto refuerza la idea de que concentraciones elevadas de ANA pueden tener efectos adversos o, al menos, no ofrecer beneficios adicionales en comparación con concentraciones moderadas.

La variabilidad observada en los resultados de las diferentes concentraciones de ANA resalta la importancia de un manejo adecuado de los reguladores de crecimiento en el cultivo de palma africana. Los datos indican que el rendimiento en términos de peso promedio no se incrementa linealmente al aumentar la concentración de la hormona; por el contrario, es necesario encontrar una concentración óptima para obtener resultados favorables. Para validar los hallazgos y garantizar su solidez, es fundamental realizar un análisis de covarianza al nivel de significancia del 5%, complementado con una prueba de medias de Tukey si es necesario, detectando las diferencias significativas y estadística entre los tratamientos.

Tabla 8. Análisis de covarianza de peso promedio en kilogramos.

F.V.	SC	gl	CM	F	P-valor	5%	Coef
Modelo	66.03	9	7.34	2.53	0.0500	0.05	
Tratamiento	50.73	4	12.68	4.37	0.0200	0.05	
Bloque	14.05	4	3.51	1.21	0.3500	0.05	
# Racimos	1.24	1	1.24	0.43	0.5200	0.05	-0.09
Error	43.56	15	2.90				
Total	109.59	24					

C.V.= 8.93%

El análisis de covarianza realizado sobre el peso promedio de racimo en kilogramos reveló varias observaciones importantes. En primer lugar, el efecto del tratamiento resultó significativo, con un valor de $p=0.0200$. Esto indicó que las distintas concentraciones de ácido alfa-naftalenacético ANA aplicadas en los tratamientos generan diferencias estadísticamente significativas en el peso promedio de los racimos. Esta diferencia sugiere que la aplicación de ANA pudo influir en el peso de los racimos, lo cual es relevante para la optimización del rendimiento. Por lo tanto, se observa que hubo diferencia significativa lo que indica que se acepta la hipótesis alternativa en la investigación que indica que al menos una de las concentraciones tendrá efecto distinto sobre la variable en este caso es el peso promedio de racimo en kilogramos.

Por otro lado, el efecto de la covariable (N. Racimos) no resultó significativo, con valor de $p=0.5200$. El coeficiente negativo de la covariable (-0.09) y su baja significancia sugieren que el número de racimos no estuvo correlacionado con el peso promedio de los mismos, lo que implica que el número de racimos en sí no afecta significativamente al peso promedio en esta prueba.

La concentración óptima no es necesariamente la más alta, lo que subraya la importancia de un manejo preciso y basado en evidencia científica. El hecho de que el valor de significancia sea menor al 5% indicó que existió una alta probabilidad de que las diferencias observadas entre los tratamientos no se deban al azar.

En base al análisis realizado sobre el peso promedio de racimo en kilogramos, los resultados indicaron que el tratamiento tres con el 4% de ANA fue el más efectivo para aumentar esta variable en *E. guineensis*. Este tratamiento obtuvo un peso promedio de 20.65 kilogramos, siendo superior al de otros tratamientos. Esto sugiere que una concentración de 4% de ANA logra un equilibrio adecuado en la planta, promoviendo un crecimiento óptimo sin llegar a niveles de saturación que pudieran afectar negativamente el desarrollo del racimo. Además, el ANCOVA respalda estos hallazgos, ya que muestra un efecto significativo de los tratamientos en el peso promedio del racimo ($p=0.0200$), validando que la variación observada entre tratamientos es estadísticamente relevante.

Por otro lado, aunque el tratamiento cuatro con el 6% de ANA muestra un peso promedio cercano al tratamiento tres (19.92 kilogramos), la ligera disminución en su efectividad sugiere que concentraciones superiores al 4% podrían no aportar beneficios adicionales significativos. Esta reducción en el peso promedio se hace más evidente en el tratamiento cinco con el 8% de ANA, que alcanzó un promedio de solo 18.31 kilogramos. En síntesis, el tratamiento tres con 4% de ANA se establece como la concentración óptima para maximizar el peso promedio de racimos en esta investigación, permitiendo una mejor partición de asimilados hacia los frutos y un desarrollo adecuado sin los efectos adversos de concentraciones excesivas de hormona.

Tabla 9. Prueba de medias Tukey 5% para peso promedio de racimo en kilogramo.

Tratamiento	Medias	Literales	
3 (4% de ANA)	20.46	A	
4 (6% de ANA)	20.13	A	B
2 (2% de ANA)	19.55	A	B
5 (8% de ANA)	18.36	A	B
1 (0% de ANA)	16.89		B

La prueba de medias de Tukey al 5% aplicada a la variable de peso promedio de racimo en kilogramos sugiere que los tratamientos con diferentes concentraciones de ácido alfa-naftalenacético ANA tuvieron efectos variados en el peso de los racimos, aunque no todos presentaron diferencias estadísticamente significativas. En la tabla se observa que el tratamiento tres con 4% de ANA es el más efectivo, con una media en Tukey de 20.46 kg, ubicándose en el grupo "A" de forma única. Esto significa que el tratamiento tres generó un peso promedio de racimos significativamente mayor en comparación con los demás tratamientos, destacándose como la mejor opción para maximizar esta variable.

Los tratamientos cuatro (6% de ANA), dos (2% de ANA), y cinco (8% de ANA) están en el grupo "A B", lo que indicó que no hay diferencias significativas entre ellos y que presentan pesos de racimo inferiores al tratamiento tres. Finalmente, el tratamiento uno (0% de ANA), está en el grupo "B" únicamente, confirmando que la falta de ANA resulta en el menor peso de racimos. Resumiendo, el tratamiento tres con 4% de ANA es la concentración óptima para aumentar el peso promedio de los racimos en esta investigación.

Esto implicó que el tratamiento tres con 4% de ANA generó mejores resultados en términos de peso promedio por racimo en kilogramos que el tratamiento sin ANA (0%). Aunque el tratamiento tres con 4% de ANA tuvo el mejor rendimiento promedio, es necesario destacar que no fue estadísticamente diferente del tratamiento con 6% de ANA, lo cual indicó que un aumento de la concentración por encima del 6% no garantiza un incremento significativo en el rendimiento.

Los resultados indicaron que la aplicación de ANA tuvo un efecto positivo en el peso promedio de los racimos de palma africana, con un aumento significativo en comparación con el tratamiento sin ANA (0%). Las concentraciones de ANA entre 2% y 6% del tratamiento dos y cuatro respectivamente demostraron ser las más efectivas para incrementar el peso promedio, alcanzando su punto óptimo con el tratamiento tres de 4% de ANA teniendo una media 20.65 kilogramos en peso promedio del racimo. Sin embargo, concentraciones más altas, como el tratamiento cinco con el 8% de ANA, mostraron una disminución en el peso promedio con un valor de 18.31 kilogramos, sugiriendo un efecto negativo cuando se excede el umbral óptimo. El análisis de Tukey revela que los tratamientos tres y cuatro con 4% y 6% de ANA son significativamente diferentes del testigo absoluto (tratamiento uno) y del tratamiento cinco con 8% de ANA, destacando que concentraciones más altas no siempre implican mayores rendimientos.

2. Determinación sobre que concentración de ácido alfa-naftalenacético “A.N.A.” ofrece el mayor porcentaje de extracción de aceite en el cultivo de *Elaeis guineensis*.

A continuación, se presenta las variables respuestas evaluadas:

2.1. Porcentaje de aceite.

Tabla 10. Resultados de porcentaje de extracción de aceite.

Tratamiento	Concentración de ANA	Porcentaje de extracción de aceite
1	0 % de ANA	20.39
2	2% de ANA	24.52
3	4% de ANA	23.12
4	6% de ANA	18.94
5	8% de ANA	20.77
Yj.		107.73
Ȳ.		21.55

En la tabla se presenta los datos de consolidados obtenidos del laboratorio de las dos cosechas realizadas sobre la variable porcentaje de extracción de aceite.

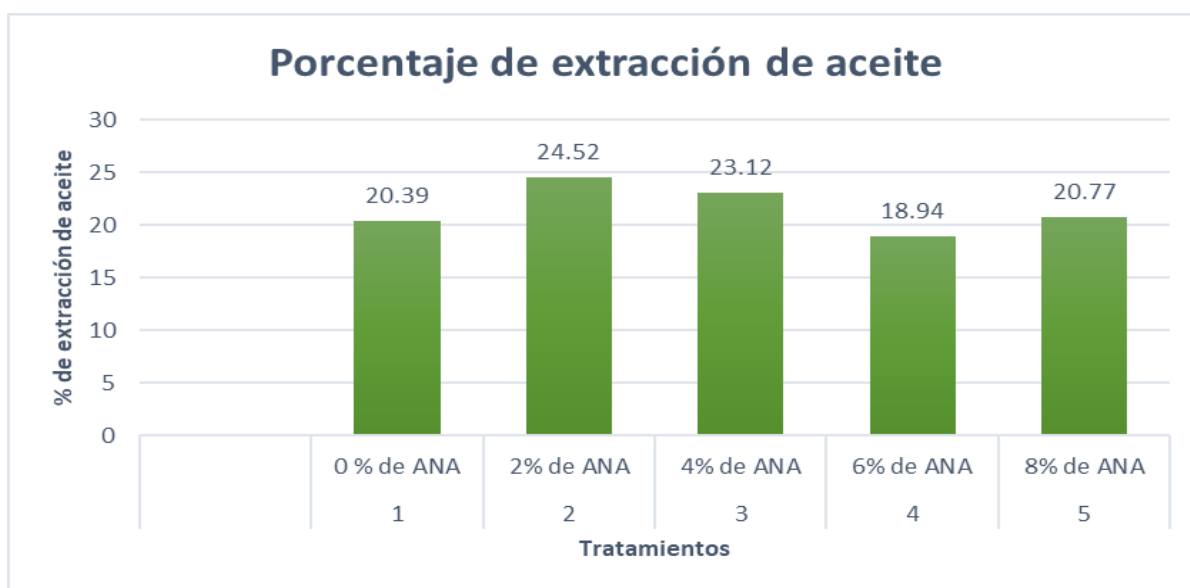


Figura 14. Resultados del porcentaje de extracción de aceite del fruto.

En la figura se presentan los resultados de la variable porcentaje de conversión de aceite donde se tuvo que los tratamientos dos y tres que contienen las concentraciones respectivas del 2% y 4% de ANA presentaron los mejores resultados en cuanto al porcentaje de aceite, con valores de 24.52% y 23.12%, respectivamente. Estos resultados sugieren que estas concentraciones son óptimas para estimular los procesos fisiológicos del fruto que favorecen la síntesis y acumulación de aceite indicando así que en la extracción de aceite son eficientes en concentraciones moderadas. La hormona ANA, como regulador de crecimiento, promueve la maduración más rápida y eficiente del fruto, mejorando la calidad de la pulpa y, en consecuencia, el rendimiento de aceite. Esta respuesta está alineada con el hecho de que las auxinas como el ácido alfa-naftalenacetico juegan un papel crucial en la regulación del crecimiento y el desarrollo del fruto, favoreciendo la partición de asimilados hacia las partes del fruto que almacenan aceite.

El tratamiento cuatro con 6% de ANA produjo el porcentaje más bajo de aceite con un resultado de 18.94%. Esto hipotéticamente podría adjudicarse a un efecto de sobreestimulación hormonal que desata respuestas fisiológicas adversas en la palma.

El tratamiento uno al cual no se aplicó ANA con 0% de concentración y del tratamiento cinco con una concentración del 8% de ANA presentaron porcentajes de aceite similares (20.39% y 20.77%, respectivamente). Esto puede sugerir que el uso de una concentración excesiva de ANA no ofrece beneficios adicionales en comparación con no usar la hormona. Esto podría deberse a que las concentraciones extremadamente altas de ANA sobresaturan los receptores hormonales o bloquean otros mecanismos de señalización necesarios para el desarrollo y maduración adecuada del fruto. El hecho de que los resultados del 8% no mejoren en gran medida los del control refuerza la hipótesis de que hay un umbral de concentración a partir del cual el ANA deja de ser eficaz o incluso perjudica el proceso.

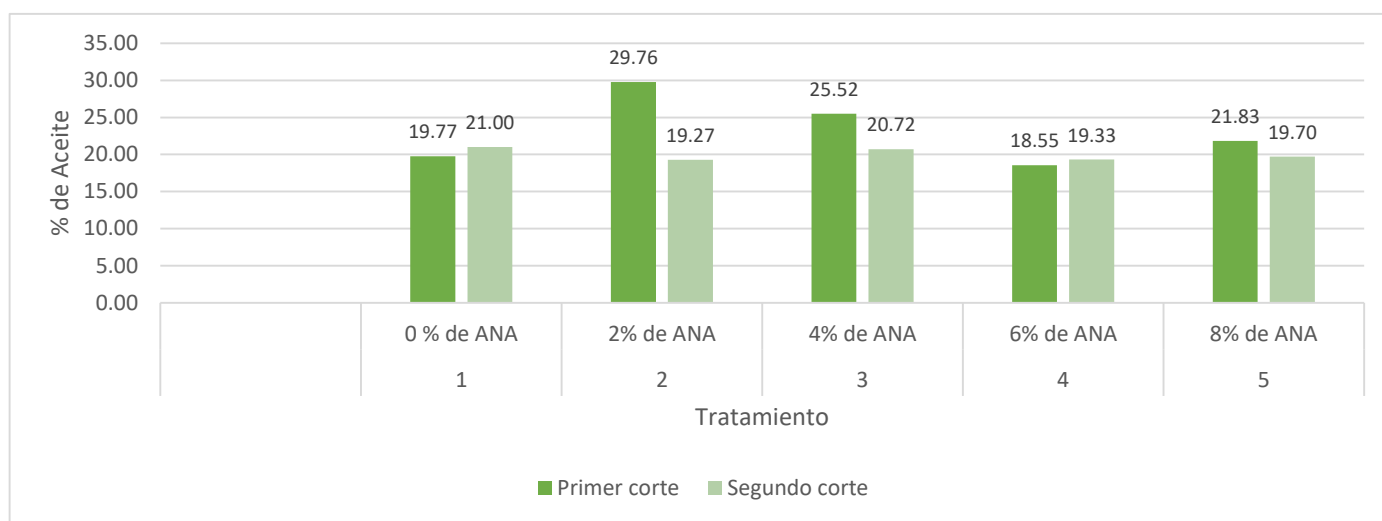


Figura 15. Porcentaje de extracción de aceite en las dos cosechas realizadas.

En el tratamiento uno con 0% de ANA a simple vista se observan los porcentajes en el primer y segundo corte son 19.77 y 21.00 respectivamente. Estos datos sirvieron como referencia para ver el comportamiento de *Elaeis guineensis* sin aplicación de ANA. A pesar de no recibir tratamiento con ANA, el rendimiento presentó una tendencia al alza en el segundo corte, lo que podría estar relacionado con el desarrollo fisiológico natural del fruto. El rendimiento relativamente bajo en comparación con otros tratamientos resalta la importancia de la aplicación de ANA para mejorar la productividad.

El análisis de los resultados muestra que los tratamientos dos y tres de las concentraciones de ANA 2% y 4% generan los mejores porcentajes de extracción de aceite. El tratamiento dos con 2% de ANA se destacó por alcanzar el valor más alto en el primer corte. El tratamiento tres, con una concentración del 4%, mantuvo un rendimiento estable en ambos cortes; estas concentraciones demostraron ser las más eficientes para mejorar la producción de *Elaeis guineensis* sin generar efectos adversos.

Por otro lado, los tratamientos con concentraciones más altas, como el tratamiento cuatro de 6% y el tratamiento cinco de 8% de ANA, no mostraron mejoras significativas en comparación con las concentraciones moderadas. De hecho, el tratamiento con 6% presentó el porcentaje de extracción más bajo en el primer corte, lo que sugiere que una dosis excesiva de ANA podría tener efectos negativos en el desarrollo del fruto, posiblemente debido a un estrés fisiológico causado por la sobreestimulación hormonal. Esto destaca la importancia de utilizar ANA en concentraciones óptimas para maximizar la eficiencia y evitar efectos contraproducentes en la producción de aceite de *Elaeis guineensis*.

La variabilidad en los resultados de las concentraciones de ANA demostró la importancia de un manejo adecuado de las dosis de reguladores de crecimiento en el cultivo de *Elaeis guineensis*. En base al resultado el rendimiento en términos de porcentaje de aceite no se maximiza simplemente aumentando la concentración de la hormona; en cambio, se necesita una dosis óptima para obtener resultados positivos. Para realizar un análisis estadístico y reafirmar los resultados obtenidos es importante realizar un análisis de covarianza al 5%.

Tabla 11. Datos transformados de porcentaje de aceite.

Tratamiento	Concentración de ANA	Datos transformados de % de extracción de aceite
1	0 % de ANA	26.84
2	2% de ANA	29.68
3	4% de ANA	28.74
4	6% de ANA	25.80
5	8% de ANA	27.11
Yj.		138.16
Ȳ.		27.63

En la tabla se presenta los datos transformados para realizar el análisis de covarianza y así mismo la prueba de medias Tukey al 5% de la variable porcentaje de extracción de aceite.

Tabla 12. Análisis de covarianza en la variable porcentaje de concentración de aceite.

F.V.	SC	gl	CM	F	P-valor	5%	Coef
Modelo	1920.81	9	213.42	512.01	<0.0001	0.05	
Tratamiento	1.94	4	0.48	1.16	0.3668	0.05	
Bloque	1917.39	4	479.35	1149.96	<0.0001	0.05	
# Racimos	1.49	1	1.49	3.57	0.0782	0.05	-0.09
Error	6.25	15	0.42				
Total	1927.07	24					

C.V.= 6.38%

El análisis de covarianza (ANCOVA) realizado sobre el porcentaje de extracción de aceite revela aspectos relevantes en la investigación como el efecto del tratamiento el cual no resulta significativo, con un p-valor de 0.3668, superior al umbral de 0.05. Esto indicó que las diferentes concentraciones de ácido alfa-naftalenacético “A.N.A.” aplicadas no generaron diferencias estadísticamente significativas en el porcentaje de extracción de aceite, por lo tanto, se acepta la hipótesis nula que indica que todos los tratamientos presentarán el mismo efecto en la variable respuesta, en este caso es la extracción de aceite. Consecuentemente, en esta variable, el tratamiento con ANA no parece ser determinante para aumentar la extracción de aceite significativamente de forma estadística, pero si se presenta diferencia en los resultados siendo tratamiento dos con el 2% de ANA el que presentó un 29.68%. Dado los resultados obtenidos no se realizó una prueba múltiple de medias de Tukey al 5% para establecer cuáles fueron los mejores ya que todo indica que son estadísticamente iguales.

La covariable (N. Racimos) muestra un coeficiente negativo de -0.09, con un p-valor de 0.0782, lo que indicó que no es significativa al nivel del 5%, aunque está cerca del umbral de significancia. Esto podría sugerir una ligera tendencia negativa en la relación entre el número de racimos y el porcentaje de extracción de aceite, pero no es concluyente en esta prueba.

Tabla 13. Análisis de laboratorio del porcentaje de aceite de la empresa grupo HAME.

CORTE	AÑO DE SIEMBRA	Tratamiento	KG	Unidades buenas	Unidades partenocarpio	Fruto total	% de fruto en relación a Racimo	% Aceite	% Raquis	% Agua En Fruto	% Almendra	%Aceite/fruto
Primero	2009	1	22.19	3,423	475	3898	61.47	19.77	29.61	22.46	5.22	35.02
Primero	2009	2	22.84	2,968	690	3658	64.92	29.76	26.18	16.82	3.79	52.44
Primero	2009	3	15.27	1,994	2159	4153	53.31	25.52	23.64	17.71	2.38	50.64
Primero	2009	4	15.01	2,011	152	2163	61.83	18.55	32.58	19.96	9.46	29.87
Primero	2009	5	12.37	1,677	166	1843	57.95	21.83	37.27	15.68	6.40	44.11
Segundo	2009	1	14.24	1,603	630	2233	51.69	21.00	37.85	15.73	4.03	45.30
Segundo	2009	2	20.11	2,568	465	3033	61.31	19.27	30.03	20.06	6.00	34.05
Segundo	2009	3	16.59	1,514	252	1766	59.07	20.72	25.32	18.23	6.15	34.39
Segundo	2009	4	23.90	1,639	402	2041	59.12	19.33	30.00	19.37	6.25	33.27
Segundo	2009	5	20.15	1,992	231	2223	57.82	19.70	34.24	21.02	5.85	32.80
PROMEDIO			18.27	2,139	562	2701	58.85	21.55	30.67	18.70	5.55	39.19

Fuente: Laboratorio de grupo HAME (2024).

En la tabla se presentan los resultados obtenidos en el laboratorio para la finca "Ilusiones" en el lote 3, con las variedades IRHO y GHANA sembradas en 2009, destacan diferencias en los parámetros evaluados bajo diversos tratamientos. El tratamiento dos alcanzó el mayor porcentaje de aceite con 29.76% y el mayor índice de extracción de aceite por fruto con 52.44%, lo cual sugiere un efecto positivo de esta concentración en la promoción de la acumulación de aceite en los frutos. En contraste, el tratamiento tres mostró un rendimiento de aceite del 25.52%, y aunque no fue el más bajo, refleja una diferencia significativa respecto al tratamiento dos. Además, el tratamiento uno, aunque tiene un porcentaje de fruto en relación al racimo similar al tratamiento cuatro (61.47% y 61.83%, respectivamente), presenta un menor porcentaje de aceite (19.77%) en comparación con los tratamientos dos y tres.

Por otro lado, el análisis del promedio de agua en fruto indicó que el tratamiento cinco alcanzó un valor más alto (21.02%) y un índice de aceite/fruto menor (32.80%) en comparación con el tratamiento dos. Esto sugiere que niveles elevados de humedad pueden afectar negativamente la extracción de aceite, posiblemente diluyendo los compuestos grasos en el fruto. En general, el análisis promedio sugirió que el tratamiento dos es el más efectivo para maximizar el contenido de aceite, optimizando el rendimiento en la extracción.

2.2. Rendimiento de aceite en kilogramos por hectárea.

Tabla 14. Resultados de rendimiento de aceite en kilogramos por hectárea.

Tratamiento	Concentración de ANA	Rendimiento en kg/ha	Porcentaje	Rendimiento de aceite en kilogramos por hectarea
1	0 % de ANA	4164.61	0.2039	849.16
2	2% de ANA	3904.43	0.2452	957.37
3	4% de ANA	4323.13	0.2312	999.51
4	6% de ANA	5003.74	0.1894	947.71
5	8% de ANA	4337.78	0.2077	900.96
Yj.		21733.69	1.08	4654.70
Ȳ.		4346.74	0.22	930.94

En la tabla 14 se presentan los datos del rendimiento de aceite obtenido en kilogramos por hectárea de las dos cosechas realizadas. A continuación, se presenta con mayor detalle el resultado del rendimiento de aceite en kilogramo por hectárea.

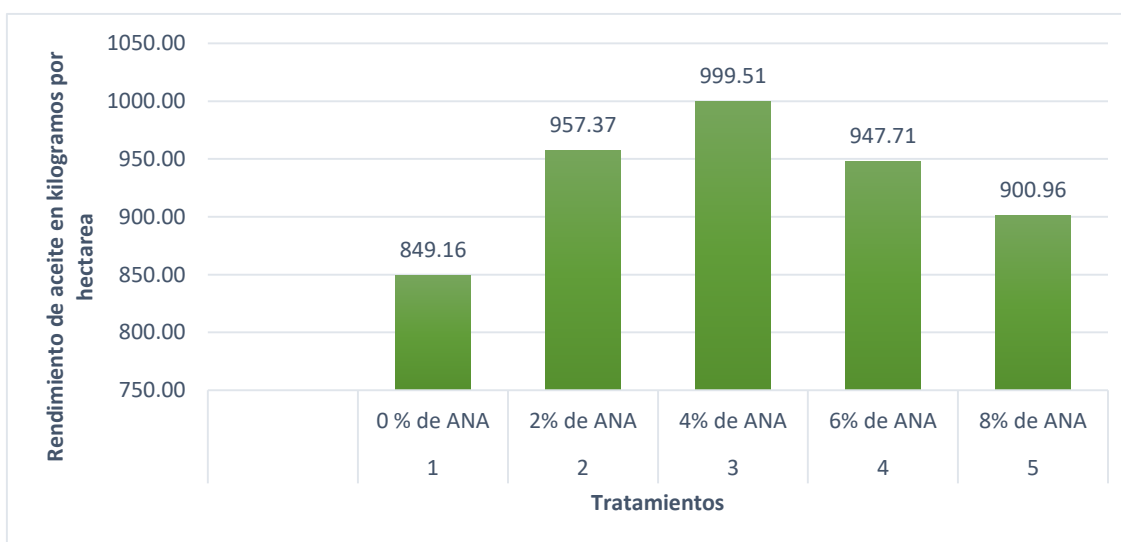


Figura 16. Resultado de rendimiento de aceite en kilogramos por hectárea.

Al analizar el rendimiento de aceite en kilogramos por hectárea en función de los distintos tratamientos con ácido naftalenacético ANA, se observó una variabilidad en los resultados, lo cual permitió obtener una mejor comprensión de cómo cada concentración influye en la producción de aceite por hectárea en el cultivo de palma africana.

El tratamiento tres con el 4% de ANA presentó el mayor rendimiento en aceite, alcanzando 999.51 kilogramos por hectárea, seguido por el tratamiento con 2% de ANA, con un rendimiento de 957.37 kilogramos de aceite por hectárea. Estos resultados sugieren que estas concentraciones de ANA pueden tener un efecto positivo en la eficiencia de extracción de aceite, maximizando el rendimiento por hectárea. Por otro lado, el tratamiento sin ANA (0%) muestra un rendimiento de 849.16 kilogramos por hectárea, mientras que concentraciones más altas de 6% y 8% presentan valores ligeramente inferiores (947.71 y 900.96 kilogramos de aceite por hectárea, respectivamente). Estos hallazgos podrían indicar que, a partir de un cierto nivel de concentración de ANA, los beneficios en términos de rendimiento de aceite disminuyen.

Para reafirmar y validar los resultados, se realizó un análisis estadístico, comenzando con un análisis de covarianza al nivel de significancia del 5%. Este análisis permitió evaluar el efecto de los tratamientos aplicados mientras se controló la influencia de otras variables.

Tabla 15. Análisis de covarianza de rendimiento de aceite en kilogramos por hectárea.

F.V.	SC	gl	CM	F	P-valor	5%	Coef
Modelo	3426967.04	9	380774.12	554.72	<0.0001	0.05	
Tratamiento	2653.68	4	663.42	0.97	0.4500	0.05	
Bloque	3423994.96	4	855998.74	1247.05	<0.0001	0.05	
# Racimos	318.40	1	318.40	0.46	0.5100	0.05	-1.37
Error	10296.32	15	686.42				
Total	3437263.35	24					

C.V.= 13.73%

La tabla indicó que el análisis de covarianza (ANCOVA) realizado sobre el rendimiento de aceite en kilogramos por hectárea permitió evaluar la influencia de los tratamientos en el rendimiento final de aceite. El factor "Tratamiento" mostró un valor P de 0.4500, lo que indicó que no hubo una diferencia significativa en el rendimiento de aceite entre las diferentes concentraciones de ANA al nivel de significancia del 5%. Esto sugiere que las variaciones en la concentración de ANA no afectaron significativamente el rendimiento de aceite en términos de kilogramos

por hectárea. La covariable "# Racimos" tampoco mostró un efecto significativo en el rendimiento de aceite ($P = 0.5100$), con un coeficiente de -1.37, indicando una relación leve y negativa, pero no significativa, entre el número de racimos y el rendimiento de aceite.

Dado que los resultados no mostraron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos, no fue necesario realizar una prueba de comparación múltiple de medias de Tukey al 5% para identificar cuál tratamiento fue mejor. Esto sugiere que todos los tratamientos fueron estadísticamente equivalentes en su efecto sobre el rendimiento de aceite, por lo que no se justifica una comparación adicional para diferenciar entre ellos.

3. Evaluación del efecto de las diferentes concentraciones de ácido alfa-naftalenacético “A.N.A.” sobre los días a maduración después de aplicación en el cultivo de *Elaeis guineensis* “palma africana”.

A continuación, se presenta las variables respuestas evaluadas:

3.1. Días promedio a maduración después de la aplicación ácido alfa-naftalenacético “A.N.A.”.

Tabla 16. Resultados de días a maduración después de aplicación “A.N.A.”

Tratamiento	Concentración de ANA	Bloques					Yi.	Ȳ.
		I	II	III	IV	V		
1	0 % de ANA	158	159	159	162	160	796	159
2	2% de ANA	140	147	145	146	140	717	143
3	4% de ANA	140	140	140	146	140	705	141
4	6% de ANA	140	140	145	140	145	708	142
5	8% de ANA	145	140	140	145	146	715	143
Yj.		722	725	727	738	729	3640	146

En la tabla se presenta los datos de consolidados de las dos cosechas realizadas sobre la variable días promedio a maduración después de la aplicación.

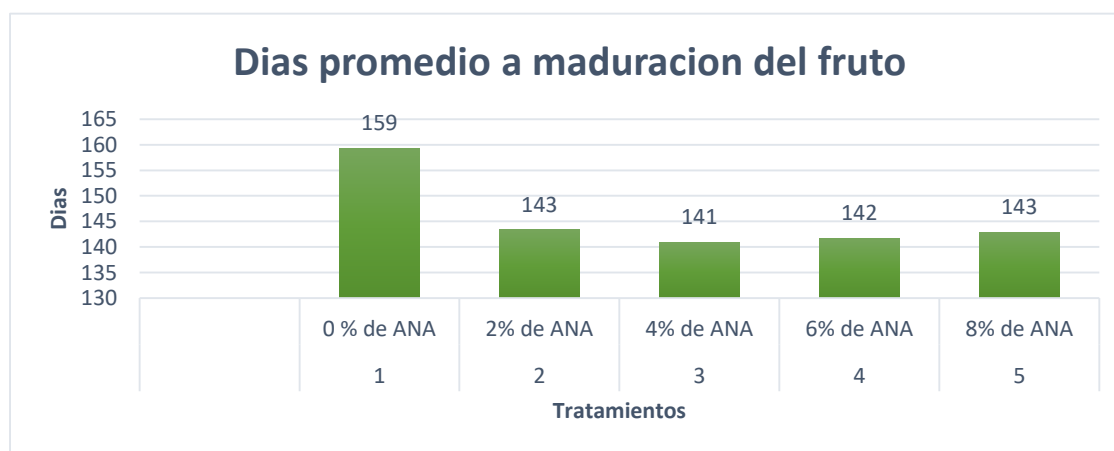


Figura 17. Resultados de días a maduración después de la aplicación.

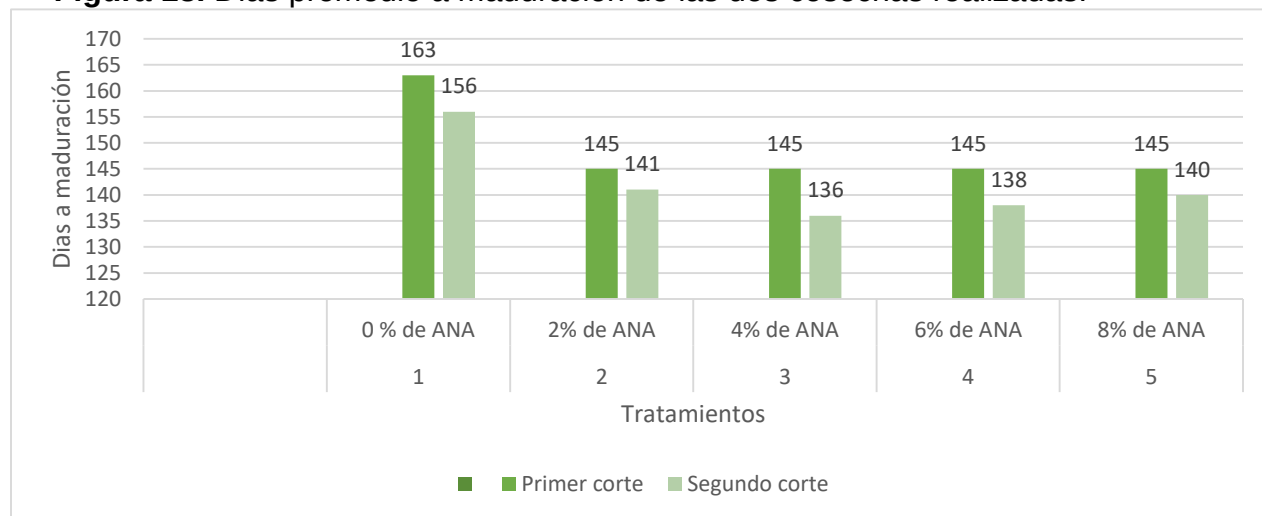
En la figura se presentan los días a maduración después de aplicación en donde se obtuvieron resultados importantes a tomar en cuenta. El tratamiento uno sin aplicación presentó más días a maduración hasta la cosecha siendo un dato de 159

días promedio en total, el tratamiento dos que contiene 2% de ANA presenta 143 días promedio, el tratamiento tres que contiene 4% presenta 141 días promedio, el tratamiento cuatro que tiene 6% presentó maduración a los 142 días promedio y el tratamiento cinco que consistía de 8% de ANA presenta 143 días promedio.

Los días promedio a la maduración después de aplicación fue una variable clave para observar un efecto que puede producir al utilizar la hormona ácido alfa-naftalenacético (ANA) en el fruto de *Elaeis guineensis* y se presentó en los resultados dado que el tratamiento uno el cual fue el testigo absoluto al cual no se le aplicó nada requirió más días para alcanzar la maduración completa mientras que con la aplicación de la hormona se observó que acorta ligeramente algunos días para la maduración. Aunque la diferencia en días fue pequeña, se evidencia un efecto claro en la aceleración del proceso de la maduración. La investigación se basó en analizar el efecto en el peso y en el rendimiento, sin embargo, esto resaltó un aspecto relevante el proceso de la fisiología dentro del fruto de *Elaeis guineensis*.

A continuación, se presentan los datos de días promedio a maduración en las dos cosechas que se realizaron.

Figura 18. Días promedio a maduración de las dos cosechas realizadas.



El corte se realizó en base al indicador de maduración el cual es cuando la fruta desprende de tres a cinco o inclusive más frutos aun estando en la palma, si esto sucede se procede a cortarlo.

En la figura se observan los resultados del efecto de distintas concentraciones de ANA en la maduración del fruto de *Elaeis guineensis* en dos cortes realizados. Por un parte, el tratamiento sin ANA (0%) muestra los valores más altos en ambos cortes, con 163 y 156 días promedio, respectivamente, lo que indicó brevemente que, sin la hormona, el tiempo hasta la maduración es gradualmente mayor. Aquí se pone en relevancia que, si no se aplica con ANA, el fruto requiere más días para madurar completamente aun así siendo una diferencia mínima de los días.

Los tratamientos con ANA (2%, 4%, 6%, 8%) presentaron una disminución considerable en los días hasta la maduración, manteniéndose constantes en el primer corte con 145 días promedio para todas las concentraciones. En el segundo corte, los días variaron ligeramente entre 136 y 141 días promedio. Estos resultados sugirieron que la aplicación de ANA aceleró levemente la maduración de los frutos, aunque el incremento de la concentración de la hormona no generó mayor diferencia entre los tratamientos, indicando que una concentración de ANA superior a 2% no parece producir un efecto adicional significativo en la reducción del tiempo de maduración.

Se observa que el tratamiento con 2% de ANA parece ser el más efectivo, ya que redujo significativamente el tiempo de maduración en ambos cortes (145 días promedio en el primer corte y 141 días promedio en el segundo corte), sin mostrar una disminución notable al aumentar la concentración de ANA. Aunque las concentraciones de 4%, 6%, y 8% también redujeron el tiempo de maduración, no presentan una mejora significativa adicional. Esto sugiere que el uso de 2% de ANA es suficiente para acelerar la maduración, y mayores concentraciones no ofrecen una ventaja considerable en términos de reducción de días.

Para observar si existió diferencia significativa estadísticamente se procedió a realizar análisis de covarianza a la variable días a maduración después de aplicación y así mismo una prueba de medias de Tukey al 5%, si es necesario.

En la siguiente tabla se presenta el análisis de covarianza de las variables días promedio a maduración después de aplicación de ácido alfa-naftalenacético “A.N.A.”

Tabla 17. ANCOVA de variable días promedio a maduración después de aplicación.

F.V.	SC	gl	CM	F	P-valor	5%	Coef
Modelo	1217.52	9	135.28	17.15	<0.0001	0.05	
Tratamiento	1187.84	4	296.96	37.65	<0.0001	0.05	
Bloque	29.44	4	7.36	0.93	0.4712	0.05	
# Racimos	0.24	1	0.24	0.03	0.8631	0.05	0.04
Error	118.32	15	7.89				
Total	1335.84	24					

C.V.= 1.92%

Se muestran los resultados importantes sobre el efecto del tratamiento. En primer lugar, el efecto del tratamiento es altamente significativo, con un valor de $p < 0.0001$ al 5% de significancia. Esto indicó que si existió diferencia significativa y que las distintas concentraciones de ANA aplicadas en los tratamientos influyeron significativamente en los días necesarios para que el fruto madure, lo cual validó la hipótesis de que el ácido alfa-naftalenacético tiene un impacto notable en la variable respuesta la cual es aceleración o retraso del tiempo de maduración del fruto de *E. guineensis*.

Por otro lado, la covariable (N. Racimos) no resultó significativo, con valores de p de 0.8631. Este resultado indicó que la covariable de número de racimos tuvieron un efecto relevante en los días a maduración, lo cual podría indicar que el factor principal que afecta la variable de respuesta fue la concentración de ANA utilizada en los tratamientos. Dado los resultados obtenidos se realizó una prueba múltiple de medias de Tukey al 5% para establecer cuál o cuáles fueron los mejores.

Tabla 18. Prueba de Tukey 5% para días a maduración después de la aplicación.

Tratamiento	Medias	Literales	
3 (4% de ANA)	141.28	A	
4 (6% de ANA)	141.91	A	
5 (8% de ANA)	143.18	A	
2 (2% de ANA)	143.73	A	
1 (0% de ANA)	159.5		B

En la tabla se presentó la prueba de medias de Tukey donde se observa que el único tratamiento diferente significativamente fue el uno el cual contiene 0% de ANA.

Se reveló diferencias significativas en el tiempo de maduración entre los tratamientos con diferentes concentraciones de ANA. Los tratamientos con 4%, 6%, 8%, y 2% de ANA no presentaron diferencias estadísticamente significativas entre sí, ya que todos compartieron la letra "A" en la columna de literales, lo que indica que estos tratamientos resultaron en tiempos de maduración similares, sugiriendo que la aplicación de ANA en concentraciones del 2% al 8% produjeron un efecto comparable en la reducción del tiempo de maduración en comparación con el tratamiento sin aplicación de ANA.

En contraste, el tratamiento uno (0% de ANA) mostró una media de 159.5 días, significativamente mayor que los otros tratamientos. Esto indicó que la ausencia de ANA aumentó levemente el tiempo de maduración. Estos resultados destacan el impacto positivo de la hormona en acortar ligeramente el tiempo de maduración, con un efecto notable desde la concentración más baja (2%). En términos generales, esto sugiere que la aplicación de ANA puede ser efectiva para acelerar el ciclo de maduración de los frutos, aunque no se observan diferencias claras de beneficio al aumentar la concentración más allá del 2%, ya que las concentraciones superiores (4%, 6%, y 8%) no reducen aún más el tiempo de maduración.

4. Evaluación de los costos de aplicación del ácido alfa-naftalenacético “A.N.A.”, comparando los resultados de los tratamientos para identificar el más eficiente en términos económicos y de rendimiento en el cultivo de *Elaeis guineensis*.

4.1. Costos de aplicación

En la siguiente tabla se presenta los costos de mano de obra en la aplicación de ácido alfa-naftalenacético por hectárea.

Tabla 19. Costos de mano de obra en la aplicación de “A.N.A.”.

COSTO DE APLICACIÓN ANA									
Salario minimo	Q 102.00				salario caporal	Q 104.00	salario cap con prest	Q 172.64	
Salario con prest.	Q 163.50				7.72	Salario Caporal	\$ 22.36		
	Prom salario min \$	\$ 21.18			\$ 21.18	Personal Operativo	\$ 21.18		
					0				
Mano de obra aplicacion ANA	Rend Has/pers	Has Finca	Has de aplicación	Finca/Lotes	Ciclos de aplicación / mes	Jorn mes	TOTAL JORN	TOTAL \$	\$/HAS
Aplicación ANA	2.8	2.63	2.63	Investigación	1	0.94	0.94	19.89	7.56
Caporal	7					0.38	0.38	8.40	3.19
						1.32	1.32	28.29	
TOTAL \$						28.29	28.29		
\$/ HAS APLICADA						10.76	10.76		10.76

El costo total por hectárea considerando ambas categorías asciende a \$10.76 por hectárea recorrida, lo cual es clave evaluando la inversión en la mano de obra necesaria para el mantenimiento y control eficiente de los racimos. Este análisis permite visualizar la distribución de los costos y su impacto en la gestión de la finca donde es importante mencionar que en los tratamientos que se aplicó ANA este dato no tendrá variación debido a que solo se toma en cuenta la mano de obra omitiendo el tratamiento uno al cual no se le aplicó ANA.

En la siguiente tabla se presenta los costos de insumos en la aplicación de ácido alfa-naftalenacético por hectárea.

Tabla 20. Costos de insumos en la aplicación de ANA

				Has finca	2.63	Ciclos de aplicación / mes	1		frutos aplic/HA	59
Detalle de insumos para aplicación ANA	Und. medida	Dosis por Fruto (Gramos)	Cantidad	precio unitario Q	precio unit \$	Total frutos aplicados	Cant.a utilizar	Monto \$	Has de aplicación	2.63
Fertilizante Enercrop (ANA)	kg	0.28	1	727.6663	94.26	155.17	0.043	4.10	1.56	
Fertilizante Tecnosilix (talco)	kg	6.72	1	4.853	0.63	155.17	1.043	0.66	0.25	
Espolvoreador (polmax)	und		1	1026.785	133.00		0.036	4.80	1.83	
Tubo de aluminio	und		1	349	45.21		0.036	1.63	0.62	
TOTAL \$							\$	11.19		
\$/ HAS APLICADA							\$		4.25	

En la tabla se presentó los costos utilizados para la concentración de ANA al 4% donde, se aplicó en una dosis de 0.28 gramos por fruto, lo que se traduce en la necesidad de 0.043 kilogramos es decir 43 gramos de la hormona ácido alfanaftalenacético para cubrir 155 frutos, siendo este es el insumo más costoso, con un precio unitario de \$94.26 por kilogramo.

El costo total de los insumos fue de \$11.19 en 2.63 hectáreas, lo que equivale a \$4.25 por hectárea aplicada. La mayoría de este costo proviene de la hormona ANA, lo cual es comprensible dado su rol central en el aumento del rendimiento del cultivo. Es importante mencionar que el equipo de aplicación no es específicamente para la labor si no que se adecuó para llevar a cabo la aplicación, aunque es una inversión significativa, tiene la ventaja de ser reutilizable en ciclos futuros, lo que reduce los costos operativos a largo plazo.

Además, el uso de talco como vector se asegura una distribución homogénea de la hormona, lo que refuerza la eficiencia del tratamiento. Al considerar el bajo costo por hectárea de \$4.25, la aplicación de ANA parece ser una estrategia económica viable para incrementar el rendimiento de las plantaciones de palma africana, sobre todo si los resultados esperados en términos de mayor producción de racimos y frutos se materializan.

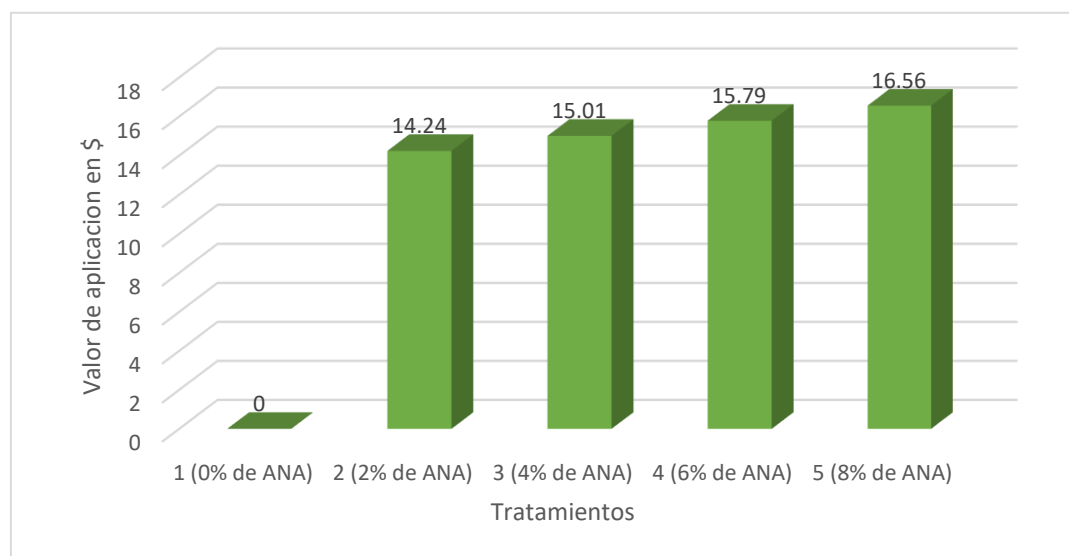
Es importante mencionar que lo presentado es lo que se utiliza actualmente con el testigo relativo el cual fue el tratamiento tres con la concentración al 4% de ANA. Dentro de los costos de insumos para la aplicación lo que varió fue el dato de dosis por fruto dispuesto en gramos ya que esa fue la cantidad que se utilizó en siete gramos que fue la dosis estándar utilizada lo que se evaluó en esta investigación es la concentración de cada dentro de la dosis de siete gramos.

Tabla 21. Costos de aplicación por tratamiento en \$ por hectárea.

Rubro	Costo por Ha \$ aplicada por Tratamiento				
	1 (0% de ANA)	2 (2% de ANA)	3 (4% de ANA)	4 (6% de ANA)	5 (8% de ANA)
Mano Obra	0	10.76	10.76	10.76	10.76
Insumos	0	3.48	4.25	5.03	5.80
Total	0	14.24	15.01	15.79	16.56

En la tabla se detallan los costos de aplicación por hectárea en dólares para cada uno de los tratamientos evaluados, proporcionando una mejor visión del impacto económico de cada estrategia aplicada. Los datos desglosados permiten comparar y analizar las diferencias de inversión necesarias según el tratamiento.

Más adelante se presenta el análisis gráfico correspondiente, el cual complementa la interpretación de los costos, permitiendo visualizar de manera más efectiva las tendencias y variaciones entre los diferentes tratamientos, contribuyendo a una mejor comprensión del impacto económico por hectárea en el cultivo evaluado.

**Figura 19.** Costos de aplicación de ácido alfa-naftalenacético en dólares por hectárea.

En la figura se presentan los costos por hectárea en dólares por cada uno de los tratamientos. En el tratamiento uno que fue el testigo absoluto no se aplicó ANA es por ello que el resultado fue 0, en el tratamiento dos con el 2% de ANA se obtuvo el costo por aplicación en dólares el cual fue el más bajo debido a la cantidad usada tanto hormona como talco con un valor de \$14.24, en el tratamiento tres con el 4%

de ANA el cual fue el testigo absoluto se tiene un gasto por hectárea de \$15.01, en el tratamiento cuatro el cual tuvo 6% de ANA presentó un gasto de \$15.79 por hectárea aplicada y por último el tratamiento con mayor relativamente fue el cinco con una concentración al 8% de ANA presentó un gasto por aplicación de \$16.56

En el tratamiento uno, donde no se aplicó ANA no creo ningún gasto directo; sin embargo, es crucial destacar que la labor de aplicación de ANA no solo implica la labor de aplicar una hormona, sino que también contribuye al control interno y monitoreo de los frutos en producción. Aunque a nivel empresarial existe una labor específica dedicada al conteo de racimos, la aplicación de ANA complementa esta tarea, brindando un seguimiento adicional dentro de cada finca tratada. Por tanto, el costo de mano de obra asociado a la aplicación de ANA no solo aportó beneficios relacionados con la hormona, sino que también mejoró la eficiencia en el seguimiento y control de los frutos lo que justifica su valor agregado.

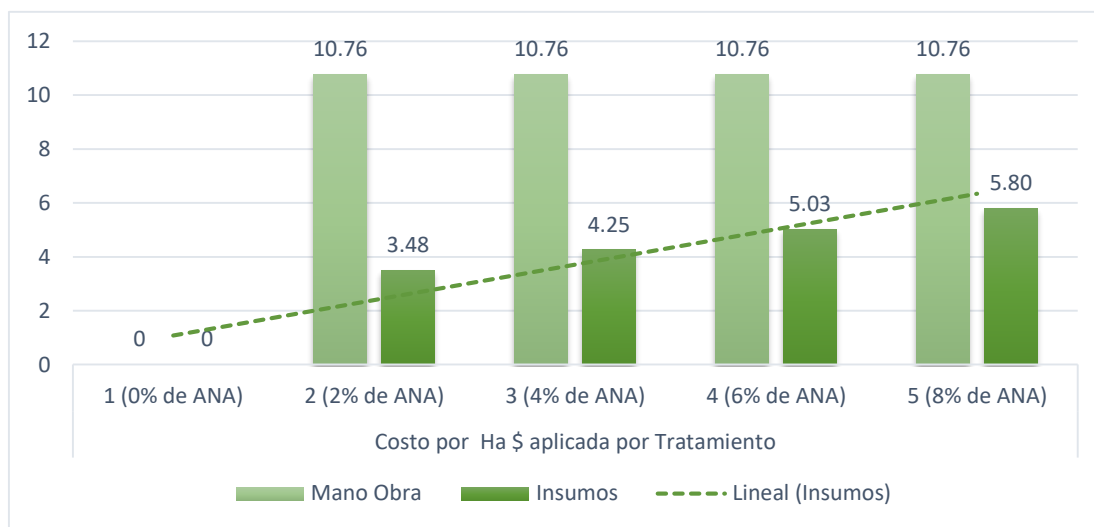


Figura 20. Costos de mano de obra e insumos de tratamientos evaluados.

En la figura se presentan los costos por hectárea aplicados en los cinco tratamientos con diferentes concentraciones de ANA. Al observar los resultados, se puede notar que el tratamiento uno, que no incluyó la aplicación de ANA 0%, no incurrió en costos de mano de obra ni materiales, lo que reflejó la ausencia de la hormona y los insumos asociados. Esto implicó que cualquier intervención con ANA aumenta los costos operativos.

Para los tratamientos dos, tres, cuatro y cinco, donde se aplican concentraciones de ANA de 2%, 4%, 6% y 8%, los costos incluyen tanto mano de obra como materiales. En todos estos tratamientos, el costo de mano de obra fue constante a \$10.76 por hectárea, lo que reflejó la uniformidad en el número de jornales necesarios para aplicar la hormona, sin importar la concentración. Sin embargo, el costo de insumos varía con la concentración de ANA, aumentando de manera progresiva. En el tratamiento con 2% de ANA, el costo de materiales fue el más bajo, \$3.48 por hectárea, mientras que en el tratamiento con 8% de ANA, el costo asciende a \$5.80 por hectárea, reflejando el incremento en la cantidad de insumos necesarios para concentraciones mayores.

Esta diferencia en costos se debió al incremento en la cantidad de hormona ANA aplicada por hectárea a medida que la concentración aumentó y eso se puede observar en la tabla de costos de insumos en la aplicación de ANA los, en donde la columna de dosis por fruto es la cantidad que va a cambiar en base a los tratamiento, ya que fue una relación de la dosis aplicada que es de siete gramos por la concentración a utilizar en el tratamiento dos se tiene que en siete gramos de mezcla se va a utilizar 0.14 gramos de ANA y 6.86 gramos de talco, en el tratamiento tres se utilizó 0.28 gramos de ANA y 6.72 gramos de talco, para el tratamiento cuatro se utilizó 0.42 gramos de ANA 6.58 gramos de talco y para el tratamiento cinco se utilizó 0.56 gramos de ANA y 6.44 gramos de talco. Estas variaciones a nivel hectárea es lo que modifica levemente los costos

En la siguiente tabla se presentó los costos de aplicación en quetzales por hectárea para cada uno de los tratamientos.

Tabla 22. Costos totales de aplicación por tratamiento en quetzales por hectárea.

Rubro	Costo Ha Q aplicada por Tratamiento				
	1 (0% de ANA)	2 (2% de ANA)	3 (4% de ANA)	4 (6% de ANA)	5 (8% de ANA)
Mano Obra	0	83.06	83.06	83.06	83.06
Insumos	0	26.87	32.84	38.81	44.78
Total	0	109.93	115.90	121.87	127.84

En las figuras 21 y 22 se detalla mejor la información de los costos totales de aplicación para cada uno de los tratamientos.

A continuación, en la siguiente figura se presentan los costos de aplicación de cada uno de los tratamientos en quetzales por hectárea

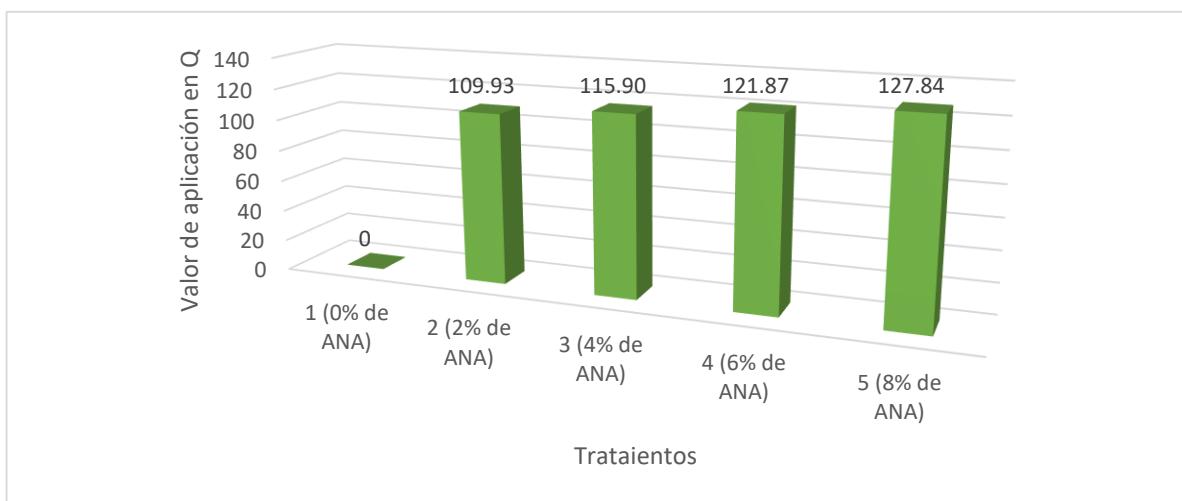


Figura 21. Costos de aplicación por hectárea en Quetzales.

La gráfica muestra que el costo de aplicación por hectárea aumenta con la concentración de A.N.A., desde Q109.93 del 2% de A.N.A. hasta Q127.84 del 8% de A.N.A.

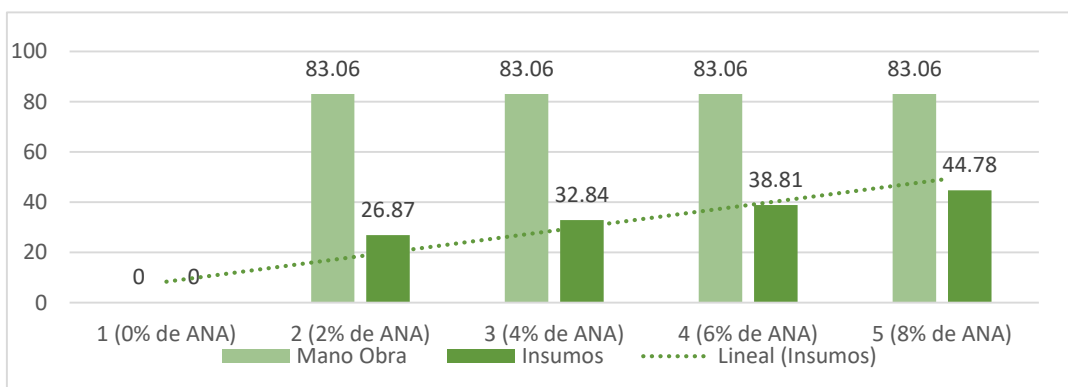


Figura 22. Costos de mano de obra e insumos en Quetzales.

Al convertir los costos de dólares a quetzales con un tipo de cambio de 7.72 en su momento, se observó que el tratamiento uno, sin la aplicación de ANA, no generó costos, mientras que los tratamientos dos, tres, cuatro y cinco, con concentraciones crecientes de ANA 2%, 4%, 6% y 8%, respectivamente, presentaron incrementos en los costos totales por hectárea.

Los costos de aplicación fueron desde Q 109.93 del tratamiento dos hasta Q 127.84 tratamiento cinco. Este aumento progresivo refleja el mayor uso de insumos, especialmente la hormona ANA, cuyo precio incrementa conforme se aumenta la concentración aplicada, a lo que también se sumó los costos de mano de obra que permanecen constantes para todos los tratamientos que aplican la hormona.

A partir de los resultados, fue fundamental realizar una comparación para determinar cuál es el tratamiento óptimo, considerando varios factores importantes. No solo se debe evaluar el rendimiento de aceite por hectárea, sino también el peso promedio del fruto y el porcentaje de aceite extraído. Sin embargo, este análisis debió ser realizado teniendo en cuenta los costos asociados a la aplicación de cada tratamiento. Un enfoque integral permitirá identificar el equilibrio ideal entre el incremento en la productividad y los gastos adicionales que implica cada tratamiento.

En la siguiente tabla se presenta la comparación de los tratamientos del rendimiento en kilogramos por hectárea y el porcentaje de extracción de aceite bajo los costos de aplicación por hectárea

Tabla 23. Comparación de tratamientos en base al rendimiento de aceite en kg/Ha.

Tratamiento	Concenctracion	Rendimiento Kg/Ha	Porcentaje de extracción de aceite	Rendimiento promedio en kg de Aceite por Ha en dos cortes	Costo \$ por aplicación en Ha
1	0 % de ANA	4164.61	0.2039	849.16	0
2	2% de ANA	3904.43	0.2452	957.37	14.24
3	4% de ANA	4323.13	0.2312	999.51	15.01
4	6% de ANA	5003.74	0.1894	947.71	15.79
5	8% de ANA	4337.78	0.2077	900.96	16.56

Los datos muestran que, aunque el tratamiento con 6% de A.N.A. obtuvo el mayor rendimiento en fruta, presentó el menor porcentaje de extracción de aceite, lo que redujo su eficiencia. El tratamiento con 4% de A.N.A. logró el mayor rendimiento de aceite con un buen porcentaje de extracción y un costo moderado de aplicación, destacándose como el más equilibrado en términos de productividad y rentabilidad. Concentraciones mayores no generaron beneficios proporcionales, lo que confirma que el 4% es la dosis óptima.

A continuación, se presenta la gráfica de comparación de los tratamientos en base al rendimiento en kilogramos por hectárea y el porcentaje de extracción de aceite bajo los costos de aplicación por hectárea.

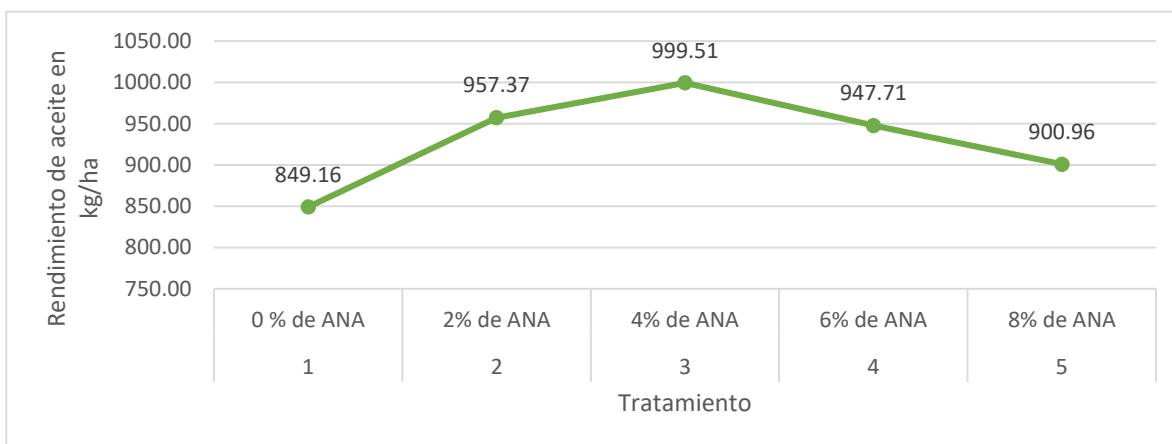


Figura 23. Comparación de tratamientos en base al rendimiento de aceite en kg/Ha

En la figura se presentan los resultados de rendimiento de aceite por hectárea de cada uno de los tratamientos. El rendimiento de aceite mostró un claro incremento inicial al aumentar la concentración de ANA. De 0% a 4% de concentración de ANA hubo un aumento constante en el rendimiento, pasando de 849.16 kilogramos por hectárea a 999.51 kg por hectárea. Esto sugiere que la aplicación de ANA obtuvo un impacto positivo hasta cierto punto en la producción de aceite.

A partir de la concentración del 4%, se observó una caída en el rendimiento. En el tratamiento cuatro con el 6% de ANA, el rendimiento de aceite bajó a 947.71 kilogramo por hectárea, y con el tratamiento cinco con el 8% de ANA, cayó aún más, a 900.96 kilogramo por hectárea. Esto indica que una mayor concentración de ácido alfa-naftalenacético ANA no necesariamente aumenta la producción, y puede haber un efecto negativo más allá de un cierto umbral.

El costo de aplicación aumentó con la concentración de ANA, lo cual fue esperado. Sin embargo, si se analiza el costo en relación con el rendimiento, se observó que la mayor ganancia en rendimiento ocurre con el tratamiento dos con el 2% de ANA y el tratamiento tres con el 4% de ANA, donde el aumento del rendimiento justificó el costo adicional de la aplicación. A partir del tratamiento cuatro con el 6% de ANA,

el costo sigue subiendo, pero el rendimiento ya no lo compensa, lo que sugiere que concentraciones más altas no son económicamente viables.

El tratamiento tres con el 4% de ANA parece que fue el punto óptimo en este caso, ya que tuvo el mayor rendimiento de aceite con 999.51 kilogramos por hectárea con un costo razonable de aplicación 15.01 dólares por hectárea o 115.90 quetzales por hectárea aplicada. Después de este punto, los rendimientos decrecen, y los costos continúan aumentando, lo que no sería ideal desde una perspectiva costo-beneficio. El uso de ANA en concentraciones de hasta un 4% mejoró significativamente el rendimiento de aceite, pero concentraciones más altas no sólo disminuyen el rendimiento, sino que también aumentan los costos, lo que las hace menos eficientes.

Tabla 24. Comparación de tratamientos sobre aceite obtenido por el peso promedio.

Tratamiento	Concentracion	Peso en Kg	Porcentaje de extracción de aceite	Aceite en Kg obtenido por peso promedio	Costo \$ por aplicación en Ha
1	0 % de ANA	16.67	0.2039	3.40	0
2	2% de ANA	19.84	0.2452	4.86	14.24
3	4% de ANA	20.65	0.2312	4.77	15.01
4	6% de ANA	19.92	0.1894	3.77	15.79
5	8% de ANA	18.31	0.2077	3.80	16.56

Se presenta la comparación de los tratamientos evaluados tomando en cuenta el peso y el porcentaje de extracción de aceite bajo los costos de aplicación por hectárea, en la cual se realizó para obtener el mejor tratamiento en base al peso del aceite promedio por racimo junto con el costo de aplicación.

A continuación, se muestra la gráfica de comparación de los tratamientos de peso promedio en kilogramos y el porcentaje de extracción de aceite bajo los costos de aplicación por hectárea.

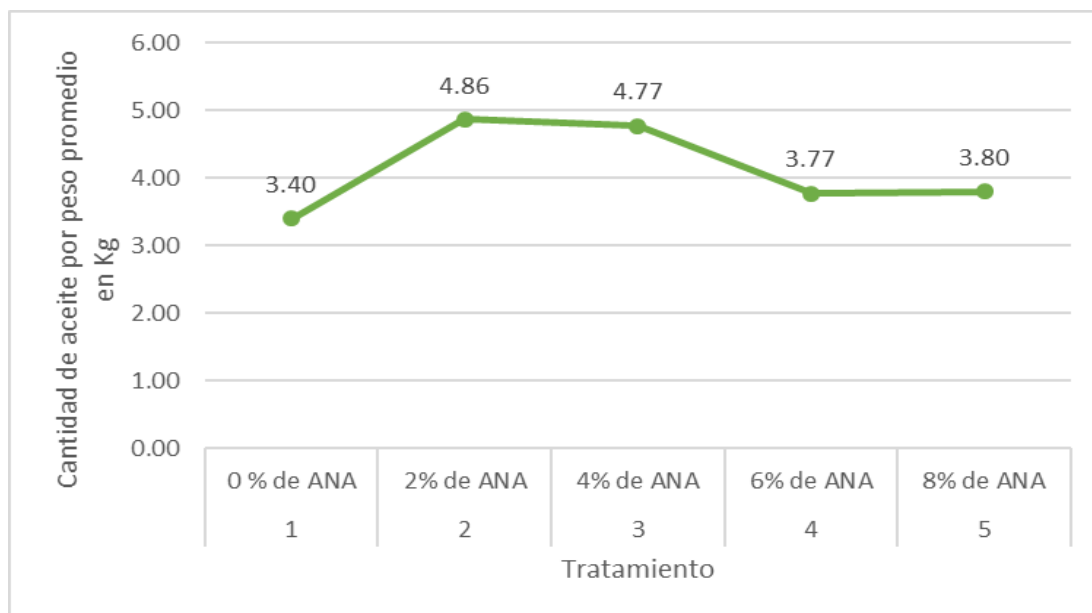


Figura 24. Comparación de tratamientos del peso de aceite promedio por racimo.

En la figura 24 se presentan los resultados de lo que se obtuvo del peso promedio del racimo en kilogramos, teniendo así el tratamiento dos con un 2% de ANA que destaca como el más eficiente, con un aumento significativo en la cantidad de aceite obtenido 4.86 kilogramos en comparación con el tratamiento sin ANA de 3.40 kilogramos. Este incremento sugirió que una baja concentración de ANA tiene un impacto positivo en la producción de aceite por peso promedio. Aunque se incurrió en un costo de aplicación de 14.24 dólares por hectárea, la ganancia en rendimiento justificó el gasto adicional.

Después del tratamiento dos con el 2% de ANA, se observó una tendencia decreciente en la eficiencia. Con el tratamiento cuatro que contiene el 4% de ANA, el aceite obtenido por peso promedio bajó ligeramente a 4.77 kilogramos, y continúa cayendo drásticamente en el tratamiento cuatro con 6% de ANA (3.77 kilogramos de aceite) y tratamiento cinco con el 8% de ANA (3.80 kilogramos de aceite). Estos resultados podrían indicar que concentraciones más altas no solo dejan de aportar beneficios, sino que incluso perjudican la eficiencia de extracción de aceite.

A medida que aumenta la concentración de ANA, los costos de aplicación también incrementan. Esto crea un escenario donde el aumento del costo no se refleja en un aumento equivalente en la producción de aceite. De hecho, a partir del tratamiento tres con el 4% de ANA, el costo por hectárea aumenta a 15.01 dólares por hectárea de aplicación sin ofrecer una mejora significativa en el rendimiento. Para el tratamiento cuatro con el 6% de ANA y el tratamiento cinco con el 8% de ANA, los costos siguen subiendo (15.79 dólares por hectárea y 16.56 dólares por hectárea, respectivamente), pero la cantidad de aceite obtenido disminuye. Esto refleja un claro caso de rendimientos decrecientes, donde el aumento en el insumo no resulta en un incremento proporcional en la producción.

Los resultados sugieren que el tratamiento dos con un 2% de ANA es el más óptimo en términos de relación costo de aplicación y efectividad de ANA. Ofrece el mayor rendimiento de aceite por peso promedio con un costo de aplicación que, si bien es superior al de no aplicar ANA, está justificado por el incremento en la eficiencia de producción. Los tratamientos con mayor concentración de ANA no justifican su costo adicional, ya que la eficiencia disminuye, lo que hace que las aplicaciones con las concentraciones del 6% de ANA y 8% de ANA sean no recomendables desde un punto de vista económico.

En base a los resultados, es evidente que el uso de ANA debe ser cuidadosamente dosificado en las concentraciones. El tratamiento dos con el 2% de concentración parece ser el punto ideal en este caso, proporcionando una excelente eficiencia en la extracción de aceite por peso promedio con un costo moderado. Utilizando concentraciones más altas no solo no mejoran la eficiencia, sino que la empeoran y aumentan innecesariamente los costos. Sería recomendable enfocarse en aplicaciones con concentraciones de 2% o 4% como máximo para mantener la rentabilidad del cultivo sin incurrir en gastos excesivos e innecesarios.

VIII. CONCLUSIONES

1. El tratamiento con 6% de ácido alfa-naftalenacético “A.N.A.” obtuvo el rendimiento de fruto más alto en kilogramos por hectárea, alcanzando 5003.74 kg/ha. Esto indica que, en términos de producción total, esta concentración maximiza el rendimiento.
2. Las concentraciones de 2% y 4% de ácido alfa-naftalenacético “A.N.A.” también produjeron racimos más pesados, con promedios de 19.85 kg y 20.65 kg, respectivamente. Esto sugiere que dichas concentraciones promueven un crecimiento óptimo del fruto, posiblemente a través de la estimulación de procesos de elongación y división celular, lo que incrementa la biomasa total.
3. La aplicación de ácido alfa-naftalenacético “A.N.A.” mostró que concentraciones superiores al 2% no aceleran significativamente la maduración del fruto. Con un 2% de ANA, el tiempo de maduración se reduce de su ciclo normal de 5.6 meses a 4.8 meses, lo cual optimiza el ciclo de cosecha sin necesidad de aumentar la dosis.
4. Los tratamientos con 2% y 4% de ácido alfa-naftalenacético “A.N.A.” fueron los más efectivos en términos de porcentaje de extracción de aceite, alcanzando valores de 24.52% y 23.12%, respectivamente. Esto demuestra que estas concentraciones son suficientes para maximizar la acumulación de aceite en el fruto sin incurrir en costos adicionales.
5. El tratamiento con 4% de ácido alfa-naftalenacético “A.N.A.” resultó ideal en términos de rendimiento de aceite, con 999.51 kg/ha, y un costo moderado de aplicación de 15.01 dólares por hectárea. Este tratamiento equilibra productividad y costos, representando una opción costo-efectiva.

IX. RECOMENDACIONES

1. Es conveniente aplicar ácido alfa-naftalenacético “A.N.A.” al 2%, ya que concentraciones superiores no aportan beneficios adicionales en la aceleración de la maduración. Esta dosis permite optimizar el proceso de maduración de manera efectiva y sin aumentar los costos de aplicación.
2. Para lograr resultados eficientes en el porcentaje de aceite se debe utilizar concentraciones entre el 2% y el 4% de ácido alfa-naftalenacético “A.N.A.”. Estas concentraciones han demostrado ser óptimas para estimular la acumulación de aceite en el fruto, evitando así gastos innecesarios por el uso de concentraciones más altas.
3. Dado que las concentraciones de 2% y 4% de ácido alfa-naftalenacético “A.N.A.” muestran un aumento en el peso de los racimos, es aconsejable aplicar estas concentraciones para mejorar el desarrollo de los frutos. Estos niveles de ácido alfa-naftalenacético “A.N.A.” promueven un crecimiento equilibrado, maximizando la biomasa sin incrementar significativamente los costos.
4. La concentración con el 4% de ácido alfa-naftalenacético “A.N.A.” es la más adecuada para maximizar el rendimiento de extracción de aceite con una buena relación costo por aplicación y efectividad. Si el objetivo principal es obtener la mayor cantidad de aceite por hectárea, esta concentración es la más eficiente en términos de costos y rendimiento.
5. Es fundamental ampliar la investigación mediante un mayor número de cosechas para obtener datos más consistentes a lo largo del tiempo. Esto permitirá reducir las variaciones asociadas a factores estacionales que pueden influir en los resultados. Al incorporar más ciclos de cosecha, se podrán validar los hallazgos iniciales, garantizando una mayor robustez estadística y mejorando la confiabilidad de las conclusiones y su aplicación en condiciones reales.

X. REFERENCIAS

- Amado, M. y Fischer, G. (2006). *El ácido alfa-naftalenacético (ANA) y el ácido giberélico (GA3) influyen en la producción y calidad del fruto del durazno 'Melocotón Amarillo' (Prunus persica L.)*. ResearchGate 13. https://www.researchgate.net/publication/256575939_El_acido_alfa-naftalenacetico_ANA_y_el_acido_giberelico_GA3_influyen_en_la_produccion_y_calidad_del_fruto_del_durazno_'Melocoton_Amarillo'_Prunus_persica_L
- Asociación de Semillas para el Desarrollo (ASD). (2006). *Antecedentes y Generalidades de la Palma*. Costa Rica. <https://www.palma.webcindario.com/manualpalma.pdf>
- Bedoya Murillo, L. y Patermina Mejia, D. (2021). *Evaluación del efecto de diferentes concentraciones de ana (ácido 1- naftalenacético) sobre los componentes de rendimiento de la yuca (manihot esculenta crantz) var. mcol 2066, en un suelo del valle medio del sinú*. Córdoba. [Tesis de Agronomía, Universidad de Córdoba]. <https://repositorio.unicordoba.edu.co/handle/ucordoba/4865>
- Borrero, C.A. (2012). *Guía técnica; análisis de suelo y fertilización en el cultivo de palma aceitera*. Universidad Nacional Agraria La Malina - Agrobanco [Documento Digital] Lima Perú. <https://www.agrobanco.com.pe/data/uploads/ctecnica/30-c-palma-aceitera.pdf>
- CIRAD. (2001). *Semillas de palma africana CIRAD (IRHO): 70 años de investigación, 40 años en Colombia*. Repositorio Fedepalma. <https://repositorio.fedepalma.org/handle/123456789/75587>
- Díaz Oviedo, D. (2020). *Comparación de Estructura de Costos con Aplicación de Hormonas en la conformación de Racimos en Palma de Aceite Comercial (Var. Irho Cabaña) en la Plantación agropecuaria Macolla S.A.S* [Tesis de Agronomía, Villacencio]. <https://repositorio.unillanos.edu.co/handle/001/1630>
- ENLASA. (2021). *Catálogo de productos para la agricultura*. <https://www.calameo.com/read/0003661219ce195ac7746>.
- Fedepalma. (2022). *Investigación sobre la inducción de frutos partenocárpicos mediante ANA en condiciones de baja polinización natural*. Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite de Colombia [Artículo de revista]. <https://fedepalma.org/conferenciainternacional/wp-content/uploads/2022/09/Uso-del-acido-naftalenacetico-en-cultivares-amhccorr.pdf>

- García, L. (2006). *Generalidades de la palma*. [Documento digital]. https://bibliotecadelbotanico.org/files/productos/1687896975_P_manualpalma.pdf.
- García-Núñez, J. A., & García-Núñez, R. E. (2021). *Producción y rendimiento de las variedades de palma de aceite*. Universidad Nacional de Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/37613>
- Gunawan, S., & Widjaja, T. (2021). El efecto de la aplicación de auxina sintética en la composición de ácidos grasos de los frutos de palma aceitera. *Journal of Agricultural Science*, 5(2), 144-150. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/200386>
- Hartley, CWS (1988). *La palma aceitera (Elaeis guineensis Jacq.)*. *Journal of Advances in Bioscience and Biotechnology*, 12(12). <https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=3128841>
- Holdridge, L. (1982). *Ecología basada en zonas de vida*. Trad. Por Humberto Jiménez Saa. IICA.
- INFORAGRO S.A. . (2013). *Palma africana aceitera*. www.infoagro.com/herbaceos/oleaginosas/palma_africana_aceitera
- Jiménez Carpio, M. (2015). *Hormonas AIA, ANA, AG3 para estimular la germinación de semilla de palma aceitera (Elaeis guineensis)* [Tesis de Agronomía, Universidad Técnica Estatal de Quevedo]. <https://repositorio.uteq.edu.ec/items/12222e1c-094c-4873-8f98-7554f9c0ff79>
- Minelli, F. (2004). *El cultivo de la palma africana en el Chocó*. https://www.raulzelik.net/images/rztextarchiv/uniseminare/Palma_africana_Choco.pdf.
- Oliet, J. A., Molina, A. J., & Arbelo, C. D. (2020). Uso de tensiómetros para la medición de la humedad del suelo y gestión del riego en el cultivo de palma de aceite. *Water Resources Management*, 34(6), 1935-1948. <https://link.springer.com/journal/11269>
- Ponce, P. (2016). Biología de insectos polinizadores en palma aceitera y sus híbridos interespecíficos (*Elaeis oleifera* x *Elaeis guineensis*) [libro digital]. *Revista Palmas*, 37(No. Especial, T.1), 281-284. <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/11911>

Vite, C. H. (2022). *Beneficios de la aplicación de ácido naftalenacético (ANA) en el cultivo de palma aceitera híbrida OxG en Ecuador.*
<http://dspace.utb.edu.ec/bitstream/handle/49000/11366/E-UTB-FACIAG-ING%20AGRON-000383.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Vo. Bo



Lcda. Ana Teresa de González
Bibliotecaria CUNSUROC.



XI. ANEXOS



Figura 25. Preparación de mezcla de A.N.A. con talco.

Se muestra a uno de los caporales realizar la labor de mezcla un día antes de la aplicación en campo.



Figura 26. Presentación del ácido alfa-naftalenacético “ANA”.

Presentación de la hormona a ácido alfa-naftalenacético “ANA” la cual es de un kilogramo y de la casa comercial ENLASA.

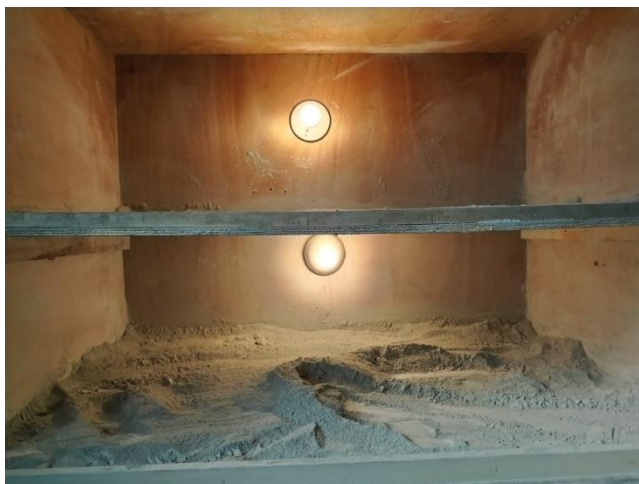


Figura 27. Proceso de secado del talco (tecnosilix).

Proceso de secado antes de mezclar el talco con la hormona ácido alfa-naftalenacético “ANA”.



Figura 28. Proceso de pesado de la mezcla (ácido alfa-naftalenacético “ANA” + talco).

Recipiente previamente tarado, en el cual se realiza la preparación de la mezcla de ácido alfa-naftalenacético ANA al 4% junto con talco.



Figura 29. Proceso de agitación de la mezcla.

Se presenta a uno de los caporales encargados de realizar las mezclas para el personal de aplicación del día siguiente, en este caso se realizó la demostración con el producto que se utilizó en la investigación.



Figura 30. Material preparado para la aplicación.

Material usado, el cual es la mezcla de la hormona ácido alfa-naftalenacético “ANA” + talco en bolsa plástica debidamente rotulada de 1000 gramos cada una de ellas los cuales son los tratamientos dos, tratamiento tres, tratamiento cuatro y tratamiento cinco



Figura 31. Preparación del equipo para la aplicación.

Se presenta a uno de los responsables de la aplicación en campo preparando el equipo para la aplicación de la mezcla.



Figura 32. Aplicación de la mezcla de A.N.A. con talco.

Se observa a un responsable de la aplicación con el equipo de protección personal (E.P.P.) adecuado realizando la aplicación de A.N.A. a los racimos no mayores de un mes de desarrollo.



Figura 33. Identificación del racimo aplicado.

Se observa a otra persona responsable de identificar los racimos que están listos para aplicación y el marcaje de los racimos aplicados. La marca se realizó con pintura justo debajo de la hoja de donde salió el racimo, esto se realizó para llevar un mayor control de los racimos aplicados.



Figura 34. Fruto de palma aplicado con ácido alfa-naftalenacético “ANA” + talco.

La imagen permite observar la morfología del fruto que está listo para la aplicación



Figura 35. Peso de residuo de mezcla aplicada.

Después de las aplicaciones realizadas, se pesó la cantidad de mezcla que sobró, esto con el fin de calcular la cantidad de mezcla aplicada por racimo.



Figura 36. Frutos de palma africana de la investigación cosechados.

Se presenta el tamaño y la calidad de los racimos cosechados dentro del área experimental de la investigación.



Figura 37. Equipo utilizado para pesa de frutos de palma africana.

Se presenta el equipo utilizado para llevar a cabo el peso de cada uno de los racimos dentro del área experimental. El equipo consistió en una balanza, un conjunto de cuerdas y ganchos, un tubo de aluminio y un saco de nylon para colocar el racimo a pesar.



Figura 38. Medición de variables.

Se observa a uno de los colaboradores pesar un futo de 90 libras o 40.91 kilogramos dentro del área de investigación

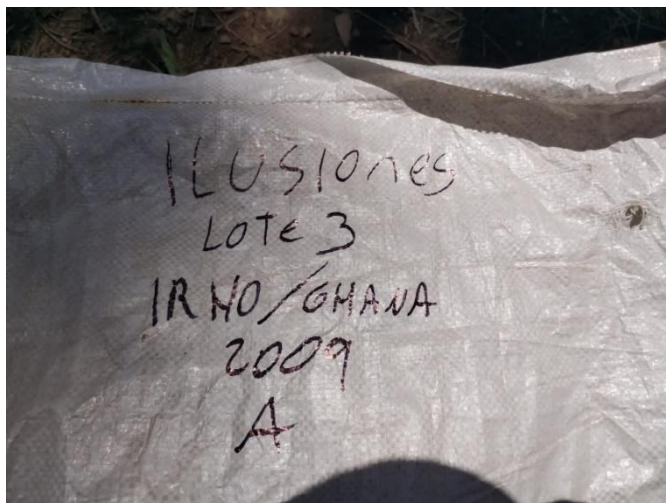


Figura 39. Rotulación para racimos enviados a laboratorio.

Se presenta la rotulación que se colocó en uno de los sacos de nylon donde iba uno de los frutos seleccionados al azar del tratamiento uno para su análisis, esto se repitió para cada uno de los tratamientos en los dos cortes realizados



Figura 40. Peso de los frutos enviados al laboratorio.

Se pesó cada uno de los racimos enviados a laboratorio de la empresa, con el objetivo de identificar los resultados obtenidos de cada uno de los frutos mediante el peso y el rotulo.



Mazatenango, Suchitepéquez, 19 de noviembre de 2024

Dr:
Mynor Raúl Otzoy Rosales
Coordinador Carrera Agronomía Tropical
Centro Universitario del Suroccidente

Estimado Dr. Otzoy:

Me es grato dirigirme a usted deseándole éxitos al frente de sus actividades diarias.

El objeto de la presente es para informarle que he concluido la etapa de supervisión y asesoría del trabajo de Investigación Inferencial del estudiante LUIS FERNANDO ELÍAS REYES, carné 201530031, titulado: **"Evaluación de concentraciones de ácido alfa naftalenacético "A.N.A" sobre el rendimiento(kg/ha) de fruto de *Elaeis guineensis* Jacq. Arecaceae "Palma africana" en Finca San Nicolás, Escuintla."** Dicha investigación se realizó dentro del Programa de Ejercicio Profesional Supervisado en el periodo de febrero a julio del año 2023.

Considero que dicho trabajo de investigación cumple con los requerimientos científicos y académicos, previa revisión correspondiente, para ser usado como trabajo de graduación del estudiante Elías Reyes.

Sin otro particular, me suscribo de usted con muestras de mi estima:

Atentamente:


Ing. Agr. M.A. José María Tamath Mérida
Asesor/supervisor EPS

Oficio CAT – TG – 006 – 2022
Mazatenango, 29 de noviembre de 2024

Lic. Luis Carlos Muñoz López
Director en Funciones
Centro Universitario del Suroccidente
Universidad de San Carlos de Guatemala

Respetable Sr. Director

Con fundamento en el normativo de Trabajo de Graduación de la Carrera de Agronomía Tropical, me permito hacer de su conocimiento que el estudiante **T.P.A. Luis Fernando Elías Reyes**, con carné: **201530031**, ha concluido su trabajo de graduación titulado: **Evaluación de cinco concentraciones de ácido alfa naftalenacético "A.N.A" sobre el rendimiento(kg/ha) de fruto de *Elaeis guineensis* Jacq. Arecaceae "Palma africana" en Finca San Nicolás, Escuintla**, el cual fue asesorado por el Ing. Agr. José María Tamath Mérida, lo que se evidencia con la nota adjunta que he revisado previamente.

Como coordinador de la Carrera de Agronomía Tropical, hago constar que el estudiante T.P.A. Elías Reyes, ha cumplido con lo normado, razón por la que someto a su consideración el documento adjunto, para que continúe con el trámite correspondiente para su graduación.

Sin otro particular, esperando haber cumplido satisfactoriamente con la responsabilidad inherente al caso, reitero las muestras de mi consideración y estima, Deferentemente.

ID Y ENSEÑAD A TODOS



Dr. Mynor Raúl Oztoy Rosales
Coordinador de Carrera





UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
CENTRO UNIVERSITARIO DEL SUR OCCIDENTE
MAZATENANGO, SUCHITEPEQUEZ
DIRECCIÓN DEL CENTRO UNIVERSITARIO

CUNSUROC/USAC-I-33-2025

DIRECCION DEL CENTRO UNIVERSITARIO DEL SUROCCIDENTE,
Mazatenango, Suchitepéquez, siete de abril de dos mil veinticinco_____

Encontrándose agregados al expediente los dictámenes del asesor y revisor, SE AUTORIZA LA IMPRESIÓN DEL TRABAJO DE GRADUACIÓN TITULADO: "EVALUACIÓN DE CINCO CONCENTRACIONES DE ÁCIDO ALFA NAFTALENACÉTICO "A.N.A." SOBRE EL RENDIMIENTO (kg/ha) DE FRUTO DE *ELAEIS GUINEENSIS* JACQ. ARECACEAE PALMA AFRICANA" EN FINCA SAN NICOLÁS, ESCUINTLA", del estudiante: TPA. Luis Fernando Elías Reyes Carné: 201530031 CUI: 3386 82538 1001 de la carrera Ingeniería en Agronomía Tropical.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

M.A. Luis Carlos Muñoz López
Director



/gris