



**Evaluación comparativa de aplicaciones de Ana líquida y Ana sólida en la polinización
asistida de híbridos de palma aceitera**

Sosa Mero, Ana Jeomayra

Departamento de Ciencias de la Vida y la Agricultura

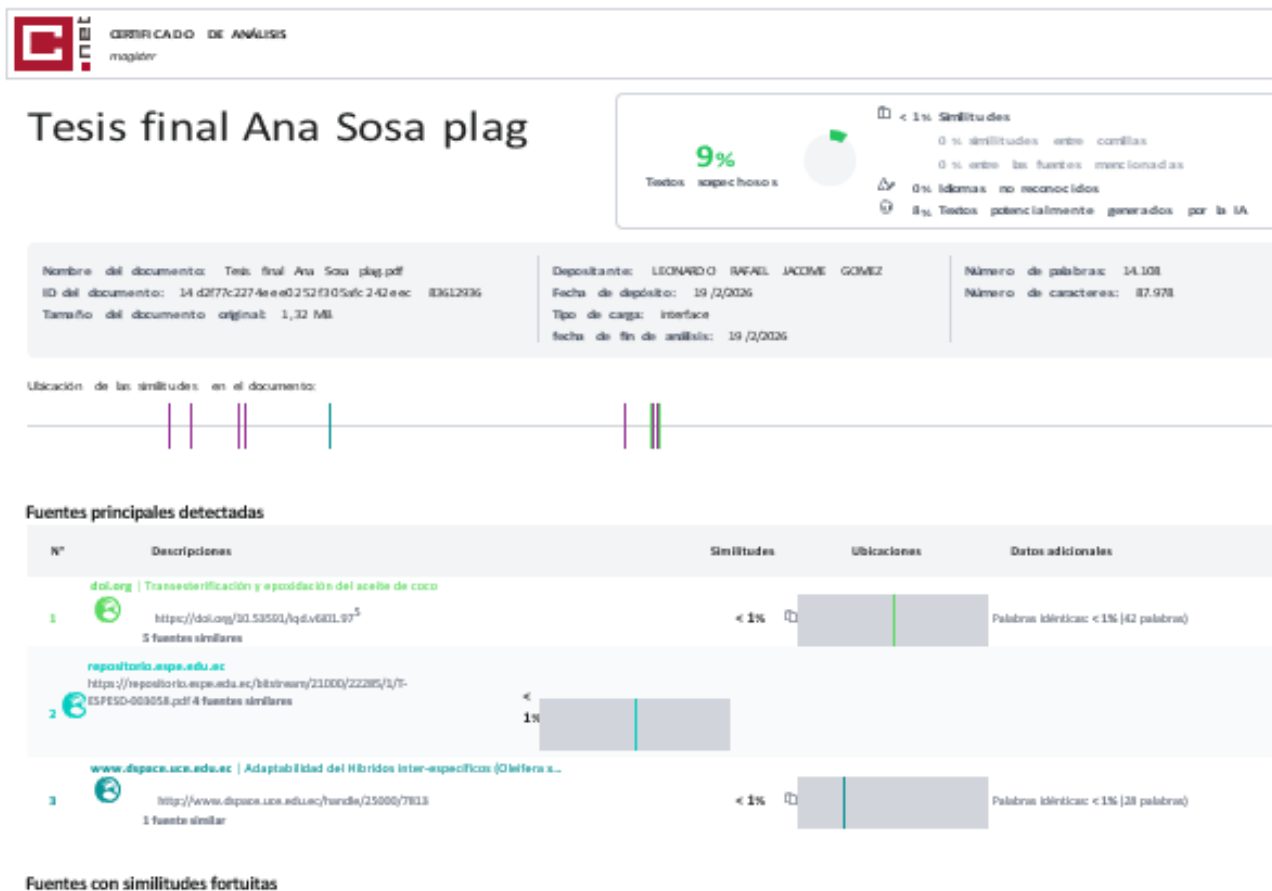
Carrera de Ingeniería Agropecuaria

Trabajo de Integración Curricular, previo a la obtención del título de Ingeniera Agropecuaria

Ing. Vaca Pazmiño, Eduardo Patricio Mgs.

24 de febrero del 2026

Reporte de verificación de contenido



Msc. Vaca Pazmiño, Eduardo Patricio

Director



Departamento de Ciencias de la Vida y la Agricultura

Carrera de Ingeniería Agropecuaria

Certificación

Certifico que el trabajo de integración curricular **“Evaluación comparativa de aplicaciones de Ana líquida y Ana sólida en la polinización asistida de híbridos de palma aceitera”**, fue realizado por la señorita **Sosa Mero, Ana Jeomayra**, el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Santo Domingo, 24 de febrero del 2026

Ing. Vaca Pazmiño, Eduardo Patricio Mgs.

Director

C.C.: 1802127355



Departamento de Ciencias de la Vida y la Agricultura

Carrera de Ingeniería Agropecuaria

Responsabilidad de Autoría

Yo, **Sosa Mero, Ana Jeomayra**, con cédula de ciudadanía n° 230039089-1, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de integración curricular: **Evaluación comparativa de aplicaciones de Ana líquida y Ana sólida en la polinización asistida de híbridos de palma aceitera** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Santo Domingo, 24 de febrero del 2026

Sosa Mero, Ana Jeomayra

C.C.: 230039089-1



Departamento de Ciencias de la Vida y la Agricultura

Carrera de Ingeniería Agropecuaria

Autorización de Publicación

Yo, **Sosa Mero, Ana Jeomayra**, con cédula de ciudadanía n°230039089-1, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de integración curricular: **Evaluación comparativa de aplicaciones de Ana líquida y Ana sólida en la polinización asistida de híbridos de palma aceitera** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Santo Domingo, 24 de febrero del 2026

Sosa Mero, Ana Jeomayra

C.C.: 230039089-1

Dedicatoria

Dedico este trabajo de integración curricular a los sueños que nacieron en los días de incertidumbre y crecieron con cada desafío superado. A las largas noches de estudio, al esfuerzo silencioso y a las veces que pensé en rendirme y aun así continué. Este logro es para la versión de mí que inició este camino con mucho entusiasmo y esperanza de llegar hasta el final y es aquí donde todo tiene sentido.

A cada paso que me transformó, a cada aprendizaje que dejó huella y a cada meta que parecía lejana, pero que hoy se vuelve realidad. A la perseverancia que se convirtió en mi mejor aliada y a la pasión que, incluso en los momentos más difíciles, me recordó por qué empecé.

También está dedicado a quien me dio la oportunidad, la Empresa Palmera de los Andes Quinindé a todo el personal que de una u otra manera formo parte de este proyecto, al área de polinización, cosecha, extracción que siempre estuvieron prestos con gran amabilidad y contribuyeron para que este trabajo culmine con éxito. Este trabajo busca ser un aporte para el fortalecimiento de este importante sector.

Agradecimiento

Principalmente a Dios, por darme salud, fortaleza y sabiduría para culminar esta etapa tan importante de mi vida.

Expreso mi más sincero agradecimiento a mis padres, quienes han sido el pilar fundamental en mi formación personal y académica. Gracias por sus consejos y por enseñarme que la constancia y el esfuerzo son el camino hacia el éxito.

A Erick, quien ha sido mi compañero y motivación para no rendirme. Gracias por tu paciencia, por creer en mí incluso cuando yo dudaba y por brindarme tu amor y respaldo en cada paso de este proceso.

A Renata, quien es la luz de mi vida y la razón principal para superarme cada día. Este logro también es para ti, como ejemplo de que con dedicación todo es posible.

De manera especial, agradezco a mi gran amigo José Luis Zambrano, por su amistad sincera, su apoyo constante y por estar presente a lo largo de esta aventura llamada carrera universitaria.

Índice de contenidos

Reporte de verificación de contenido	2
Certificación.....	3
Responsabilidad de Autoría.....	4
Autorización de Publicación.....	5
Dedicatoria	6
Agradecimiento	7
Resumen	13
Abstract	14
Introducción.....	15
Objetivos.....	19
Objetivo general	19
Objetivos específicos	19
Hipótesis.....	20
Hipótesis nula.....	20
Hipótesis alternativa.....	20
Marco teórico.....	21
La palma africana.....	21
Clasificación taxonómica.....	21
Características botánicas	22
Germoplasma de palmas aceiteras	23
Palmas aceiteras compactas	23
Cauri x Lamé	26
Condiciones agroclimáticas.....	26
Polinización	27
Tipos de polinización.....	27

Ácido naftalenacético ANA.....	28
Utilización del polen y ANA en híbridos.....	29
Aplicación de ANA en medio líquido y ANA en mezcla sólida.....	30
Metodología.....	31
Ubicación del área experimental.....	31
Ubicación política	31
Ubicación geográfica.....	32
Ubicación ecológica	32
Métodos.....	32
Fase de campo	32
Fase de laboratorio	34
Preparación del ANA sólido	34
Preparación del ANA líquido	34
Extracción de aceite por el método de Soxhlet	35
Fisiología de la maduración	35
Variables evaluadas	37
Tipo de investigación	39
Diseño Experimental	39
Tipo de diseño	39
Factores probados.....	40
Tratamientos estudiados	40
Análisis estadístico	41
Coeficiente de variación	42
Análisis funcional.....	42
Análisis económico.....	42
Materiales.....	43
Materiales de campo	43
Materiales de laboratorio.....	44

Resultados y Discusión.....	45
Peso medio del racimo de palma aceitera obtenido mediante polinización asistida con dos tipos de ANA a diferentes concentraciones	45
Efecto del factor A (Tipos de ANA)	46
Efecto del factor B (Concentraciones)	48
Efecto de la interacción de AxB (Tipos de ANA x Concentraciones).....	49
Tamaño del racimo de palma aceitera obtenido mediante polinización asistida con dos tipos de ANA a diferentes concentraciones	52
Efecto del factor A (Tipos de ANA)	53
Efecto del factor B (Concentraciones)	54
Efecto de la interacción de AxB (Tipos de ANA x Concentraciones).....	56
Extracción de aceite por tratamiento (%).....	59
Efecto del factor A (Tipos de ANA)	60
Efecto del factor B (Concentraciones)	60
Efecto de la interacción de AxB (Tipos de ANA x Concentraciones).....	61
Fruit set.....	63
Calidad del aceite.....	66
Análisis Beneficio/Costo.....	69
Conclusiones y recomendaciones	73
Conclusiones	73
Recomendaciones.....	74
Referencias bibliográficas	75

Índice de tablas

Tabla 1. Comparación de características agronómicas: Híbrido OxG vs <i>Elaeis guineensis</i> .	25
Tabla 2. Tipos de ANA y concentraciones que se utilizaron en el estudio.....	40
Tabla 3. Tipos de ANA y concentraciones que se utilizaron en el estudio.....	41
Tabla 4. Esquema del Análisis de Varianza de la Evaluación comparativa de las aplicaciones de ANA líquida y ANA sólida en la polinización asistida de híbridos de palma aceitera.	41
Tabla 5. Materiales utilizados en la fase de campo.	43
Tabla 6. Materiales utilizados durante el análisis de degradabilidad	44
Tabla 7. Análisis de varianza para la variable peso medio del racimo de la segunda, tercera y cuarta aplicación de los dos tipos de ANA a diferentes concentraciones.....	45
Tabla 8. Análisis de varianza para la variable altura del racimo de la segunda, tercera y cuarta aplicación de los dos tipos de ANA a diferentes concentraciones.	52
Tabla 9. Análisis de varianza para la variable extracción de aceite (%) de los dos tipos de ANA a diferentes concentraciones.	59
Tabla 10. Resultados del fruit set de los racimos obtenidos de los diferentes tratamientos.	63
Tabla 11. Parámetros de calidad del aceite obtenido de los diferentes tratamientos evaluados.	66
Tabla 12. Resumen del costo de producción de los diferentes tratamientos evaluados.	69
Tabla 13. Resumen de los ingresos y retorno por dólar invertido de los diferentes tratamientos evaluados.	71

Índice de figuras

Figura 1. Mapa de la ubicación del área de investigación.	31
Figura 2. Comparación de medias (prueba de Tukey, $p<0.05$) del peso de los racimos en función del tipo de ANA, en las diversas aplicaciones efectuadas.	Error! Marcador no definido.
Figura 3. Comparación de medias (prueba de Tukey, $p<0.05$) del peso de los racimos en función de las concentraciones, en las diversas aplicaciones efectuadas.	48
Figura 4. Comparación de medias prueba de Tukey, $p<0.05$) del peso de los racimos en función de la interacción AxB, en las diversas aplicaciones efectuadas.	49
Figura 5. Comparación de medias (prueba de Tukey, $p<0.05$) de la altura de racimo en función de los tipos de ANA, en las diversas aplicaciones efectuadas.	53
Figura 6. Comparación de medias (prueba de Tukey, $p<0.05$) de la altura de racimo en función de las concentraciones, en las diversas aplicaciones efectuadas.	55
Figura 7. Comparación de medias prueba de Tukey, $p<0.05$) del tamaño de los racimos en función de la interacción AxB, en las diversas aplicaciones efectuadas.	56
Figura 8. Comparación de medias (prueba de Tukey, $p<0.05$) de la extracción de aceite (%) en función de los tipos de ANA.	60
Figura 9. Comparación de medias (prueba de Tukey, $p<0.05$) de la extracción de aceite (%) en función de las concentraciones.	61
Figura 10. Comparación de medias prueba de Tukey, $p<0.05$) de la extracción de aceite (%) en función de la interacción AxB.	62

Resumen

Este estudio comparó las aplicaciones de dos tipos de formulación de ANA en la polinización asistida de híbridos de palma de aceite: para lo cual, se determinó el efecto de las formulaciones de ANA a diferentes dosis sobre el peso y tamaño de los racimos, además se identificó la influencia de los tratamientos, sobre la distribución, rendimiento y calidad de los frutos y finalmente, se analizó la relación beneficio/costo. Se trabajó con 8 tratamientos, de los cuales 4 estuvieron formulados con ANA sólida al 2%, 3%, 4% y 5%, así como el resto en ANA líquida. Las variables analizadas a través de un DCA bifactorial fueron, peso y altura de racimo. Mientras que, para la conformación de racimos, se llevó a cabo el fruit set y el análisis de extracción de aceite (%) mediante el método soxhlet, pero para la fisiología de la maduración se determinaron índices de acidez, yodo, peróxidos, coloración y solubilidad, finalizando con un análisis B/C. Finalmente, se determinó que los tipos de formulación sí tienen efecto sobre los racimos de palma, a diferencia de las concentraciones. Sin embargo, debido a la formación de frutos partenocárpico frente a la cantidad de frutos sueltos, los niveles bajos de acidez y peróxidos, así como la relación B/C, se considera que el tratamiento más viable para los lotes Coarí x La Mé fue S-T3 (ANA sólida al 4%). En general, los tratamientos con ANA sólida presentaron mejores características y una relación B/C superior, situada entre \$34,66 a \$235,03 por ha/año.

Palabras clave: Palma aceitera, polinización asistida, ANA, concentraciones.

Abstract

This study compared the applications of two types of NAA formulation in assisted pollination of oil palm hybrids: for this purpose, the effect of NAA formulations at different doses on bunch weight and size was determined, the influence of treatments on fruit distribution, yield and quality was also identified, and finally, the benefit/cost ratio was analyzed. Eight treatments were used, of which 4 were formulated with solid NAA at 2%, 3%, 4% and 5%, as well as the remainder in liquid NAA. The variables analyzed through a two-factor DCA were bunch weight and height. Meanwhile, for bunch composition, fruit set and oil extraction (%) analysis using the Soxhlet method were carried out, but for ripening physiology, acidity, iodine, peroxide, coloration and solubility indices were determined, ending with a B/C analysis. Finally, it was determined that the formulation types do have an effect on palm bunches, unlike the concentrations. However, due to the formation of parthenocarpic fruits compared to the number of loose fruits, the low levels of acidity and peroxides, as well as the B/C ratio, the most viable treatment for the Coarí x La Mé plots was considered to be S-T3 (solid NAA at 4%). In general, treatments with solid NAA presented better characteristics and a higher B/C ratio, ranging between \$34.66 to \$235.03 per ha/year.

Keywords: *oil palm, assisted pollination, ANA, concentrations.*

Introducción

La palma aceitera es un cultivo que se considera estratégico dentro de la matriz agropecuaria del Ecuador, puesto que dinamiza la economía rural y familiar, ya que es capaz de generar alrededor de 43 mil empleos directos y cerca de 60 mil empleos indirectos para la población económicamente activa del Ecuador e incluso aporta el 0,89% de ingresos en el PIB nacional y el 4,53% al PIB agropecuario (Asamblea Nacional de la República del Ecuador, 2019).

En este sector se ha producido una transición significativa debido a que en un principio el país era considerado un importador de aceites y grasas comestibles, no obstante, hoy en día su estatus ha evolucionado, puesto que se le conoce como un exportador neto con 130026 TM aproximadamente. En la actualidad hay cerca de 194419 hectáreas sembradas, sobre todo en las provincias de Esmeraldas (35,52%), Los Ríos (24,77%), Guayas (13,76%) y Sucumbíos (14,48%), con núcleos productivos en los cantones: Quinindé, Santo Domingo y Buena Fe (Agencia de Regulación y Control Fito y Zoosanitario, 2025).

De acuerdo con el inventario de plantaciones efectuado por el MAG y ANCUPA en 2018, existió una tendencia a la expansión de este cultivo sin evidencias de desaceleración. Solo en 2012, se produjeron 2.697.490 toneladas de fruta y, 593.498 toneladas de aceite crudo, cuyo valor bruto rondó los 507 millones de dólares (Ganchozo & Huaraca, 2017).

No obstante, a partir del año 2021 el escenario cambió debido a que la producción de este cultivo se redujo de forma gradual pasando de 2,45 millones TM en 2020 a 2,42 millones TM en 2021; desde entonces hasta 2023 la producción ha ido disminuyendo a 2,05 millones TM. Sin embargo, el rendimiento en lugar de mermar se incrementó ya que en 2019 con 2,28 millones TM el rendimiento fue de 11,30 TM/ha, pero en 2023 se registraron 14,90 TM/ha (Corporación Financiera Nacional, 2024).

La situación para los palmicultores en el Ecuador no ha sido fácil actualmente, ya que han batallado con la pudrición del cogollo, una patología provocada por el hongo *Phytophthora palmivora* que entre 2018 a 2021 provocó la pérdida de 90000 hectáreas en el país, constituyendo a su paso una crisis productiva y social de grandes proporciones (Mendoza,

2025). No obstante, a partir de esa amenaza, el sector reaccionó, con la introducción de materiales híbridos interespecíficos OxG, producto del cruce entre *Elaeis oleífera* y *Elaeis guineensis*, que han demostrado ser tolerantes y en ciertos casos, resistentes, ante la pudrición del cogollo (Alvarado, Escobar, & Henry, 2013).

Sin embargo, estos híbridos, no son precisamente fáciles de manejar. Su condición de F1 los convierte en heterogéneos a nivel genético y, lo que es más crítico aún, la polinización natural es escasamente eficiente. El polen que producen tiene escasa viabilidad y fertilidad, lo que se traduce en racimos mal conformados, altos porcentajes de frutos abortados y rendimientos irregulares (Ganchozo & Huaraca, 2017).

Para resolver ese punto crítico en el proceso de la polinización, se empezó a trabajar con diferente polinización asistida, empezando con polen de *E. guineensis* y más recientemente complementándolo con reguladores de crecimiento, entre los cuales se puede señalar el ácido α - naftalenacético, denominado como ANA, que corresponde a una auxina sintética que promueve la formación de frutos partenocárpicos y estenopermocárpicos. En otras palabras, el ANA le hace creer a la planta que ha sido polinizada y si bien no lo fue, esas falsas señales permiten que se produzca el fruto igualmente. Esto es posible porque la hormona activa señales bioquímicas que inducen división y elongación celular en los tejidos del ovario, independientemente de la fertilización (Villareal Villafuerte, et al. 2022).

En Ecuador, investigaciones recientes desarrolladas por Bravo et al (2022) manifestaron que la aplicación de ANA en tres ciclos, se efectuó por separado de la aplicación de polen (sin mezclar ambos insumos), incrementando el potencial de aceite en racimo entre 33% y 38%; la fracción de frutos abortados inclusive fue menor, con reducciones observadas entre 61% y 70%, y manteniendo constante el peso del racimo, ya que este parámetro presentó una proporción mucho mayor de raquillas, aunque con una cantidad de frutos fértiles inferior.

García et al. (2020) en su artículo titulado "Polinización artificial: ¿ANA en suspensión líquida o ANA en mezcla sólida?", publicado en la revista Palmas, cuestionaron la comparación de ambos tratamientos y sus implicaciones técnicas y económicas. Sin embargo,

no fueron los únicos. Por su parte, Daza et al. (2020) profundizaron en el efecto de los tiempos y movimientos en la polinización artificial y estimaron que la productividad de la jornada de trabajo va de 188 a 249 inflorescencias/día. También observaron el efecto de las hormonas vegetales en la formación de frutos partenocárpicos y la producción de aceite, confirmando que la respuesta fisiológica al ANA ha sido robusta y coherente en distintas condiciones agroecológicas.

Por otra parte, Ruiz-Álvarez et al. (2021) demostraron que si se complementa la polinización asistida con polen mediante aplicaciones de ANA se producen ingresos netos 7,7% por hectárea, además de recortar los costes de producción de tonelada de aceite en un 9%. Esto acontece ya que, aunque la polinización artificial incrementa de un modo muy moderado los costes de operación, el incremento en los rendimientos de campo y los aumentos en las tasas de extracción de aceite compensa la inversión adicional.

Cuatín Inguilan (2023) en cambio, trabajó de manera específica con el híbrido O×G "Amazon" en la provincia de Esmeraldas, evaluando frecuencias y estados fenológicos de aplicación. Sus resultados indicaron que una frecuencia de aplicación inicial más corta no deriva en racimos de mala conformación o mal resultado, sino que, al contrario, garantiza un mejor comportamiento en los parámetros de formación y número de frutos blancos contra esquemas bien espaciados: 1-7-14 días. Esto indica que aún hay espacio para el ajuste de los protocolos con la intención de mejorar su eficiencia.

En Ecuador, la investigación de Bastidas Moreira (2021) realizado en el Centro de Investigación en Palma Aceitera de ANCUPA, con sede en un Km 37½ de la vía Santo Domingo de los Tsáchilas - La Concordia, estudió el efecto del ANA sobre el desarrollo de frutos y el potencial de obtención de aceite en racimo, aunque en laboratorio. Encontró que existían diferencias significativas en el diámetro del fruto y en la recuperación de nuez, concluyendo que la polinización artificial con ANA ayudaría a cultivar al transformar la distribución y potencial de aceite en el desarrollo de frutos sin semilla.

Por todo esto, el presente estudio se propone evaluar, en condiciones de campo en Ecuador, la eficacia agronómica y la eficiencia económica de dos métodos de aplicación del

ANA -sólido y líquido- en la polinización asistida de palma aceitera. Para eso, se trabajó con diferentes dosis de ANA en ambos sistemas: al 2%, 3%, 4% y 5%. La idea no fue solo generar conocimiento sino aportar criterios técnicos y económicos sólidos que ayuden a tomar mejores decisiones en el campo.

Objetivos

Objetivo general

Comparar las aplicaciones de ANA líquida y ANA sólida en la polinización asistida de híbridos de palma aceitera.

Objetivos específicos

Determinar el efecto de los tipos de ANA y diferentes dosis sobre el peso y tamaño del racimo de palma.

Determinar el efecto de los tipos de ANA y las diferentes dosis sobre la extracción de aceite.

Identificar el efecto de los tratamientos sobre la fisiología de la maduración de los racimos de palma.

Analizar la relación beneficio/costo de los tratamientos evaluados.

Hipótesis**Hipótesis nula**

La polinización asistida con los tipos de ANA a diferentes concentraciones no tiene efecto significativo sobre el peso y tamaño de los racimos de palma.

Hipótesis alternativa

La polinización asistida con los tipos de ANA a diferentes concentraciones tiene efecto significativo sobre el peso y tamaño de los racimos de palma.

Marco teórico

La palma africana

La palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq.) es una planta tropical originaria de climas cálidos la cual se desarrolla bajo los 500 msnm. Es originaria del golfo de guinea en África, ingresando al continente americano como una planta de uso ornamental y alimenticia que los esclavos portugueses utilizaban como dieta en los viajes trasatlánticos en el siglo XVI, posterior los indígenas encontraron una forma de producirla como cultivo y aprovechar su fruto (Cruz, 2022).

Clasificación taxonómica

El nombre del género *Elaeis* se origina de las palabras griegas elaion que hace referencia al contenido de aceite que contienen los frutos y *guineensis* que se remonta a los orígenes deducidos de la palma africana en el interior del Golfo de Guinea en el continente africano. En 1973 Joaquín denominó a la especie de palma de aceite como *Elaeis guineensis*, se basó en los estudios que fueron llevados a cabo en palmas introducidas de África occidental a una Isla en las Antillas. La palma de aceite fue introducida a América en el siglo XVII.

Autores como (Cruz Alvarado, 2022) en su investigación menciona que la palma de aceite pertenece a la familia de las Arecaceae, *Elaeis* incluye a tres especies:

- *Elaeis guineensis*, originaria de África occidental.
- *Elaeis oleífera*, entendiéndose desde Centroamérica a Brasil.
- *Elaeis odora*, una especie no muy conocida originaria de América del Sur.

El científico Hutchinson clasificó a la palma de aceite de la siguiente manera:

Reino:	Plantae
Clase:	Liliopsida
Orden:	Arecales
Familia:	Arecaceae
Género:	Elaeis

Especie: *Elaeis guineensis* Jacq.

Características botánicas

Palma monoica con flores masculinas y femeninas, las cuales se producen independientes en la misma planta. Tronco solitario de aproximadamente 10 – 15 metros de altura con un diámetro promedio de 30 cm con cicatrices de las hojas viejas. Hojas pinnadas con una longitud de 5 m con 100 pares de foliolos de 50 a 100 cm de longitud. Estas hojas se insertan en el raquis en varios planos, lo cual le da a la hoja un aspecto plumoso, de un color verde en ambas caras. El peciolo posee una longitud de 1 – 1.5 metros con foliolos en la base que se convierten en espinas con fibras. Inflorescencia corta pero densa, con 25 cm de longitud. Sus frutos son ovoides, abundantes, en racimos de color rojizos de 4 cm de diámetro (Ramírez Rodríguez & Maradiaga, 2020).

Raíces. El sistema radicular de la palma se expande a partir del bulbo que se ubica por debajo del tallo.

Tallo. En su interior contiene los haces vasculares y en la parte central se encuentra el punto de crecimiento o llamado meristemo apical. La palma crece aproximadamente de 30 a 60 cm al año.

Hojas. Las plantas adultas en condiciones normales tienen de 30 a 49 hojas funcionales. Estas hojas están constan de un peciolo con un diámetro de 1.5 metros aproximadamente, con espinas laterales, seguido está el raquis, el cual soporta de 200 a 300 foliolos que se encuentran en las caras laterales, donde se alternan. Las hojas, según la filotaxia indica que están dispuestas en 8 espirales con respecto al eje vertical.

Inflorescencias. Cada hoja de palma posee en su axila una inflorescencia sin sexo definido. Es crucial realizar una polinización cruzada para que se puedan producir semillas. Las flores masculinas son proveedoras de polen, están compuestas de 100 a 160 espigas, cada una tiene entre 10 a 20 cm de largo y 700 a 1200 flores, que en conjunto proveen entre 30 y 60 gramos de polen.

Frutos. Poseen frutos ovoides, con una longitud de 3 a 6 cm y pesan un aproximado de 5 a 12 gramos. El exocarpo tiene piel brillante y lisa, en el tejido fibroso contiene células

con aceite, la semilla está compuesta por un cuesco lignificado y una almendra aceitosa o palmiste. Los frutos insertados en las espiguillas que rodean el raquis de forma helicoidal conforman los racimos que pueden llegar a pesar entre 5 a 40 kg.

Germoplasma de palmas aceiteras

Palmas aceiteras compactas

Desde los años setenta, el mejoramiento genético que se le ha dado a la palma aceitera de ASD Costa Rica, se ha centrado en desarrollar variedades de crecimiento lento del tronco y con hojas cortas. A este fenotipo que se le denomina “compacto” le permite al productor obtener una mejora en la eficiencia en el uso de la tierra por la ventaja de tener un mayor número de plantas por hectárea, así también, prolonga la vida útil de la plantación de palma de aceite.

Los últimos años, el país ha sido testigo que las diferentes estrategias que han empleado empresas privadas en el fitomejoramiento de la palma buscando obtener materiales que sean tolerantes a las diferentes enfermedades que enfrenta la palma, lo que ha permitido generara materiales híbridos OxG, que resultan del cruzamiento controlado entre las especies OxG especie americana nativa (*Elaeis oleífera*) con la palma africana (*Elaeis guineensis*), la *E. oleífera* aporta rusticidad que se requiere para tolerar las enfermedades que se presentan a los largo del cultivo y *E. guineensis* aporta el potencial productivo, se han creado un sinnúmero de cruces de especies nativas de diferentes zonas, siendo unos más tolerantes que otros, hasta el momento ha sido la mejor alternativa para combatir la enfermedad (ANCUPA, 2014).

Origen. Los híbridos interespecíficos OxG no es un caso reciente. Su primera aparición se dio en Colombia y las primeras siembras durante los años 1973 y 1976, sin embargo, debido a una tasa baja de extracción de aceite, aproximadamente el 15% de híbridos quedo abnegada. Debido a la expansión de este cultivo, la incidencia de enfermedades aumentó, entre ellas la pudrición del cogollo, en países como Colombia en las zonas occidentales y orientales, así también en Ecuador, Surinam y Brasil, lo que tuvo como consecuencia el resurgimiento de los híbridos *E. Oleífera* x *E. Guineensis* como una

alternativa idónea para contrarrestar el problema, además que estos híbridos presentan otras características importantes, como la alta cantidad de oleína e índice de yodo y una baja tasa de crecimiento.

Ventajas. La ventaja principal de los materiales híbridos es la capacidad para tolerar la pudrición del cogollo, si la planta se enferma, mediante cirugías se puede eliminar la enfermedad y seguir con el crecimiento normal, además, posee una longitud de tallo mucho menor en comparación a los materiales africanos, lo que facilita las labores agronómicas como lo son la cosecha y poda.

Otra ventaja que poseen los híbridos en la precocidad con respecto a la producción, se calcula que la primera producción se obtiene entre 30 a 36 meses en campo, y el potencial productivo va a depender del tipo de material que se emplee, el material Amazon produce alrededor de 227.5 kg de fruta al año, mientras que Deli x Avros tiene una producción de 174.8 kg de fruta al año.

Autores como (Rosero Estipúñan & Santacruz , 2014) destacan que el híbrido OxG con ayuda en polinización alcanza las 22 toneladas de producción por hectárea al año, mientras que sin polinización asistida la producción es menor, alrededor de 11.6 toneladas. Lo que se traduce a pérdidas en los palmicultores debido a la baja rentabilidad.

Los híbridos OxG poseen hojas más grandes en relación a sus padres, pero conserva la característica de E. oleífera que es la disposición de sus folíolos. Además, destaca entre sus características el aumento lento en la altura, desprendimiento de las bases de las hojas, partenocarpia, espigas persistentes, color y forma del fruto, en este híbrido es muy común el andromorfismo en palmas jóvenes (Travéz Batallas, 2015).

Desventajas. Los materiales híbridos requieren de polinización asistida permanentemente, lo cual es muy necesaria para que se pueda obtener una producción rentable. Se estima que la polinización asistida es el equivalente al precio de dos toneladas de producción por hectárea al año, lo cual no representa una ganancia cuando la producción alcanza su máxima producción. Por último, una de la principal desventaja es la producción en

aceite, ya que para producir un litro se requiere más fruta y existe una menor extracción de la almendra (FEDEPALMA, 2019).

En la tabla 1, que se presenta a continuación, se observan los parámetros que demuestran las ventajas del híbrido OxG sobre la palma africana tradicional.

Tabla 1.

Comparación de características agronómicas: Híbrido OxG vs *Elaeis guineensis*.

Híbrido OxG	Parámetro	Palma de Aceite <i>E. guineensis</i>
22 cm/año	Crecimiento	46 cm/año
30 – 50 años	Ciclo del cultivo	25 – 30 años
110 – 125 palmas/ha	Densidad de siembra	143 palmas/ha
Asistida	Polinización	Natural
26 – 33 meses	Inicio de cosecha	24 – 36 meses
23 – 23 días	Ciclo de cosecha	8 – 12 días
28 – 35 Tn/ha/año	Productividad	25 – 32 Tn/ha/año
49 – 58%	Contenido fase oleica	36 – 44%

Fuente: (FEDEPALMA, 2019).

Los híbridos poseen rendimientos comparables a *E. guineensis* y va a depender de los cruzamientos y las condiciones edafoclimáticas óptimas para el desarrollo y producción, los materiales OxG pueden llegar a ser superiores a *Elaeis guineensis*, adicional a ello los frutos partenocarpicos forman aceite lo cual no ocurre en materiales como *E. guineensis*.

Estos híbridos pueden ser empleados como una alternativa viable para la solución a los diferentes problemas fitosanitarios a los que enfrenta el sector palmicultor tanto nacional e internacional.

Sin embargo, estos materiales debido a su reciente aparición presentan varios problemas debido a su desconocimiento en el manejo sanitario y nutricional. Adicionalmente se presenta una baja conformación y peso del racimo, debido a la baja viabilidad del polen, otro problema al que se enfrenta es la poca participación de la polinización natural ya que sus

flores no poseen la misma intensidad de olor anisado que tienen sus progenitores, en consecuencia, son poco atractivas para los insectos que se encargan de la polinización natural, en consecuencia, no visitan las inflorescencias femeninas y masculinas.

Cauri x Lamé

Este híbrido es un material interespecífico OxG resultado del cruce entre *E. oleífera* coari y *E. guineensis* LaMé el cual fue desarrollado con la finalidad de aumentar el rendimiento productivo de la palma, la calidad en el aceite y de suma importancia la tolerancia a diferentes enfermedades a las cuales se enfrenta las palmaceae. Las características heredadas por *E. oleífera* es el perfil de ácidos grasos solubles y el contenido relevante de compuestos como los antioxidantes y carotenos, lo que da como resultado un aceite de mayor calidad y potencial industrial, con una concentración elevada de ácido oleico y un equilibrio adecuado de ácido palmítico.

Coari x LaMé posee una alta tolerancia a la pudrición de cogollo y a otras enfermedades que afectan gravemente a las palmas, lo que la convierte en una alternativa viable en las zonas que son propensas a los patógenos. Una de las desventajas es su crecimiento lento, pero de tamaño menor en comparación a *E. guineensis*, dicha desventaja es compensada con una producción mayor en los frutos por hectárea en edad productiva, alcanzando promedios de gran significancia en toneladas por año y un rendimiento mayor en el aceite obtenido.

Otra de las ventajas que posee este híbrido es la alta concentración de aceite oleico, lo que significa que este posee una proporción mayor de ácido oleico, lo que se considera beneficioso desde el punto de vista nutricional, así como un aumento en el rendimiento de procesos industriales.

Condiciones agroclimáticas

La palma africana es originaria de la región tropical, por esta razón se ubica en zonas cuya altitud ronda los 500 msnm que presentan temperaturas mensuales promedio de 27 °C, siempre y cuando que las temperaturas mínimas no estén por debajo de los 21 °C. La palma no es tolerante a las heladas. La precipitación óptima para este cultivo oscila entre 1800 y

2300 mm anuales. Con relación a la heliofanía, por obtener producciones ideales se requiere aproximadamente 1500 horas luz al año, las cuales se consideran adecuadas para el cultivo de palma. Por último, la humedad relativa debe estar en un promedio superior al 75% mensual (Campaña Mora, 2016).

Según un reporte del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias INIAP la palma aceitera en una planta que se adapta y crece en climas cálidos con temperaturas promedio de 25 °C, además requiere de precipitaciones normales de 1500 mm con una heliofanía de 1500 horas luz al año, esta planta se desarrolla en altitudes que van desde los 0 a 500 msnm con suelos franco limoso, franco arcillosos y franco arenoso bien drenado con pH neutro a ligeramente ácido, con topografía plana y humedad relativa superior al 80% (INIAP, 2015).

Polinización

La polinización es de gran importancia para que se dé la fertilización y por ende la producción de semillas. Este proceso empieza en la superficie del pistilo donde germinan los granos de polen, formando también los tubos polínicos, los cuales crecen en dirección descendente hacia el ovulo de la flor. Durante el proceso de fertilización, la célula ovular genera el embrión vegetal, posterior el ovulo crece y se convierte en semilla. En ocasiones las partes del estambre que realizan la producción de polen no están en contacto directo con el pistilo, las plantas utilizan como medio a agentes externos para que este sea transportado.

El transporte acuático del polen es raro. En ocasiones el óvulo puede ser fecundado por medio de la autopolinización o mediante la polinización cruzada (Zambrano Bohorquez, 2015).

Tipos de polinización

En el medio existen dos tipos de polinización que son fundamentales en la fecundación en las plantas casmógamas: la autopolinización o autogamia.

Autopolinización o autogamia. Esta se da cuando se la realiza entre flores de la misma planta. Si la polinización se la realiza en el botón floral, se producirá la autogamia con

los gametos del mismo polen. Dicho fenómeno se puede dar en varias leguminosas, como en el guisante (*Pisum sativum*), aunque en un porcentaje de fecundación muy bajo.

Polinización cruzada o alogamia. La polinización cruzada se da cuando se transporta el polen entre las flores de individuos diferentes que pertenecen a una misma especie. Se ha demostrado que este tipo de polinización es uno de los mejores métodos que favorecen la variabilidad genética de las plantas.

Algunas de las plantas tienen flores dioicas o imperfectas, lo que significa que hay una separación de los sexos, puesto a que existe partes con flores masculinas y otras con flores femeninas, por ello, en este caso es obligatoria la polinización cruzada.

Polinización asistida. Esta polinización tiene como medio la ayuda humana que se encarga de dispersar el polen en las inflorescencias femeninas, este método asegura una óptima fecundación y por consecuencia el aumento en la productividad de los primeros años de cosecha. La polinización se realizan las siguientes actividades:

- Pruebas de viabilidad.
- Recolección y almacenamiento del polen.
- Preparación del polen y polinización a las inflorescencias femeninas receptivas.

Cuando ninguno de los otros factores de la producción es limitantes, con la polinización asistida, se logra:

- Aprovechar el mayor número de frutos
- Incrementar el número de frutos
- Aumentar el peso medio de racimos (Mosquera, 2010).

Ácido naftalenacético ANA

Los reguladores de crecimiento que se encuentran en las plantas juegan un papel fundamental en el crecimiento y desarrollo de la misma, dichos reguladores se producen de forma natural endógena, sin embargo, estos pueden ser introducidos en la planta mediante aplicación exógena para la obtención mayores ingresos, en la horticultura es muy común el uso de estas hormonas exógenas y son utilizadas para incrementar en desarrollo de los

cultivos, mejorando así el número, cuajado y desarrollo de frutos. En la década actual se usa de manera amplia un sinnúmero de sustancias sintéticas de crecimiento en la agricultura, ya que ha llegado a ser esenciales tanto como los insecticidas y fertilizantes (Mendez, 2009).

Las auxinas desempeñan un papel fundamental en el proceso fisiológico que se da lugar en el interior de la planta, dichas hormonas actúan directamente sobre el crecimiento de la planta por medio de respuestas fisiológicas como el alongamiento y división celular, varios estudios han demostrado resultados de alto beneficio aplicando hormonas de manera exógena en cultivos críticos, como lo es el melocotón, palmeras y níspero (Mendez, 2009).

El ANA es una hormona sintética (auxina) que proviene del naftaleno, se usa con alta frecuencia en la agricultura, como promotor y regulador principal de las diversas fases reproductivas como la floración y formación de frutos de diferentes especies vegetales (Fischer, 2006) además, es reconocido por poseer efectos sobre la reducción en la caída de frutos de distintas hortalizas e incrementa los rendimientos en cultivos frutales (Rivera Macas & Zambrano Balseca, 2023).

Utilización del polen y ANA en híbridos

En inicios el polen se utilizaba para mitigar el efecto que se genera al mezclar los materiales *E. oleífera* x *E. guineensis*, ya que, al cruzar dichos materiales, estos carecen de una polinización natural. Sin embargo, existen varias dificultades al momento de utilizar el polen, en base a ello se realizaron investigaciones donde se utilizó mezclas de ANA y polen, en el cual se analizaron su uso en conjunto de estos recursos para obtener una excelente conformación de racimos.

En la investigación realizada por (Bravo, Solórzano, Calixto, & Bastidas, 2022) se llegó a la conclusión que la mezcla de ANA y polen no es una práctica favorable, ya que en el proceso existe una inhibición en la germinabilidad del polen, así también, se determinó que el ANA favorece en la producción de frutos partenocárpico, este suceso se evidenció cuando la frecuencia entre ciclos fue de 2 días. Se confirmó que el potencial de aceite cuando existe 3 ciclos de aplicación, también se demostró estadísticamente que aplicar polen seguido de 2 aplicaciones de ANA cada 2 días es igual que aplicar solo ANA, bajo estos resultados los

autores recomiendan realizar análisis costo-beneficio para así poder determinar el mejor método para utilizar una asistencia en la polinización.

Aplicación de ANA en medio líquido y ANA en mezcla sólida

Las investigaciones realizadas por (García , Munevar, & Montoya, 2020), donde se evaluó la aplicación de ANA en diferentes concentraciones con el objetivo de comparar la relación costo-beneficio a nivel de campo en términos de rendimiento laboral y formación de RFF, indican que la superficie que cubren dos trabajadores con ANA de forma líquida fue de 4.8 has/día lo que corresponde a 637 inflorescencias/día, mientras que al aplicar ANA sólida un trabajador cubrió 4.1 has/día lo que corresponde a 541 inflorescencias/día. En lo que respecta al costo por ha/año fue estimado en 253 USD en mezcla líquida en comparación con la mezcla sólida que fue de 192 USD, sin embargo, el peso promedio del racimo que se obtuvo mediante el uso de ANA líquida favoreció la aplicación desde el punto de vista de la rentabilidad, esto debido a que en el PMR fue de 19.4% en comparación con el PMR en el que se usó ANA sólida.

Metodología

Ubicación del área experimental

La investigación se llevó a cabo en la provincia de Esmeraldas, cantón Quinindé, específicamente en el km 200 donde se encuentra ubicada la empresa “Palmera de Los Andes”.

Figura 1.

Mapa de la ubicación del área de investigación.



Nota: En la figura que representada gráficamente el mapa de la ubicación geográfica de la investigación acerca de la evaluación comparativa de las aplicaciones de ANA líquida y ANA sólida en la polinización asistida de híbridos de palma aceitera.

Ubicación política

- País: Ecuador
- Provincia Esmeraldas
- Cantón: Quinindé
- Recinto: La Marujita

Ubicación geográfica

La finca donde se realizó el estudio se encuentra en las siguientes coordenadas geográficas:

- Latitud: 00°15'63.83"S
- Longitud: 79°21'33.54"O

Ubicación ecológica

- Zona de vida: Bosque Húmedo Tropical (bhT)
- Temperatura anual media: 28°C
- Altitud: 190 msnm
- Precipitación anual: 1095 mm
- Humedad relativa: 70%
- Heliofanía: 8,5 horas luz/día

Métodos

Fase de campo

La evaluación comparativa de ANA líquida y ANA sólida en la polinización asistida de híbridos de palma aceitera en época seca, se lo llevó a cabo en las plantaciones que pertenecen a la empresa PALMERA DE LOS ANDES S.A. ubicada en la provincia de Esmeraldas.

La empresa cultiva palma en un área de 6330 hectáreas las cuales están distribuidas entre Quinindé y San Lorenzo. Las plantaciones están sembradas con un distanciamiento de 9 m x 9 m, con una totalidad de 123 plantas por hectárea. No obstante, en la zona de estudio se cultiva el híbrido OxG - Coarí x La Mé.

Las unidades experimentales ocuparon un área total de 2 hectáreas aproximadamente. Las aplicaciones se realizaron en 30 plantas por cada grupo de tratamientos.

El ensayo se efectuó durante los meses de mayo a diciembre del año 2025. Por lo tanto, el estudio duró seis meses, lapso durante el cual se analizó el efecto de polinización asistida con la hormona ANA líquida y sólida sobre la calidad de los racimos de palma africana.

Selección del lote experimental. Se eligió un lote con tendencia uniforme, tanto en características edafoclimáticas, fertilización, supervivencia, como en estructura de la planta y generación de inflorescencias y racimos.

Preparación del lote experimental. Se realizó el manejo sanitario y nutricional mediante controles de malezas, podas y fertilización edáfica para obtener los resultados esperados.

Distribución e identificación de los tratamientos. Luego de la preparación del lote, se sorteó la ubicación de las repeticiones de los tratamientos y se identificó las parcelas colocando tarjetas de identificación en las hojas más altas para asegurar una adecuada visualización de estas.

Levantamiento de la línea base. Se contaron los racimos formados previo a la aplicación de los tratamientos y fueron registrados en la libreta de campo.

Aplicación de los tratamientos. Las aplicaciones foliares se calendarizaron con periodicidad semanal, extendiéndose este ciclo a lo largo de cuatro semanas sin interrupción. Todo el proceso de aplicación concluyó antes de iniciar la etapa de muestreo, la cual se centró en el conteo exhaustivo de aquellas inflorescencias que presentaban un estado de desarrollo de pre-antesis. En cuanto al volumen de aplicación, se dosificó cuidadosamente una alícuota de 18 gramos de la pasta sólida o, en su defecto, 300 mililitros de la solución líquida, dirigida específicamente a cada inflorescencia considerada dentro de la unidad experimental.

Conteo y pesaje de los racimos. A lo largo del ciclo del cultivo, se estableció un calendario de visitas sistemáticas a la plantación. Durante cada visita, se levantó un registro minucioso para cada unidad experimental. La planilla de campo diseñada para este fin capturó variables clave como la fecha de evaluación, un código identificador único, el recuento de inflorescencias presentes, el número de racimos diferenciados y una columna para anotar

cualquier observación relevante sobre el estado fitosanitario o fenológico. Estos registros secuenciales permitieron trazar la dinámica de formación y desarrollo de las estructuras productivas.

Cosecha de racimos. la cosecha se realizó con y posteriormente los racimos fueron enfundados en sacos de polipropileno con su respectiva codificación para posteriormente enviarlos a la extractora.

Llenado de racimos (fruit set). se contabilizó, uno a uno, cada fruto que había alcanzado un desarrollo pleno y un tamaño comercializable dentro del racimo. Este número representaba el producto final, la cosecha tangible. A continuación, mediante inspección visual minuciosa de la estructura de la inflorescencia (raquis, pedicelos), se contabilizaron las cicatrices de abscisión correspondientes a flores o frutitos que no habían cuajado. La suma del número de frutos desarrollados y el número de cicatrices de abscisión representó el número total inicial de flores (N) que componía la inflorescencia.

Fase de laboratorio

Preparación del ANA sólido

Tras la calibración del equipo, se pesaron alícuotas de 20, 30, 40 y 50 g de ANA sólido, correspondientes a concentraciones objetivo de 2, 3, 4 y 5% (p/p). Cada una de estas masas se formuló individualmente en una dispersión sólida de 1 kg, utilizando un vehículo inerte como medio, para su posterior aplicación en los tratamientos.

Preparación del ANA líquido

Partiendo de ANA en estado sólido, se procedió a pesar las cantidades necesarias para lograr las concentraciones requeridas por el protocolo: 60, 49, 36 y 24 gramos. La estrategia de disolución consistió en la mezcla predefinida de surfactante y coadyuvante como solvente primario, asegurando así la completa incorporación del principio activo. A esta solución base se incorporó, bajo agitación constante. La preparación culminó con el aforo del volumen hasta los

20 litros estipulados, utilizando agua destilada en un bidón de plástico apto para este fin, y se homogeneizó enérgicamente para garantizar la estabilidad del caldo.

Extracción de aceite por el método de Soxhlet

Humedad (%). Se pesó un recipiente vacío y limpio que luego fue tarado, a continuación, se añadió 40 g de pulpa fresca de palma al recipiente y se registró su peso como pulpa fresca. Después, el recipiente con la pulpa se introdujo en una estufa a 105°C y posteriormente se pesó para obtener la masa del recipiente con la pulpa seca.

Aceite en base húmeda (%) y aceite en base seca (%). El proceso se realizó utilizando el método Soxhlet donde se pesó con precisión un cartucho de extracción vacío al que luego se le colocó 5 g de pulpa seca y molida; consecuentemente el cartucho fue colocado en el equipo soxhlet donde se agregó solvente que luego fue extraído durante 4 horas. Al finalizar la extracción se sacó el cartucho y se ubicó dentro de una campana de extracción para eliminar residuos del solvente.

Fisiología de la maduración

Índice de acidez (%). Se determinó a través de la titulación volumétrica con fenoftaleína, donde se homogeneizó la muestra de aceite crudo de palma a una temperatura mayor al punto de fusión (50°C). Luego se pesó 50 gramos de aceite en un matraz Erlenmeyer de 250 mL y se registró la masa con precisión de 0,0001 g. A continuación, se añadió 300 mL de alcohol - eter a un matraz erlenmayer y luego se agitó para disolver la muestra. Finalmente, se adicionó 0,5 mL de fenoftalina al 1% a la mezcla y a continuación se tituló con una solución de NaOH 0,1 N hasta que se notó una coloración ligeramente rosa, persistente hasta por 30 segundos. Posteriormente se anotó el volumen de NaOH utilizada en mL.

Índice de peróxidos (meq O₂/kg). Para dar inicio al análisis, se elaboró la solución de ácido acético y cloroformo mezclando tres volúmenes de ácido acético glacial con dos volúmenes de cloroformo, obteniendo así la proporción adecuada para la fase de disolución de la muestra.

Acto seguido, se preparó una solución saturada de yoduro de potasio. De igual forma, se dispuso de una solución 0,1 N de tiosulfato de sodio, previamente estandarizada para asegurar la exactitud de la valoración. Finalmente, se preparó la solución indicadora de almidón disolviendo 1 g de almidón soluble en agua destilada fría hasta formar una pasta homogénea, a la cual se le añadieron 100 cm³ de agua hirviendo mientras se agitaba rápidamente; una vez integrada, se dejó enfriar hasta temperatura ambiente.

Una vez acondicionados los reactivos, se dio inicio al procedimiento. Se pesaron, con una aproximación de 0,1 mg, alrededor de 5 g de muestra, los cuales fueron transferidos cuantitativamente a un matraz Erlenmeyer de 250 cm³ provisto de tapa esmerilada. Inmediatamente después, se agregaron 30 cm³ de la solución de ácido acético y cloroformo, agitando el matraz hasta lograr la disolución completa del contenido. Posteriormente, se añadieron 0,5 cm³ de la solución saturada de yoduro de potasio, empleando una pipeta de Mohr para mayor precisión. El matraz fue agitado durante un minuto para asegurar la reacción homogénea y, acto seguido, se incorporaron 30 cm³ de agua destilada.

La valoración se realizó empleando la solución 0,1 N de tiosulfato de sodio, la cual fue añadida gradualmente mientras se mantenía una agitación constante. Se continuó la titulación hasta que el característico color amarillo del yodo casi desapareció por completo. En ese punto, se añadieron 0,5 cm³ de la solución indicadora de almidón, retomando la titulación con especial cuidado cerca del punto final. La solución de tiosulfato fue agregada gota a gota, manteniendo una agitación ininterrumpida para liberar por completo el yodo atrapado en las capas de cloroformo. El punto final se determinó cuando el color azul desapareció en su totalidad, dejando la solución transparente. De manera paralela y bajo las mismas condiciones, se ejecutó un ensayo en blanco para descontar cualquier consumo inespecífico del valorante.

Índice de Yodo (g I₂/100 g). Para determinar el índice de yodo en la muestra de aceite, se pesó con precisión 0,5 gramos de la muestra y luego se lo transfirió a un matraz de tapón esmerilado. A continuación, se añadió 10 mL de cloroformo para disolver completamente la

grasa. Una vez disuelta, se agregó lentamente desde una bureta, 12 mL de solución de yodo bromuro (reactivo de Hanus), asegurando una incorporación controlada del reactivo.

A continuación, se dejó reposar el matraz en un lugar oscuro durante exactamente 30 minutos, agitando ocasionalmente para favorecer la halogenación completa de los dobles enlaces. Pasado este tiempo, se incorporó 7 mL de solución de yoduro de potasio al 10%, se agitó vigorosamente y se añadió 100 mL de agua. Después se procedió a titular la mezcla con solución 0,1 N de tiosulfato de sodio hasta que la coloración se tornó amarillo pálido; en ese momento, se tapó el matraz y se agitó.

Consecuentemente se añadió 1 mL de solución de almidón al 1% y se continuó la titulación hasta que el azul característico desapareció por completo y la solución adquirió un aspecto blanquecino transparente. Se realizó simultáneamente en blanco el procedimiento y finalmente.

Solubilidad. En este caso, se colocó en cada tubo de ensayo 0,5 mL del aceite y luego se añadió 1 mL de los diferentes disolventes orgánicos (alcohol etílico, cloroformo, éter etílico) y agua. Este proceso se realizó en frío y en caliente.

Coloración. Se llevó a cabo a través de la coloración selectiva de rojo-anaranjado con el colorante Sudán, para lo cual se utilizó tubos de ensayo donde se colocó 2 mL del aceite, posteriormente se adicionó 4 a 5 gotas de solución alcohólica de Sudán III a uno de los tubos, mientras que, al resto, se les adicionó 4 a 5 gotas de tinta roja y finalmente se evidenció la coloración, bajo la premisa de que, en el tubo con Sudán III el aceite debía aparecer teñido.

Variables evaluadas

Peso medio del racimo (kg). Se calculó mediante el promedio de la suma de los racimos cosechados en cada tratamiento.

Longitud del racimo. Se midió la distancia desde la base del pedúnculo hasta el ápice del racimo, con la ayuda de una regla graduada en centímetros.

Fruit set. Para cada racimo, el porcentaje de cuajado (fruit set, FS) se calculó aplicando la siguiente fórmula:

$$FS(\%) = \frac{\text{Frutos desarrollados}}{\text{Número Total Inicial de Flores}} \times 100$$

Dónde el número total inicial de flores se caracterizó por la cantidad de frutos desarrollados más las cicatrices de abscisión.

Fisiología de la maduración

- **Índice de acidez (%).** Se realizó para determinar el porcentaje de ácido oleico y se aplicó la siguiente fórmula:

$$\text{Acidez (\% expresado como ácido oleico)} = \frac{V \times N \times 28,20}{m}$$

Dónde:

V = Volumen de la solución de hidróxido de sodio gastado en la titulación (mL)

N = Normalidad exacta de la solución de hidróxido de sodio (0,1 N).

28,20 = Factor constante ($100 \times \text{peso equivalente del ácido oleico} = 100 \times 0.282 \text{ g/meq}$).

m = Masa de la muestra de aceite (g).

Índice de peróxidos (meq O₂/kg). Se realizó un análisis químico cuantitativo denominado valoración redox indirecta. A continuación, se presenta la fórmula aplicada:

$$\text{Índice de peróxidos} = \frac{vN}{m} \times 1000$$

v = Volumen de la solución de tiosulfato de sodio empleado en la titulación de la muestra (mm) corregido del blanco.

N = normalidad de la solución de tiosulfato de sodio.

m = masa de la muestra analizada (g).

Índice de Yodo (g I₂/100 g). Se aplicó una técnica de análisis volumétrico (iodometría: valoración indirecta con yodo) y luego, se calculó aplicando la fórmula correspondiente:

$$I.Y = \frac{(V_B - V_M) \times N \times 12,67}{P}$$

Dónde:

V_B = número de mL de tiosulfato 0,1 N requeridos por el blanco.

V_M = número de mL de tiosulfato 0,1 N requeridos en la muestra

N = normalidad del tiosulfato de sodio

P = peso de la muestra

Solubilidad. Se realizó mediante un ensayo fisicoquímico cualitativo para identificar la pureza por afinidad de solventes.

Coloración. En este caso se realizó la confirmación de la naturaleza lipídica mediante una prueba de colorimetría cualitativa.

Tipo de investigación

Este estudio fue aplicado, cuantitativo, con diseño experimental de campo, alcance explicativo-comparativo y corte longitudinal. Generó conocimiento original y tecnológicamente pertinente para la optimización de la polinización artificial en palma aceitera híbrida OxG. Integró variables agronómicas, fisicoquímicas y económicas, constituyendo un aporte pionero en la frontera del conocimiento, con impacto directo en la productividad y rentabilidad del sector palmero.

Diseño Experimental

Tipo de diseño

Se aplicó un diseño de bloques completos al azar (DCA) con un arreglo bifactorial de 2 x 4, lo que originó un total de 8 tratamientos con sus respectivas repeticiones que fueron distribuidos en el sitio de la investigación. A continuación, se presenta la ecuación lineal del diseño:

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

Dónde:

Y_{ij} = Observaciones las unidades experimentales.

μ = Efecto medio.

τ_i = Efecto del tratamiento (i).

ε_{ij} = Valor al azar del error experimental de las U.E (ij).

Factores probados

Los factores que se pusieron a prueba en esta investigación fueron:

- **t:** Tipos de ANA.
- **c:** Concentración de ANA.

Tabla 2.

Tipos de ANA y concentraciones que se utilizaron en el estudio.

Factor	Niveles
Tipos de ANA	t1 = ANA sólida
	t2 = ANA líquida
Concentración de ANA	c1 = 2% de concentración
	c2 = 3% de concentración
	c3 = 4% de concentración
	c4 = 5% de concentración

Tratamientos estudiados

En el estudio se analizaron dos factores, por lo tanto, existieron ocho tratamientos que se detallan a continuación en la Tabla 3:

Tabla 3.

Tipos de ANA y concentraciones que se utilizaron en el estudio.

Tratamiento	Codificación	Identificación
S-T1	a1c1	ANA sólida al 2%
S-T2	a1c2	ANA sólida al 3%
S-T3	a1c3	ANA sólida al 4%
S-T4	a1c4	ANA sólida al 5%
L-T5	a2c1	ANA líquida al 2%
L-T6	a2c2	ANA líquida al 3%
L-T7	a2c3	ANA líquida al 4%
L-T8	a2c4	ANA líquida al 5%

Análisis estadístico

El esquema que se presenta a continuación muestra el análisis de varianza (Tabla 4), representa las fuentes de variación con sus respectivos grados de libertad de acuerdo con el diseño aplicado.

Tabla 4.

Esquema del Análisis de Varianza de la Evaluación comparativa de las aplicaciones de ANA líquida y ANA sólida en la polinización asistida de híbridos de palma aceitera.

Fuentes de variación	Grados de libertad	
	Fórmula	Cantidad
Tipos de ANA	$(a - 1)$	1
Concentración	$(c - 1)$	3

Tabla 4.

Esquema del Análisis de Varianza de la Evaluación comparativa de las aplicaciones de ANA líquida y ANA sólida en la polinización asistida de híbridos de palma aceitera.

Tipos de ANA x Concentración	$(a - 1) (c - 1)$	3
Error experimental	$(T - 1)$	7
Total	$(Tt - 1)$	14

Coefficiente de variación

Se utilizó para medir el porcentaje del error en función del promedio, a través de la ecuación que se observa a continuación:

$$CV = \frac{\sqrt{CMe}}{\bar{X}} \times 100$$

Dónde:

CV = Coeficiente de variación.

CMe = Cuadrado medio del error experimental.

$\bar{X}$ = Promedio de los tratamientos.

Análisis funcional

La comparación de los tratamientos se realizó mediante la prueba de significancia de Tukey al 5%.

Análisis económico

Para determinar la viabilidad económica de las estrategias de aplicación, se realizó un análisis de costos de producción y un estudio de rentabilidad. Para estimar la rentabilidad, se registró el peso medio del racimo (PMR) obtenido por cada tratamiento. Considerando un precio de venta fijo de 300 dólares por tonelada, se calculó el ingreso bruto por racimo y, tras descontar el costo de la dosis por inflorescencia, se obtuvo el ingreso neto por racimo. Finalmente, se

extrapolaron estos valores a la producción anual por hectárea y se determinó el retorno por dólar invertido, expresado como la relación entre el ingreso neto por hectárea y el costo total por tratamiento.

Materiales

Materiales de campo

Tabla 5.

Materiales utilizados en la fase de campo.

Materiales	
Caneca de 20 litros	Planilla de campo
Bomba de fumigación modificada	Botas de caucho
Gancho	Bomba insulfadora
Casco	Cámara
Tarjetas identificación	Probeta
Mascarilla	Talco
Regla graduada (cm)	Sacos de polipropileno
Balanza	Palín Malayo
Guantes de carnaza	
Libreta de campo	

Materiales de laboratorio**Tabla 6.**

Materiales utilizados durante el análisis de degradabilidad.

Materiales	
ANA sólida	Balanza analítica
Etanol al 96%	Agua destilada
Surfactante	Vaso de precipitación
Regulador de pH	Regulador de pH
Canecas de 20 litros	Fundas plásticas
Fenoltaleína al 1%	Cloroformo
Aceite crudo de palma	Yoduro de potasio al 10%
Matraz Erlenmeyer de 250 mL	Tiosulfato de sodio al 0,1 N
Alcohol – eter	Almidón soluble
Estufa	Plato calentador
Equipo de titulación	Matraz Erlenmeyer con tapa esmerilada de 250 cc
Equipo Soxhlet	Cartuchos
Campana de extracción	Éter de petróleo
Reactivo de Hanus	Tubos de ensayo
Éter etílico	Alcohol etílico
Reactivo de Sudán III	Tinta roja
NaOH al 0,1 N	Pipeta de Mohr
Ácido acético	Probeta graduada de 25 mL

Resultados y Discusión

Peso medio del racimo de palma aceitera obtenido mediante polinización asistida con dos tipos de ANA a diferentes concentraciones

Los resultados de la influencia del tipo de ANA (líquida o sólida) a distintas concentraciones (2%, 3%, 4% y 5%) afectan el peso del racimo de palma aceitera en varios turnos de aplicación están expuestos en la tabla 7.

Tabla 7.

Análisis de varianza para la variable peso medio del racimo de la segunda, tercera y cuarta aplicación de los dos tipos de ANA a diferentes concentraciones.

Fuente de la Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados			Valor F-tabular			p-valor		
		Aplic. 1	Aplic. 2	Aplic. 3	Aplic. 1	Aplic. 2	Aplic. 3	Aplic. 1	Aplic. 2	Aplic. 3
Tipo de ANA	1	100,19	124,36	116,69	15,66	15,57	14,82	0,0002 ***	0,0002 ***	0,0002 ***
Concentraciones	3	23,54	32,95	14,82	1,23	1,38	0,63	0,3050 ns	0,2556 ns	0,5991 ns
0.02 vs 0.03, 0.04 y 0.05	1	21,46	22,55	3,90	3,35	2,82	0,50	0,0704 ns	0,0964 ns	0,4833 ns
0.03 vs 0.04 y 0.05	1	1,79	0,11	1,07	0,28	0,01	0,14	0,5978 ns	0,9070 ns	0,7129 ns
0.04 vs 0.05	1	0,22	10,76	10,28	0,03	1,35	1,31	0,8541 ns	0,2489 ns	0,2562 ns
Tipo de ANA*Concentraciones	3	9,11	8,55	16,6	0,47	0,36	0,70	0,7009 ns	0,7843 ns	0,5528 ns
Error	7	563,04	702,71	692,73						
Total	14	697,05	860,41	837,32						
Coeficiente de variación (%)		22,95	23,95	24,19						

Nota: “ns” = no significativo; * = significativo; ** = muy significativo; ***= altamente significativo y **** = extremadamente significativo.

La tabla 7 revela que el tipo de ANA tiene un impacto muy relevante ($p=0,002$) en el peso del racimo, lo cual se mantiene constante a través de todas las aplicaciones y respalda la hipótesis alternativa. En cambio, las comparaciones de las distintas concentraciones (0.02, 0.03, 0.04 y 0.05) no muestran diferencias estadísticamente relevantes entre ellas ni interactúan con el tipo de ANA.

En relación con el coeficiente de variación, este señala una variabilidad experimental que oscila entre el 22,95% y el 24,19%, lo cual es característico en investigaciones agrícolas que analizan materiales biológicos. Por tanto, se considera que el rango es aceptable y no invalida los resultados obtenidos.

Efecto del factor A (Tipos de ANA)

Figura 2.

Comparación de medias (prueba de Tukey, $p<0.05$) del peso de los racimos en función del tipo de ANA, en las diversas aplicaciones efectuadas.

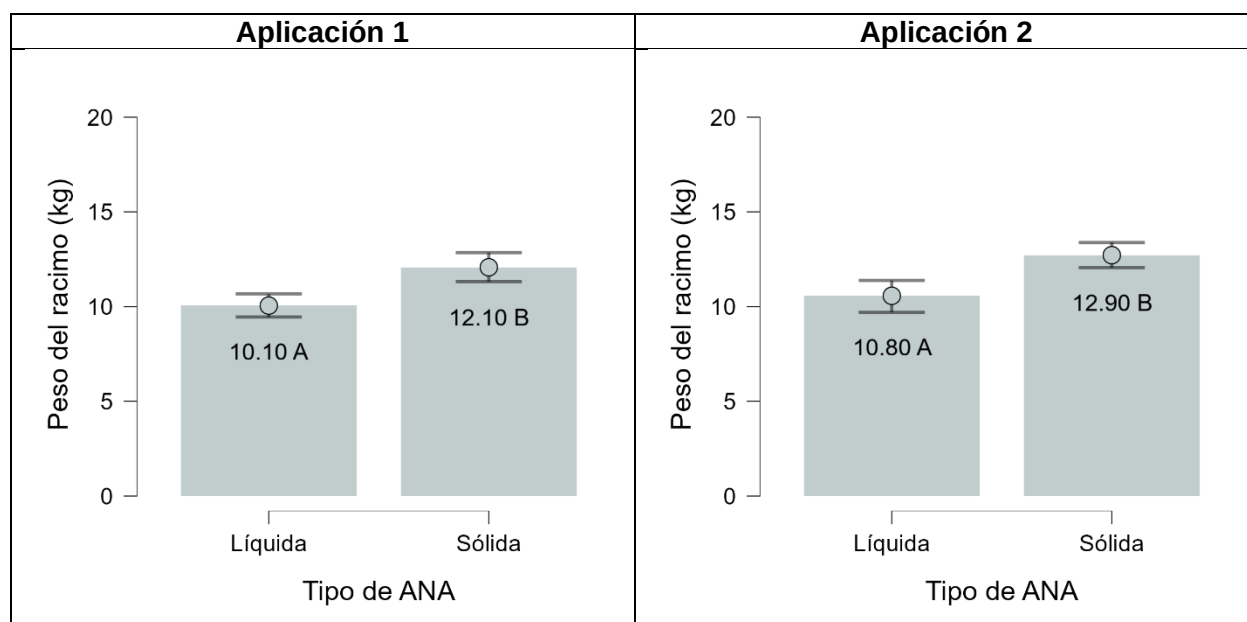
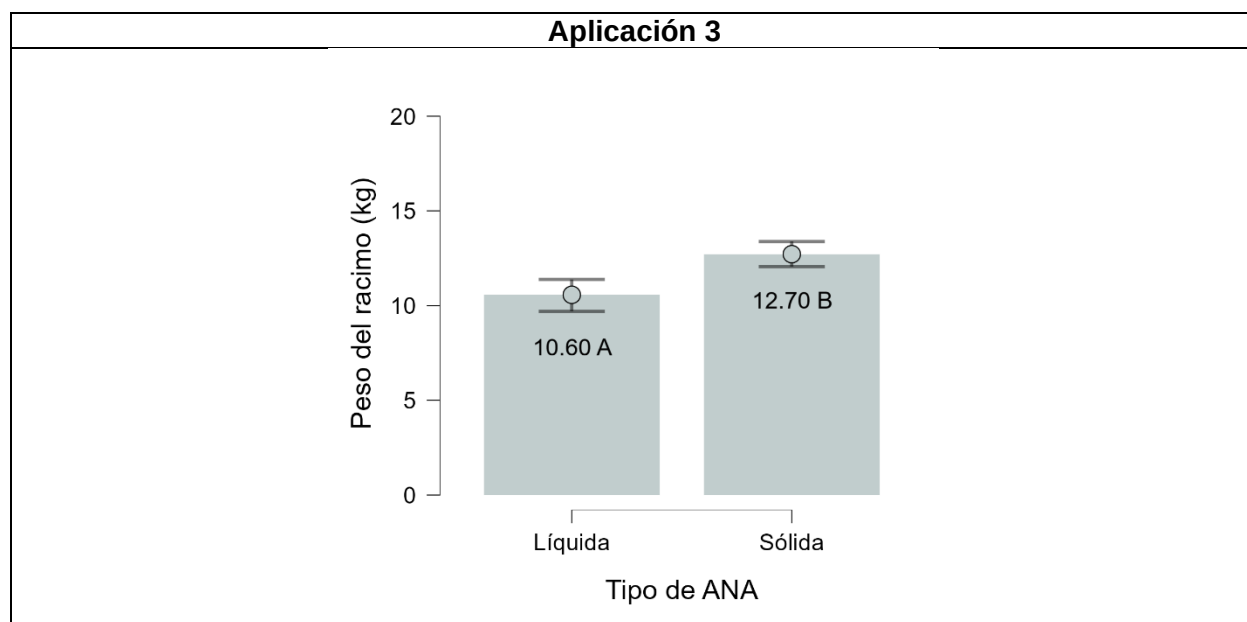


Figura 2.

Comparación de medias (prueba de Tukey, $p < 0.05$) del peso de los racimos en función del tipo de ANA, en las diversas aplicaciones efectuadas.



En la figura 2, se puede ver el impacto del Factor A (los tipos de ANA) en el peso del racimo de palma aceitera durante las distintas aplicaciones que se llevaron a cabo, siguiendo la prueba de rangos de Tukey.

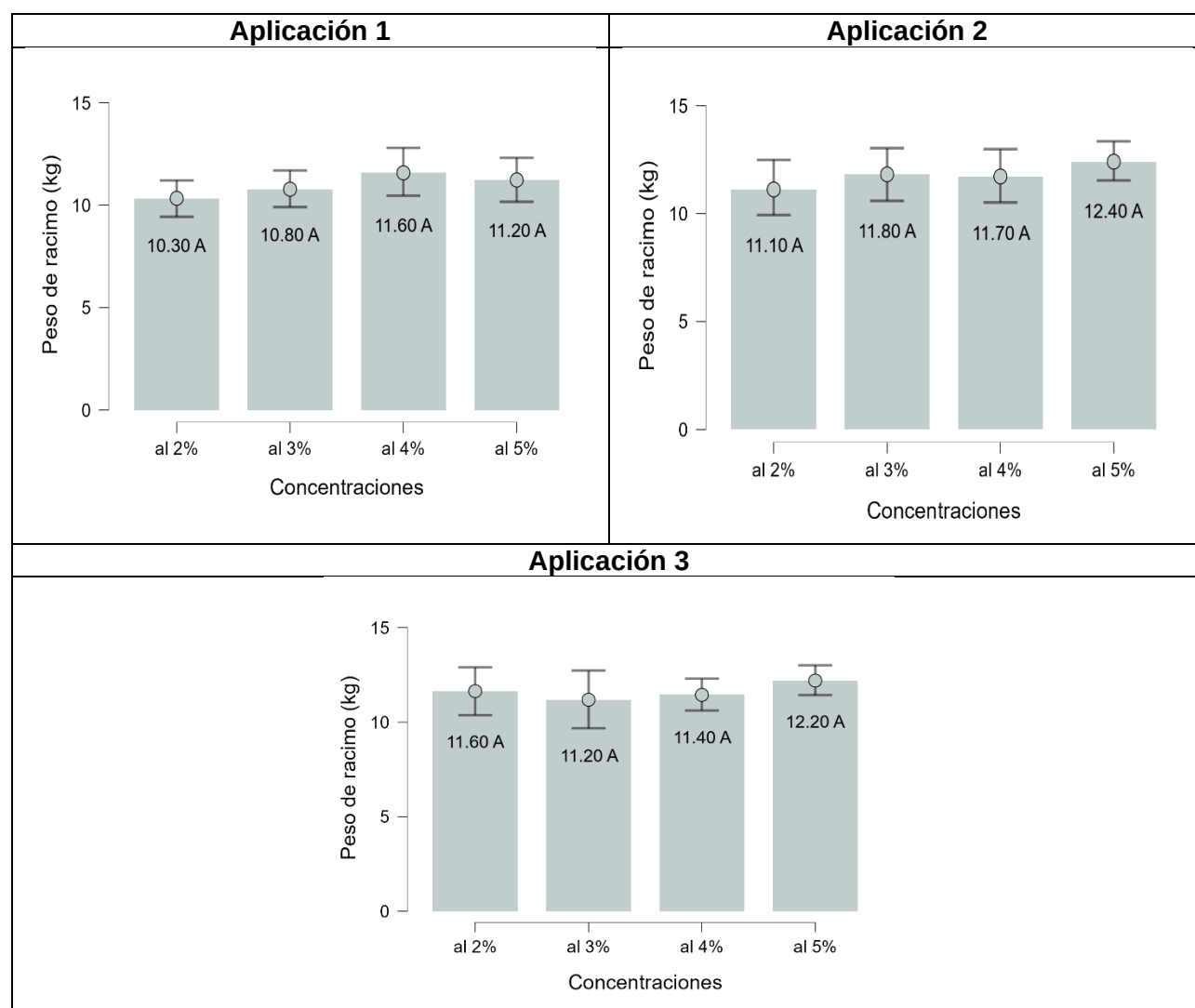
La figura 2 muestra que, en las tres aplicaciones, el empleo de ANA sólida sobrepasó a la variante líquida en términos del peso medio del racimo. La aplicación sólida logró registros situados entre los 12,10 y 12,90 kg, mientras que la presentación líquida no alcanzó un rango tan alto y estuvo estancada en un rango más bajo, oscilando entre 10,10 y 10,80 kg en las tres fases analizadas.

Efecto del factor B (Concentraciones)

La figura 3, que se muestra a continuación, ilustra el impacto de las concentraciones (factor B) en el peso medio del racimo de la palma aceitera a lo largo de las distintas aplicaciones efectuadas en base al test de rangos de Tukey.

Figura 3.

Comparación de medias (prueba de Tukey, $p < 0.05$) del peso de los racimos en función de las concentraciones, en las diversas aplicaciones efectuadas.



La figura 3 revela que el factor concentración no tuvo un papel decisivo en el peso final del racimo durante ninguna de las tres etapas de la prueba. Los registros varían entre 10,30 y 11,60 kg en la primera intervención; por otro lado, en la segunda y tercera aplicación se registraron valores de 11,10 a 12,40 kg y de 11,20 a 12,20 kg respectivamente.

Efecto de la interacción de AxB (Tipos de ANA x Concentraciones)

En la figura 4, se exhibe cómo el Factor B (concentraciones) afecta el peso de los racimos de palma aceitera durante las distintas aplicaciones efectuadas conforme a la prueba de rangos de Tukey.

Figura 4.

Comparación de medias prueba de Tukey, $p < 0.05$) del peso de los racimos en función de la interacción AxB, en las diversas aplicaciones efectuadas.

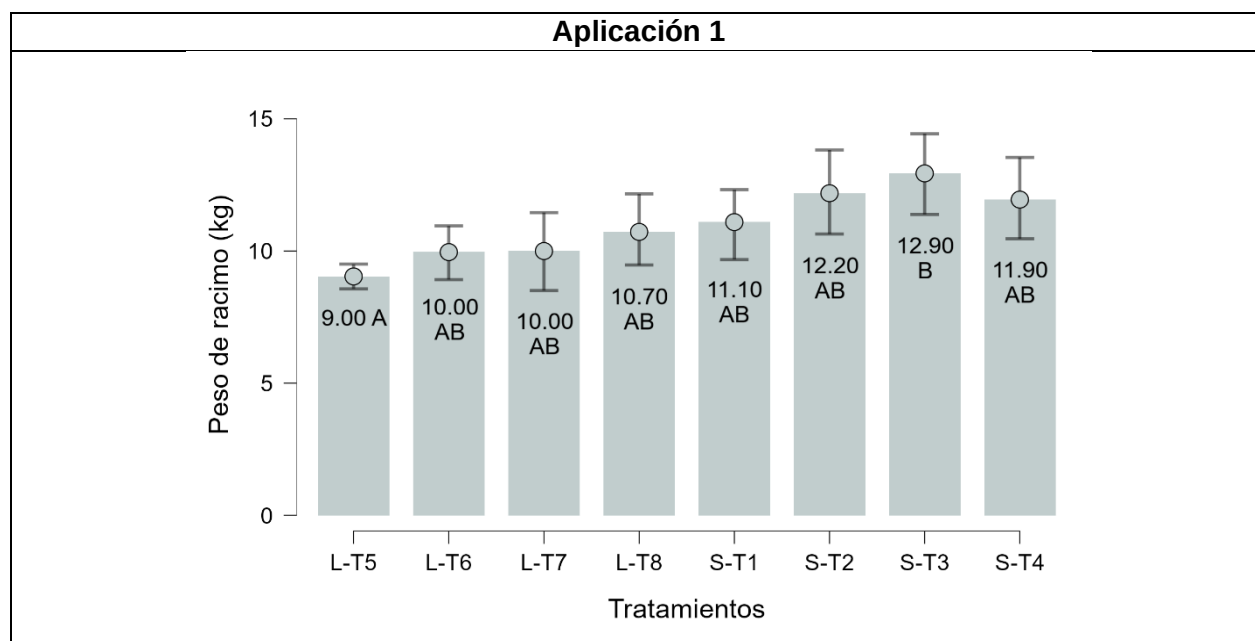
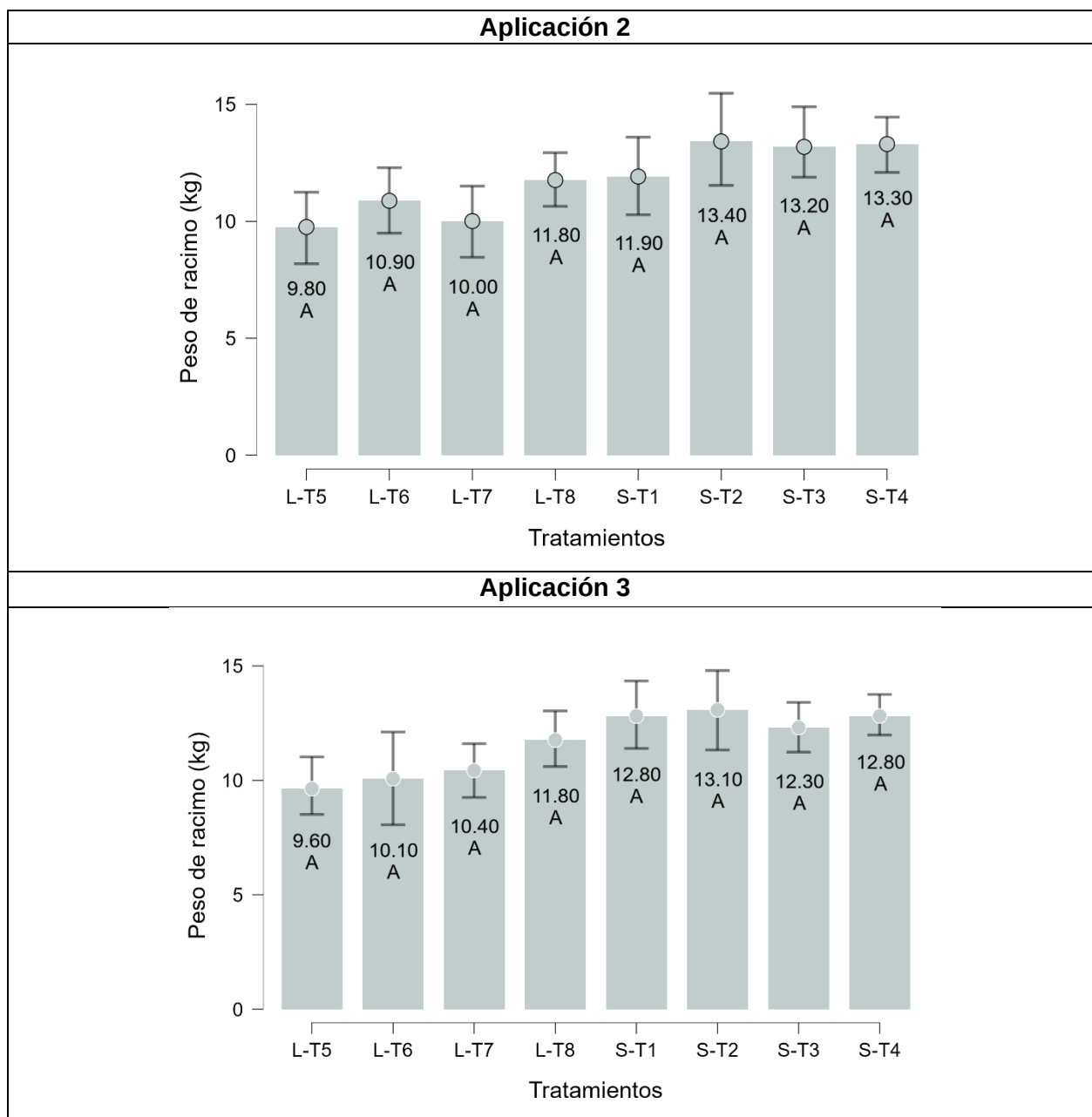


Figura 4.

Comparación de medias prueba de Tukey, $p < 0.05$) del peso de los racimos en función de la interacción AxB, en las diversas aplicaciones efectuadas.



La figura 4 muestra que, tomando en cuenta todo el periodo de estudio, los rangos de peso oscilan entre los 9,00 y los 12,90 kg. En la primera aplicación, se observó un punto crítico:

el tratamiento L-T5 (líquido al 2%) tuvo un rendimiento considerablemente inferior al de S-T3 (sólido al 4%), lo que constituyó la única diferencia estadística clara del experimento.

Sin embargo, este contraste se desvaneció en las etapas posteriores: el grupo logró cierta uniformidad operativa durante la segunda y tercera aplicación. A pesar de que los rangos se mantuvieron entre 9,60 - 9,80 kg para L-T5 y entre 13,10 - 13,40 kg para S-T2 en estos últimos ciclos, las diferencias no fueron tan significativas como para afectar la homogeneidad estadística según los criterios de la prueba.

Los pesos de racimo adquiridos en la investigación actual (9.00 - 13.40 kg) están incluidos en el intervalo previsto para el híbrido Coarí x La Mé bajo inducción con ANA. Puesto que, Romero et al. (2021) informaron que, el promedio del ANA líquido en condiciones ideales fue de 12,20 kg. En este estudio, el tratamiento con ANA sólido (S-T2) en cambio llegó a 13.40 kg, lo que excedió el estándar reportado. Esto indica que la formulación sólida tiene el potencial de proporcionar beneficios de liberación sostenida.

La diferencia estadística detectada únicamente en la primera aplicación de L-T5 puede ser atribuida, según Ruiz y Méndez (2000) a épocas de lluvia, dado que la polinización asistida es fundamental justamente porque la actividad del polinizador natural se derrumba cuando llueve durante el día.

Además, es relevante tener en cuenta que, a causa de la naturaleza fisicoquímica del ANA en su estado sólido, este reactivo es estable; sin embargo, las soluciones acuosas son fotoinestables y propensas al lavado debido a su dilución elevada (Haoyu, 2025).

Tamaño del racimo de palma aceitera obtenido mediante polinización asistida con dos tipos de ANA a diferentes concentraciones

La tabla 8 muestra los resultados de cómo el tipo de ANA (sólido o líquido) a distintas concentraciones (2%, 3%, 4% y 5%) afecta la dimensión del racimo de palma aceitera en diversos turnos de aplicación.

Tabla 8.

Análisis de varianza para la variable altura del racimo de la segunda, tercera y cuarta aplicación de los dos tipos de ANA a diferentes concentraciones.

Fuente de la Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados			Valor F-tabular			p-valor		
		Aplic. 1	Aplic. 2	Aplic. 3	Aplic. 1	Aplic. 2	Aplic. 3	Aplic. 1	Aplic. 2	Aplic. 3
Tipo de ANA	1	985,42	487,92	276,08	73,55	21,99	13,78	<0,0001 ****	<0,0001 ****	0,0004 ***
Concentraciones	3	94,73	4,18	33,39	2,36	0,06	0,56	0,0772 ns	0,9793 ns	0,6459 ns
0.02 vs 0.03, 0.04 y 0.05	1	64,50	0,05	24,92	4,81	0,0024	1,24	0,0309 *	0,9611 ns	0,2679 ns
0.03 vs 0.04 y 0.05	1	8,84	1,27	3,83	0,66	0,06	0,19	0,4188 ns	0,8117 ns	0,6629 ns
0.04 vs 0.05	1	20,57	2,75	5,41	1,54	0,12	0,27	0,2186 ns	0,7255 ns	0,6046 ns
Tipo de ANA*Concentraciones	3	21,48	87,07	83,86	0,53	1,31	1,39	0,6599 ns	0,2769 ns	0,2497 ns
Error	7	1179,01	1952,59	1763,66						
Total	14	2308,50	2563,16	2151,16						
Coeficiente de variación (%)		11,39	14,02	13,74						

Nota: "ns" = no significativo; * = significativo; ** = muy significativo; ***= altamente significativo y **** = extremadamente significativo.

La tabla 8 muestra que el tipo de ANA afecta de manera muy significativa ($p=0,002$) al peso del racimo en todas las aplicaciones, lo que posibilita la aceptación de la hipótesis alternativa. En contraste, no se observan diferencias estadísticamente significativas entre las concentraciones de 2, 3, 4 y 5%, ni tampoco estas interactúan con la clase de ANA.

En relación con el coeficiente de variación, este señala una variabilidad experimental que oscila entre el 22,95% y el 24,19%, lo cual es característico en investigaciones agrícolas que analizan materiales biológicos. Por tanto, se considera que el rango es aceptable y no invalida los resultados obtenidos.

Efecto del factor A (Tipos de ANA)

En la figura 5, se puede apreciar el impacto del Factor A (tipos de ANA) en el tamaño del racimo de palma aceitera a lo largo de las distintas aplicaciones efectuadas según la prueba de rangos de Tukey.

Figura 5.

Comparación de medias (prueba de Tukey, $p<0.05$) de la altura de racimo en función de los tipos de ANA, en las diversas aplicaciones efectuadas.

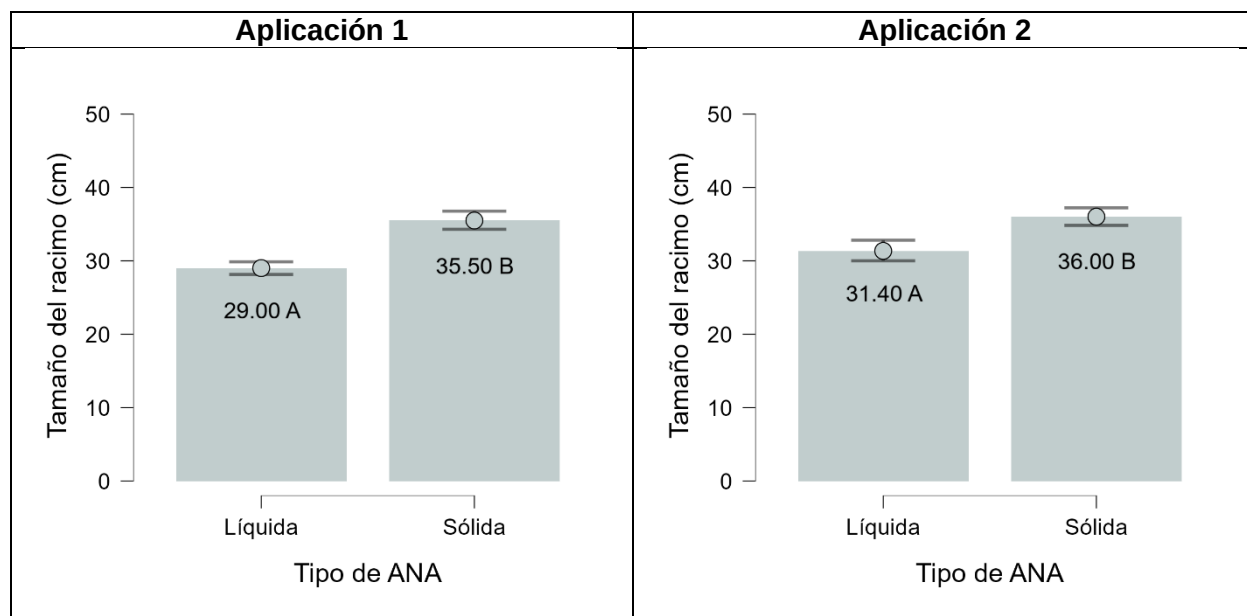
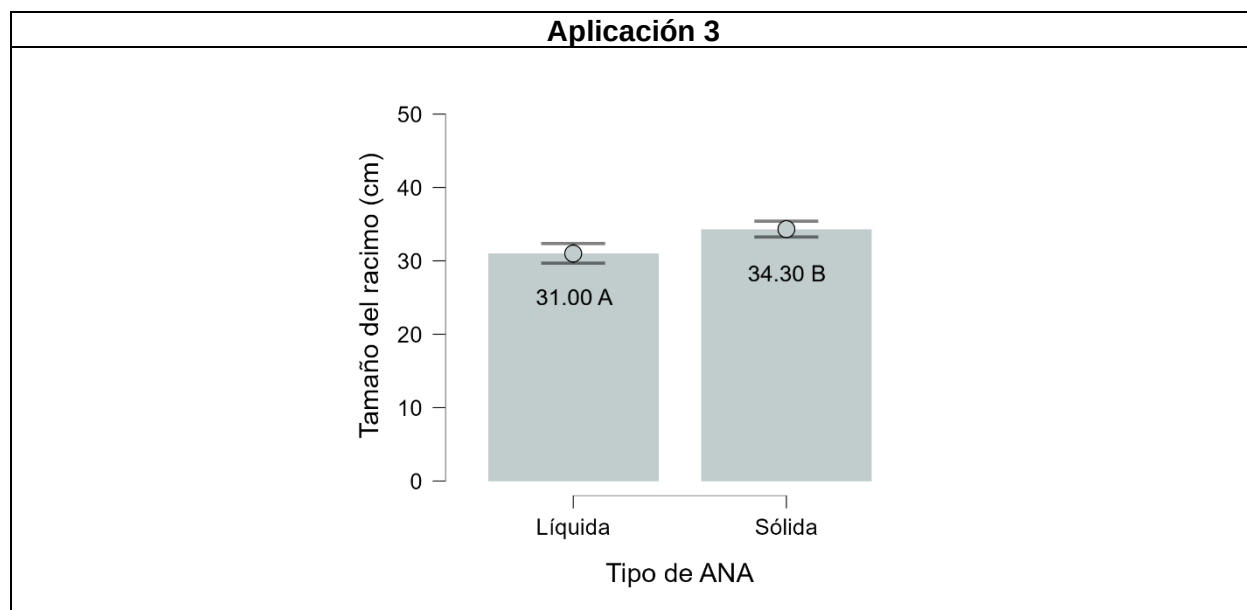


Figura 5.

Comparación de medias (prueba de Tukey, $p < 0.05$) de la altura de racimo en función de los tipos de ANA, en las diversas aplicaciones efectuadas.



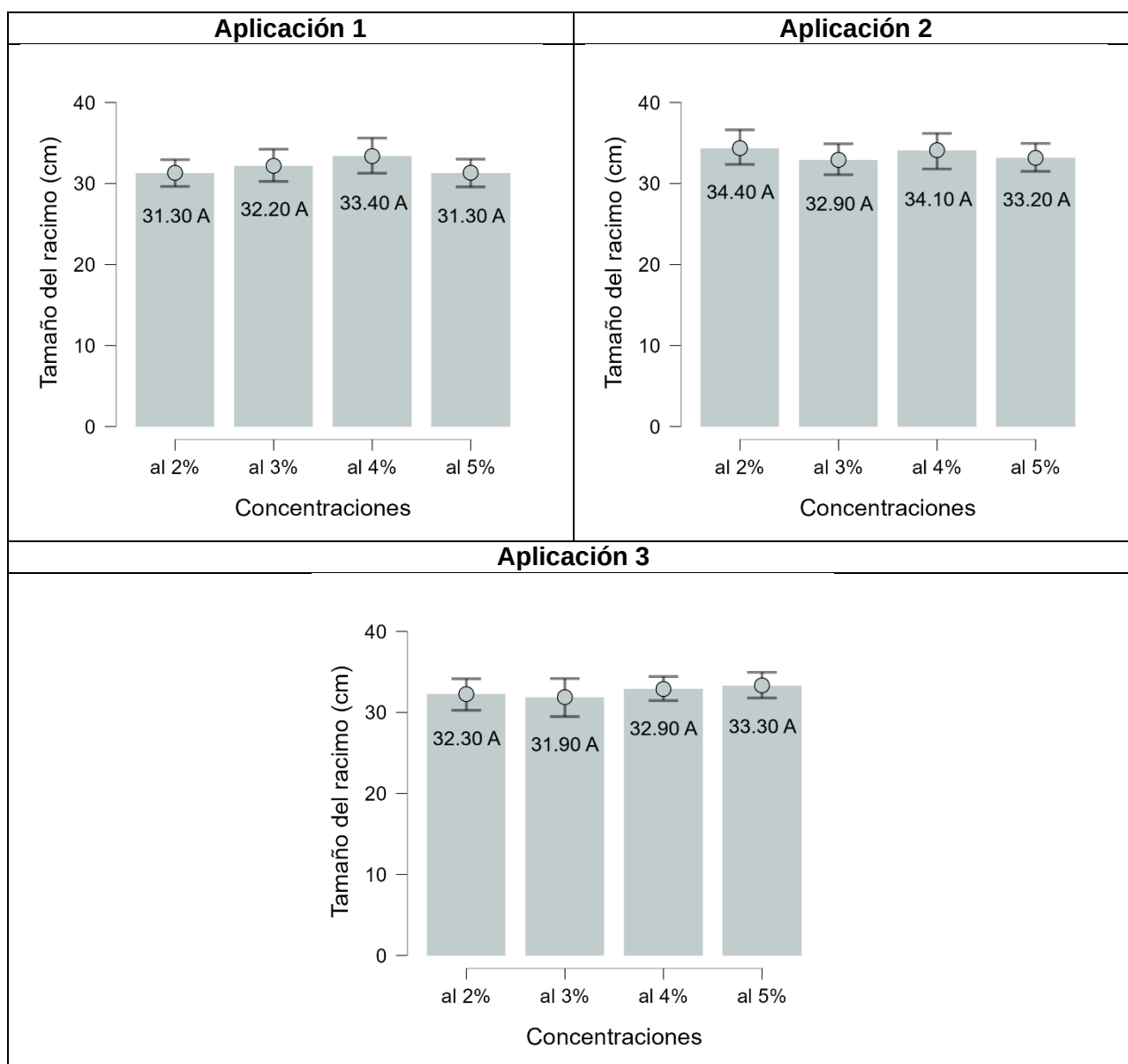
La figura 5 muestra que, durante todo el estudio, la implementación de ANA sólida promovió el crecimiento de racimos más grandes que los tratados con la variante líquida. En términos concretos, la formulación sólida logró implantar un estándar de crecimiento que osciló entre los 34,30 y los 36,00 cm, superando así a la presentación líquida. Esta última no alcanzó en ninguna de las evaluaciones efectuadas el límite de los 29,00 a los 31,40 cm.

Efecto del factor B (Concentraciones)

En la figura 6, que se presenta más adelante, se ilustra el impacto del Factor B (Concentraciones) en la dimensión de los racimos de palma aceitera durante las distintas aplicaciones efectuadas conforme a la prueba de rangos de Tukey.

Figura 6.

Comparación de medias (prueba de Tukey, $p < 0.05$) de la altura de racimo en función de las concentraciones, en las diversas aplicaciones efectuadas.



En la figura 6, se hace evidente una notable paridad en el crecimiento longitudinal del racimo a través de las diferentes concentraciones. Durante el primer ciclo de aplicación, las

medidas fluctuaron en un rango estrecho, desde los 31,3 cm (detectados tanto en dosis del 2% como del 5%) hasta un pico de 33,4 cm al aplicar el 4%.

En la segunda etapa, el comportamiento fue similar, con registros que oscilaron entre 32,90 cm y 34,40 cm para las dosis del 3% y 2%, respectivamente. Finalmente, el ensayo cerró con una estabilización de las dimensiones en la tercera fase, donde los valores se mantuvieron constantes entre los 31,90 cm y los 33,30 cm, reforzando la idea de que no hubo cambios drásticos inducidos por el nivel de concentración.

Efecto de la interacción de AxB (Tipos de ANA x Concentraciones)

En la figura 7, que se presenta a continuación se muestra el efecto de la interacción de los Factores A (Tipos de ANA) y B (Concentraciones) sobre el tamaño de racimo de palma aceitera durante las diferentes aplicaciones realizadas de acuerdo con la prueba de rangos de Tukey.

Figura 7.

Comparación de medias prueba de Tukey, $p < 0.05$) del tamaño de los racimos en función de la interacción AxB, en las diversas aplicaciones efectuadas.

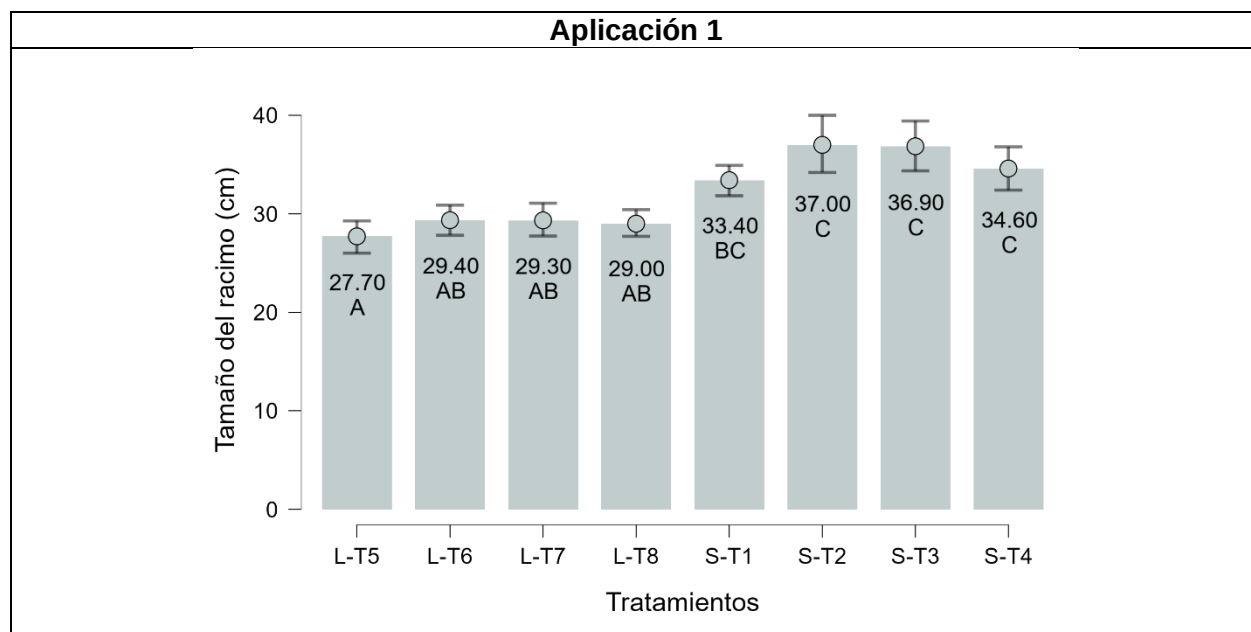
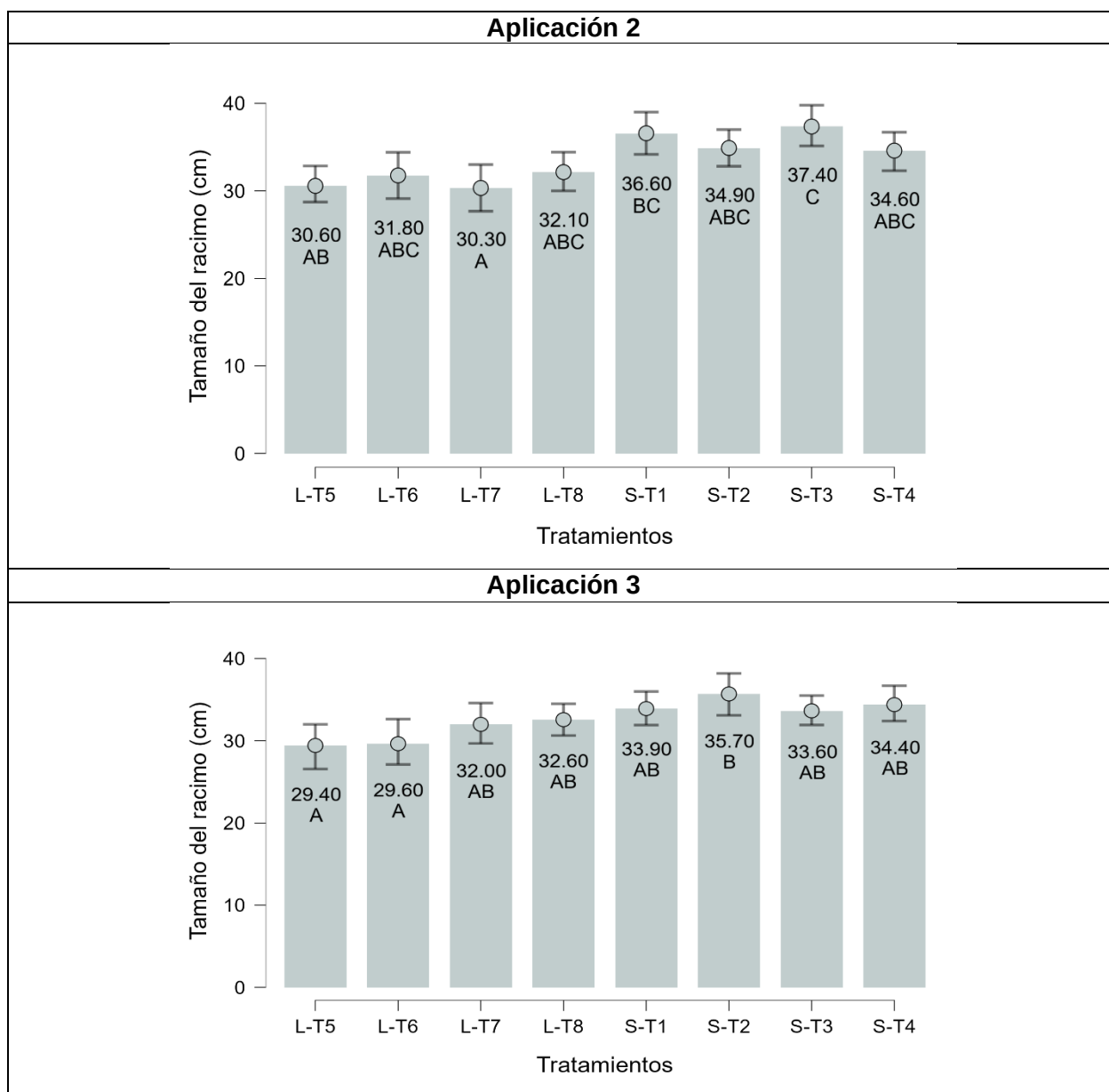


Figura 7.

Comparación de medias prueba de Tukey, $p < 0.05$) del tamaño de los racimos en función de la interacción AxB, en las diversas aplicaciones efectuadas.



En la figura 7, la primera aplicación muestra una diferencia inicial significativa, con dimensiones que oscilaron entre los 27,70 cm del tratamiento L-T5 (ANA líquida al 5%) y los 37 cm logrados por el S-T2 (ANA sólido al 3%). En términos estadísticos, los grupos sólidos de ANA (S-T2, S-T3 y S-T4) rebasaron con claridad al grupo líquido de dosificación más baja por casi 10 cm.

Para la segunda fase, a pesar de que el rango se estabilizó en márgenes parecidos (de 30,30 cm en L-T7:ANA líquida al 3% a 37,40 cm en S-T3:ANA sólida al 4%), la prueba de rangos de Tukey demostró una convergencia más amplia entre las medias. En este momento, el tratamiento S-T3 fue el que más destacó, a pesar de que su diferencia solo fue estadísticamente significativa con respecto al L-T7 (ANA líquido al 3%). Los demás grupos presentaron una tendencia hacia la homogeneidad, dado que compartían las mismas categorías literales.

Al final de la evaluación, las medidas fueron entre 29,40 y 35,70 cm. En este ciclo de cierre, únicamente el S-T2 (ANA sólido al 3%) se distinguió estadísticamente de los resultados más sutiles que ofrecieron las formulaciones líquidas L-T5 (ANA al 5%) y L-T6 (ANA al 4%).

De acuerdo con Katel et al. (2022) las auxinas, entre ellas el ANA, son reguladores fundamentales del crecimiento y cuajado de los frutos porque su mecanismo de acción activa la división y expansión de las células en los tejidos del ovario y en el receptáculo.

Los mecanismos de penetración cuticular documentados por Schonherr, Baur & Uhlig (2000), explican la diferencia inicial de 10 cm entre el tratamiento líquido de baja dosificación L-T5 (27.7 cm) y el sólido S-T2 (37 cm). demostraron que la penetración del ANA a través de la cutícula depende de tres factores esenciales: el nivel de ionización, las condiciones ambientales y los coadyuvantes presentes.

Schonherr, Baur & Uhlig (2000) advierten que a un $\text{pH} > 7$, la penetración cuticular del ANA se elimina. Por lo tanto, al ser utilizada en matriz de talco, la formulación sólida (S-T2, S-T3, S-T4) impide que el ANA se ionice con la alcalinidad y el lavado. De este modo, se conserva una fracción no ionizada apta para mantener una penetración constante. Por otro lado, la

formulación líquida L-T5, en particular su concentración más baja, es vulnerable a las condiciones desfavorables del agua alcalina o dura, lo que disminuye significativamente su absorción y, por ende, provoca una expansión celular del racimo menos pronunciada.

Extracción de aceite por tratamiento (%)

La tabla 9 expone los resultados de la influencia del tipo de ANA (sólido o líquido) a distintas concentraciones (2%, 3%, 4% y 5%) sobre la extracción de aceite (%) de palma aceitera.

Tabla 9.

Análisis de varianza para la variable extracción de aceite (%) de los dos tipos de ANA a diferentes concentraciones.

Fuentes de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F- tabular	p-valor
Tipo de ANA	1	21,29	21,29	42,67	<0,0001***
Concentraciones	3	235,85	78,62	157,60	<0,0001***
0.02 vs 0.03, 0.04 y 0.05	1	13,13	13,13	26,32	<0,0001***
0.03 vs 0.04 y 0.05	1	107,70	107,70	215,90	<0,0001***
0.04 vs 0.05	1	115,03	115,03	230,58	<0,0001***
Tipo de ANA*Dosis	3	130,42	43,47	87,15	<0,0001***
Error	7	11,97	0,50		
Total	14	399,53			
Coeficiente de variación (%)	2,41				

Nota: “ns” = no significativo; * = significativo; ** = muy significativo; ***= altamente significativo y **** = extremadamente significativo.

La tabla 9 muestra que el tipo de ANA, las concentraciones y su interacción afectan de manera extremadamente significativa ($p < 0,0001$) a la extracción de aceite, lo que permite aceptar la hipótesis alternativa.

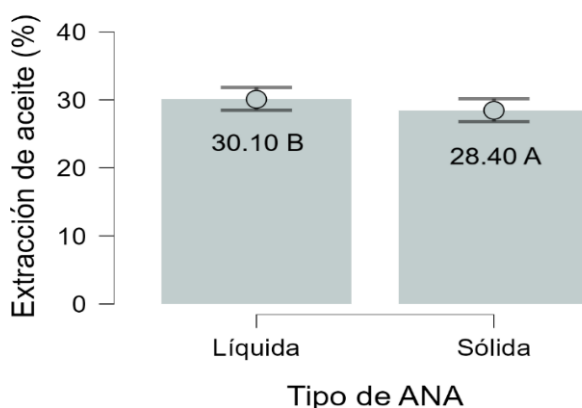
En relación con el coeficiente de variación, este señala una variabilidad experimental del 2,41%, lo cual es característico en investigaciones realizadas en el laboratorio. Por tanto, se considera que el rango es óptimo y valida los resultados obtenidos.

Efecto del factor A (Tipos de ANA)

En la figura 8, se puede apreciar el impacto del Factor A (tipos de ANA) en la extracción de aceite (%) de la palma aceitera según la prueba de rangos de Tukey.

Figura 8.

Comparación de medias (prueba de Tukey, $p < 0.05$) de la extracción de aceite (%) en función de los tipos de ANA.



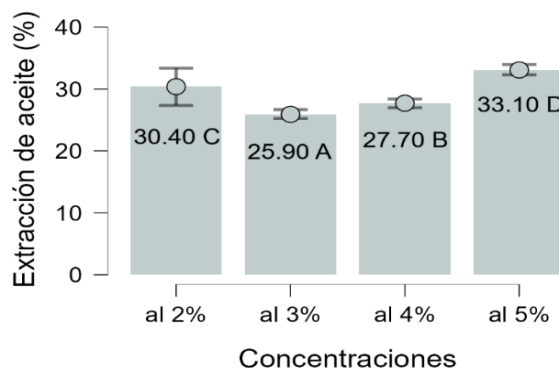
La figura 8 expone que, la utilización de ANA líquida incrementó la extracción de aceite frente a la variante sólida. Puesto que, al utilizarla, se obtuvo un promedio de 30,10 % mientras que la formulación sólida alcanzó el 28,40%.

Efecto del factor B (Concentraciones)

En la figura 9, que se presenta a continuación, se ilustra el impacto del Factor B (Concentraciones) en la extracción de aceite (%) de la palma aceitera conforme a la prueba de rangos de Tukey.

Figura 9.

Comparación de medias (prueba de Tukey, $p < 0.05$) de la extracción de aceite (%) en función de las concentraciones.



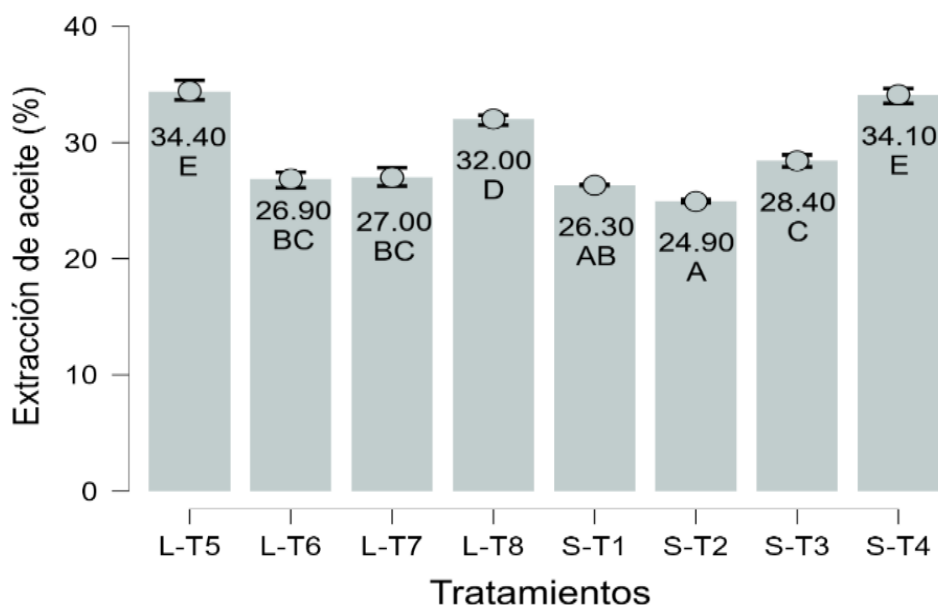
En la figura 9, muestra que las concentraciones también ejercieron efecto sobre la extracción de aceite (%) ya que, el valor más alto se obtuvo con la dosis al 5%, donde se alcanzó el 33,10%, seguida por la concentración al 2% con 30,40%, concentración al 4% (27,70%) y finalmente la concentración al 3% (25,90%).

Efecto de la interacción de AxB (Tipos de ANA x Concentraciones)

En la figura 10, que se expone a continuación se muestra el efecto de la interacción de los factores AxB sobre la extracción de aceite (%) de la palma aceitera de acuerdo con la prueba de rangos de Tukey.

Figura 10.

Comparación de medias prueba de Tukey, $p < 0.05$) de la extracción de aceite (%) en función de la interacción AxB.



En la figura 10 se observa que, existió mucha variación en la extracción de aceite (%) entre los tratamientos; no obstante, los valores más altos se obtuvieron con L-T5 (ANA al 5%) y S-T4 (ANA al 5%) con 34,40% y 34,10% respectivamente, seguidos por L-T8 donde se obtuvo el 32% y S-T3 que alcanzó el 28,40% de extracción. A partir de este tratamiento, el resto de las formulaciones obtuvieron tasas de 24,90% a 27% abarcando los tratamientos: L-T7: ANA al 4%, L-T6: ANA al 3%, S-T1: ANA al 2% y S-T2: ANA al 3%.

La dosis de 50 unidades en formulación sólida (talco) podría haber creado una liberación lenta y sostenida de ANA, evitando picos hormonales que estresan la planta, pero manteniendo un estímulo constante para la acumulación de lípidos.

De acuerdo con Romero et al. (2021) en su estudio la aplicación de ANA permitió que la producción de aceite por racimo se incrementara en un 36% frente a plantas a las que se les realizó la polinización asistida. Esto ocurrió especialmente con las dosis de 50-60 mg L⁻¹.

No obstante, la formulación líquida aplicada coadyuvantes (L-T) demostró un valor de extracción alto con 34,40% en LT-5 y no tan distante de LT- 8 (32%). Por lo cual, la absorción del ANA se deba posiblemente a la protección que ejerce durante el proceso de polinización natural, puesto que, los coadyuvantes organosiliconados como el Agral pueden reducir la tensión superficial hasta 15-20 dinas/cm según Ramos & Peñaranda (2018), permitiendo que la solución penetre a través de los estomas, que son poros naturales en la epidermis floral, esto se sustenta junto con los datos obtenidos en el fruit set (Tabla 10), ya que, existió una mayor cantidad de frutos fecundados especialmente en LT-8.

Por otro lado, el ANA en solución acuosa no afecta a la viabilidad del polen, cuando está aliado a un coadyuvante, siempre que su aplicación se realice en condiciones de humedad baja, ya que así proporciona la germinación del tubo polínico (Cayón, Ligarreto, Magnistkiy, Rosero, & Leguizamón, 2022).

Fruit set

Tabla 10.

Resultados del fruit set de los racimos obtenidos de los diferentes tratamientos.

Tratamientos	PR (kg)	PS (Kg)	PS (%)	PP (kg)	PP (%)	NE	FF	FP	FE	FB	TF	FF%	FP%	FE%	FB%
S-T1	14,10	0,98	6,95	0,70	4,96	144	158	1622	-	199	1979	7,98	81,96	-	10,06
S-T2	13,50	0,70	5,19	0,80	5,93	78	92	1149	27	1300	2568	3,58	44,74	1,05	50,62
S-T3	11,42	0,72	6,30	0,70	6,13	128	141	1923	19	-	2083	6,77	92,32	0,91	-
S-T4	12,90	0,94	7,29	0,80	6,20	86	2	1696	-	1380	3078	0,06	55,10	-	44,83
L-T5	6,04	2,50	41,39	0,42	6,95	45	181	1360	-	-	1541	11,75	88,25	-	-
L-T6	9,14	1,32	14,44	0,80	8,75	38	34	1980	-	250	2264	1,50	87,46	-	11,04
L-T7	9,50	5,38	56,63	0,92	9,68	74	466	1697	40	-	2203	21,15	77,03	1,82	-
L-T8	10,14	2,20	21,70	0,50	4,93	48	867	2156	28	-	3051	28,42	70,67	0,92	-

Nota: "PR" = Peso del racimo; "PS" = Peso de frutos sueltos; "PP" = Peso del pedúnculo; "NE" = Número de espigas; "FF" = Frutos fructíferos; "FP" = Frutos partenocárpicos; "FE" = Frutos estériles; "FB" = Frutos con tejido blanco.

En la Tabla 10 se pone de manifiesto que los tratamientos de carácter sólido (S-T1 a S-T4) duplican con mucho a los líquidos en relación con el peso total del racimo, ya que el primero (S-T1) suma 14,10 kg por racimo mientras que el segundo (L-T5) sólo llega a los 6,04 kg. Otro síntoma preocupante se encuentra en los tratamientos líquidos, el peso de los frutos sueltos, que en L-T7 es de 5,38 kg (56,63%), una cantidad extraordinariamente alta que pudiera ser el reflejo de un escaso problema de firmeza en el tallo de inserción del fruto o bien, una heterogeneidad de la maduración que provoca el desgrane.

Este fenómeno tiene serias consecuencias operativas (pérdidas en cosecha), ya que los frutos sueltos son difíciles de recuperar en el campo, se deterioran rápidamente, etc. Mientras los tratamientos de carácter sólido controlan un poco más a los frutos sueltos de modo que sólo alcanzan cifras que oscilan entre los 0,70 kg (5,19%) y los 0,98 kg (6,95%), lo cual pone de manifiesto que los frutos quedan más adheridos en el racimo y por tanto la cosecha es más eficiente.

Ahora bien, los tratamientos sólidos tienen pedúnculos de mayor peso con 0,70 kg (6,13%) a 0,80 kg (5,93%) frente a los tratamientos líquidos que alcanzaron 0,42kg (6,95%) a y 0,92 kg (9,68) siendo L-T7 el que tiene el pedúnculo más pesado. Puesto que el pedúnculo es biomasa que no contiene aceite y debe ser eliminado, perder peso sería interesante desde la óptica industrial. No obstante, este dato tiene que ser interpretado en relación con el peso total del racimo; un pedúnculo de 0,80 kg sobre un racimo de 14,10 kg (S-T1) sólo constituye un exiguo 5,60% de la biomasa sin aceite, mientras que en L-T5 un pedúnculo de 0,42 kg sobre un racimo de 6,04 kg se da una relación de 6,90%. La diferencia es incluso pequeña, pero consistente: los líquidos tienden a tener una mayor porción del racimo que va destinada a estructuras no productivas.

El número de espigas por racimo muestra una clara ventaja de los sólidos, ya que S-T1 registra 144 espigas frente a las 48 espigas del mejor líquido, que es L-T8. Esta diferencia es fundamental, dado que el número de espigas es un determinante directo del potencial de carga de frutos, un mayor número de espigas se traduce en más puntos de inserción y, por tanto, en la maximización del número de frutos que pueden resultar de un racimo (Corley & Breure, 1994). De este modo, los tratamientos líquidos, que tienen racimos más pequeños y con menos espigas, sufren de una limitación estructural que, de hecho, ninguna dosis de ANA puede compensar.

La caracterización de la distribución de frutos fructíferos, frutos partenocárpicos, frutos estériles y frutos con tejido blanco es, se podría decir, la del carácter cualitativo más relevante de todos los resultados. En lo que se refiere a los tratamientos sólidos, el tratamiento S-T3 presenta 141 frutos fértiles (7,98%) contra 1923 frutos partenocárpicos (81,96%), lo cual evidentemente le da forma a una relación claramente "favoritista" en cuanto a la formación de frutos sin semilla, es decir, es el tipo de fruto que se encarga de acumular aceite (Ochoa & Palacio, 2021).

El tratamiento S-T2 presenta una relación similar a la del S-T1, aunque introduce a la historia un grupo de 1300 frutos con tejido blanco (50,62%), cuya contribución a la acumulación de aceite, dadas sus características cualitativas, es incierta. El tratamiento S-T3 llama la atención: con 141 frutos fértiles (6,77%), sus 1923 frutos partenocárpicos (92,32%) y la ausencia de frutos con tejido blanco es probablemente detrás de una respuesta altamente específica al estímulo hormonal que los reguló.

De los frutos que no se observan en respuestas no productivas, ni de frutos "anómalos". El tratamiento S-T4 presenta solo 2 frutos fértiles (0,06%) y 1696 frutos partenocárpicos (55,10%), pero incorpora a la historia un "coste fisiológico" de hasta 1380 frutos con tejido blanco (44,83%).

A escala semicomercial, Romero et al. (2021) utilizaron una dosis de 1.200 mg L⁻¹ de ANA y obtuvieron racimos que tenían un 93% o más de frutos sin semillas. Lo que se asemeja a

los valores obtenidos en el fruit set de S-T3 debido a la marcada presencia de frutos partenocárpicos (92,32%).

Calidad del aceite

Los datos recogidos en los parámetros de calidad: índice de acidez, peróxidos, yodo, coloración y solubilidad se pueden ver en la Tabla 11 que se muestra a continuación:

Tabla 11.

Parámetros de calidad del aceite obtenido de los diferentes tratamientos evaluados.

Tratamientos	Índice de acidez (%)	Índice de peróxidos (meq O ₂ /kg)	Índice de yodo (g I ₂ /100 g)	Coloración observada	Solubilidad
S-T1	1,04	12,50	50,68	Amarillo intenso	Soluble
S-T2	0,87	10,00	63,35	Amarillo claro	Soluble
S-T3	0,82	9,00	114,03	Amarillo verdoso	Soluble
S-T4	0,51	4,20	202,72	Amarillo muy claro	Soluble
L-T5	2,03	21,00	63,35	Amarillo oscuro	Soluble
L-T6	0,41	1,80	114,03	Amarillo pálido	Soluble
L-T7	0,65	6,70	162,18	Amarillo verdoso oscuro	Soluble
L-T8	0,82	8,50	182,45	Amarillo ámbar	Soluble

El tratamiento L-T5 (ANA líquido al 2%) tuvo el índice de acidez más elevado del experimento, que fue de 2.03%, como se muestra en la tabla 11. Este valor es el doble que el del tratamiento S-T1: ANA al 2% (1,04%), cinco veces más alto que el del L-T6: ANA al 4% (0,41%) y cuatro veces más alto que el del S-T4: ANA al 5% (0,51%).

Esta observación cobra relevancia para interpretar el comportamiento atípico de S-T3: ANA al 4%, cuyo contenido de humedad (33,98 %) se aparta del patrón general del grupo sólido, sugiriendo una posible interacción genotipo × ambiente × dosis que merece exploración específica

El tratamiento L-T5: ANA al 5%, que tuvo la baja calidad más notoria en las figuras: 4 (peso de racimo) y 7 (altura de racimo), también generó racimos con una susceptibilidad más alta a la hidrólisis de lípidos en términos de acidez. Es posible que los racimos con un desarrollo morfológico inferior (con menor peso y altura) tengan una mayor actividad residual de lipasas o fragilidad tisular, lo que se vería en un índice de acidez considerablemente más alto.

En otro orden de cosas, el índice de peróxidos muestra una correspondencia sorprendentemente consistente con el índice de acidez: L-T5: ANA al 5% muestra de nuevo el valor más negativo (21,00 meq), mientras que L-T6: ANA al 4% (1,80 meq) y S-T4: ANA al 5% (4,20 meq) muestran los valores más positivos. Esta correlación positiva entre peróxidos y acidez indica que los racimos tratados con L-T5 están sufriendo un deterioro de múltiples causas.

En cuanto al índice de yodo, se observa que S-T4 (con un índice máximo de yodo de 202,72) mostró un color amarillo muy pálido, lo que indica una menor cantidad de carotenos. Por otro lado, S-T1: ANA al 2% (índice mínimo de yodo: 50.68) muestra un color amarillo intenso, lo que indica una mayor cantidad de carotenos.

Al final, los resultados mostraron que el aceite más claro se encontró en S-T4: ANA al 5%, L-T8: ANA al 2%, L-T7: ANA al 3% y L-T6: ANA al 4%; estos también tenían los índices de yodo más altos. Por otro lado, los aceites que eran amarillos con más intensidad (S-T1, L-T5 y S-T2) tenían índices de yodo más bajos. Sin embargo, todos los tratamientos generaron aceite totalmente soluble.

La oxidación de lípidos y la hidrólisis de triglicéridos son procesos autónomos, según la literatura en ciencia alimentaria; sin embargo, suelen ocurrir juntos cuando el tejido está estresado (Ayala, Muñoz, & Argüelles, 2014). Así, los hallazgos que se han conseguido indican que, además de ser más pequeños y ligeros, los racimos subóptimos provocados por L-T5 generan un aceite con una calidad fisicoquímica inferior.

Por el contrario, el índice de yodo del aceite de palma se distingue por aumentar de manera natural a medida que se va madurando el racimo, ya que la cantidad de ácido oleico

(monoinsaturado) crece mientras que la del ácido palmítico (saturado) disminuye (Ruswanto et al. 2021). Puede que los tratamientos con más índice de yodo L-T7 y L-T8 hayan llegado a un estado de maduración más desarrollado cuando se cosechó o que la división de asimilados hacia la producción de ácido oleico haya tenido una mejora. Mientras que en S-T4 esto puede estar relacionado con la cantidad de frutos blancos determinados en el fruit set.

La coloración amarilla del aceite de palma crudo se debe, en su mayor parte, a los carotenoides (α y β -caroteno), que son antioxidantes naturales muy potentes y le dan estabilidad oxidativa y valor nutricional (Rangkuti, Julianti, & Elisabeth, 2018). De acuerdo con Cayón et al. (2022), el ANA no modifica el perfil de ácidos grasos del aceite de mesocarpio de palma, lo cual es coherente con la solubilidad que se obtuvo en todos los tratamientos analizados en esta investigación.

Análisis Beneficio/Costo

En la Tabla 12 se observan los insumos utilizados en cada tratamiento, las dosis y sus costos por tratamiento.

Tabla 12.

Costo de producción de los diferentes tratamientos evaluados.

Producto	Precio (\$)	Precio/ g (\$)	Precio/ mL (\$)	Cantidad de producto aplicado (g o ml)								Costo de producción							
				S-T1	S-T2	S-T3	S-T4	L-T5	L-T6	L-T7	L-T8	S-T1	S-T2	S-T3	S-T4	L-T5	L-T6	L-T7	L-T8
Cosmoagua (1kg)	12,00	0,0120	-					10	10	10	10					0,12	0,12	0,12	0,12
Agral (1L)	10,00	-	0,0100					101	152	207	253					1,01	1,52	2,07	2,53
Agua destilada (1 L)	0,75	-	0,0008					1986 5	1980 2	1973 4	1967 7					14,90	14,85	14,80	14,76
Regulador de Crecimiento ANA (1 kg)	22,75	0,0228	-	20	30	40	50	24	36	49	60	0,46	0,68	0,91	1,14	0,55	0,82	1,11	1,37
Talco (25 kg)	11,45	0,0005	-	980	970	960	950					0,45	0,44	0,44	0,44				
Total, de producto preparado (g o ml):				1000	1000	1000	1000	2000 0	2000 0	2000 0	2000 0	-	-	-	-	-	-	-	-
Cantidad aplicada por infloresc S-T (g):				300				Costo total/ Tratamiento (\$)				0,90	1,13	1,35	1,57	16,57	17,31	18,11	18,77
Cantidad aplicada por infloresc L-T (g):				18				Costo de la dosis/ Inflorescencia (\$)				0,02	0,02	0,02	0,03	0,25	0,26	0,27	0,28
Ciclos de producción/año				2				Costo total/ Tratamiento/ha/año (\$)				28,02	34,93	41,83	48,74	428,13	447,13	467,66	484,9

La Tabla 12 detalla los costos de producción de los ocho tratamientos en función de un conjunto de criterios en dos grupos (cuatro tratamientos sólidos (S-T1 a S-T4) formulados a base de regulador de crecimiento ANA (22,75 \$/dosis) más talco (11,45 \$/25 kg); y cuatro tratamientos líquidos (L-T5 a L-T8) a base de Cosmoagua (12 \$/kg), Agral (10 \$/L) más agua destilada (0,75 \$/L) de los ocho tratamientos a base de regulador de crecimiento ANA (22,75 \$/kg) con talco (11,45 \$/25 kg).

En el caso de los tratamientos sólidos, se preparó 1 kg total por tratamiento (sólido) alternando dosis crecientes de ANA (20, 30, 40 y 50 g) frente a dosis decrecientes de talco, generándose tratamientos con costos de producción de \$0,90, \$1,13, \$1,35 y \$1,57 respectivamente, en tanto que para los tratamientos líquidos se preparó en cambio, 20 L por tratamiento (líquido) alternando dosis crecientes de Agral (101 a 253 mL) frente a dosis constantes de Cosmoagua (10 g), agua destilada (~19,8 L), generándose así costos de \$16,57 a \$18,77 respectivamente.

Finalmente se aplicaron 18 g de producto sólido por inflorescencia (costo unitario: \$ 0,02 a \$ 0,03) y 300 mL de líquido por inflorescencia (costo unitario: \$ 0,25 a \$ 0,28), que, considerando 123 plantas, 14 inflorescencias por planta en 2 ciclos anuales, se traducen en costos por hectárea al año de solamente \$ 28,02 a \$ 48,74 para los sólidos, pero de \$ 428,13 a \$ 484,90 para los líquidos, lo que evidencia que la vía líquida es al menos quince veces más cara que la sólida en este ensayo.

En la tabla 13 se muestra el análisis de ingresos y rentabilidad en los ocho tratamientos considerando un precio de venta de 300 USD por tonelada y 123 plantas por hectárea, ya que es importante estimar el retorno económico por cada dólar destinado a cada estrategia de aplicación.

Tabla 13.

Resumen de los ingresos y retorno por dólar invertido de los diferentes tratamientos evaluados.

PMR L.B. (kg):		8,49	Racimos/planta/ año:			14	Precio/Tn (\$):		300	Número de plantas/ha:				123	Retorno por dólar invertido de los Tratamient os (\$)
Costo de la dosis/T			Diferencia de peso			Tratamientos			Línea base			Diferencia entre Ingresos Netos - Tratamient os vs L.B. (USD)			
Trat	Inflo resc	Hectár ea/ año (\$)	PMR (kg)	PMR L.B. (kg)	(%)	Producción /ha/año (kg)	Ingreso Bruto/ racimo (\$)	Ingreso Neto/rac imo (\$)	Ingreso Neto/ha (\$)	Producción /ha/año (kg)	IN/R (\$)	Ingreso Neto/ha (\$)			
S-T1	0,02	34,44	12,80	4,31	150,77	22041,60	3,84	3,82	6.612,48				2.226,55	235,03	
S-T2	0,02	34,44	13,40	4,91	157,83	23074,80	4,02	4,00	6.922,44				2.536,51	197,21	
S-T3	0,02	34,44	13,40	4,91	157,83	23074,80	4,02	4,00	6.922,44				2.536,51	164,47	
S-T4	0,03	51,66	12,80	4,31	150,77	22041,60	3,84	3,81	6.612,48	14619,78	2,55	4.385,93	2.226,55	134,66	
L-T5	0,25	430,5	9,00	0,51	106,01	15498,00	2,70	2,45	4.649,40				263,47	9,86	
L-T6	0,26	447,72	10,10	1,61	118,96	17392,20	3,03	2,77	5.217,66				831,73	10,67	
L-T7	0,27	464,94	10,40	1,91	122,50	17908,80	3,12	2,85	5.372,64				986,71	10,49	
L-T8	0,28	482,16	11,80	3,31	138,99	20319,60	3,54	3,26	6.095,88				1.709,95	11,57	

Nota: “PMR” = Peso medio del racimo; “L.B.” = Línea base; “T” = Tratamiento. “Inflores” = Inflorescencia; “IN” = Ingreso neto.

En la Tabla 13, se observa que los tratamientos sólidos (S-T1 a S-T4) presentan un peso medio de racimo (PMR) de entre 12,80 y 13,40 kg, con un costo por dosis de apenas 0,02 a 0,03 \$ por inflorescencia, lo que origina ingresos brutos por racimo entre 3,84 y 4,02 \$ e ingresos netos de 3,81 y 4,00 \$. Además, de acuerdo con el análisis se obtienen producciones anuales de 22041,60 a 23074,80 kg por hectárea e ingresos netos por hectárea de 6612,48 a 6922,44 \$, así como retornos por 1 \$ invertido de cifras extraordinariamente altas de entre 134,66 y 235,03 \$.

Por el contrario, en el caso de los tratamientos líquidos (L-T5 a L-T8) se observan PMR significativamente más bajos (de 9,00 a 11,80 kg), costes por dosis más elevados (de 0,25 a 0,28 dólares) y, por consiguiente, unos ingresos netos por racimo más bajos (de 2,45 a 3,26 dólares).

La producción previa a la experimentación tenía como peso promedio 8,49 kg por racimo, con una producción de 14 racimos/planta/año; es decir que la producción estaba situada en 14619,80 kg lo que se traduce a 14,62 Tn/ha. No obstante, tras la aplicación de los tratamientos, mediante el PMR obtenido se extrapolaron estos valores y se obtuvo entre 22041,60 a 23074,80 kg/ha (22,04 – 23,07 Tn/ha) en las formulaciones sólidas, mientras que, para las formulaciones líquidas, los valores fueron desde 15498 kg/ha a 20319,60 kg/ha (15,50 – 20,32 Tn/ha), por lo cual ambos tipos de formulaciones, superaron a la producción de la línea base, sin embargo, la agrupación de tratamientos con ANA sólido se destacó, especialmente en S-T2 y S-T3 (ANA sólido al 4%), con una diferencia de \$2536,51 sobre los ingresos de la plantación previo al estudio.

No obstante, considerando el costo de los tratamientos proyectados cada uno a una hectárea, los retornos por dólar invertido van de los \$134,66 hasta los \$235,03, pero considerando los parámetros de calidad, peso y tamaño el mejor tratamiento fue S-T3 con \$164,47, que continúa siendo una diferencia muy alta frente a los formulados líquidos: que multiplican 10 veces la inversión. Esto pone de manifiesto una eficiencia económica de la técnica sólida en este ensayo.

Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

Se comparó los efectos de aplicación de ANA sólida y líquida en inflorescencias de palma aceitera obteniéndose resultados significativos favorables en peso y tamaño de racimo con ANA sólida. El S-T2: ANA al 3% y S-T3: ANA al 4% produjeron los racimos más grandes (35,70 y 33,90 cm), así como S-T2, S-T1: ANA al 2% y S-T4: ANA al 5% produjeron los racimos de mayor peso (13,10 kg y 12,80 kg respectivamente).

Los resultados demostraron que las aplicaciones de ANA, en formulación sólida y líquida, en combinación con las concentraciones evaluadas (2%, 3%, 4% y 5%), afectaron significativamente los niveles de extracción de aceite que variaron entre 24,90 hasta 34,40%, efecto directamente asociado con la inducción de partenocarpia, fenómeno que predominó en la mayoría de los tratamientos. Los frutos partenocárpicos representaron entre el 55,10% y 92,32% del racimo, siendo S-T3 el tratamiento con mayor cantidad (92,32%), por lo cual, se confirma la eficacia del ANA para promover el desarrollo de frutos sin semilla.

Los tipos de ANA, así como sus diferentes concentraciones, sí afectan directamente la fisiología de la maduración del racimo de palma aceitera, en cuanto a acidez, los tratamientos L-T6 con 0,41% y S-T4 con 0,51% obtuvieron los valores más deseables en cuanto a ácidos grasos libres. Para peróxidos, los tratamientos con menor oxidación del aceite fueron: L-T6 (1,80 meq/kg) y S-T4 (4,20 meq/kg), mientras que el valor por encima del límite estuvo representado por L-T5 (21,00 meq/kg). En cuanto a la insaturación del aceite, el mayor índice de yodo lo obtuvo: S-T4 con 202,72 g I_2 /100 g, pero S-T1 y S-T2 presentaron mayor consistencia sólida (50,68 y 63,35 g I_2 /100 g respectivamente). En cambio, el mejor color se obtuvo con S-T4 y L-T6 lo que demostró su correlación con los bajos índices de acidez y peróxidos. No obstante, todos los tratamientos fueron solubles, característica que es innata de los aceites y grasas.

La polinización asistida en palma aceitera con ANA sólida resultó ser la opción más eficiente económicamente puesto que en función de las dosis varió el retorno por dólar invertido

entre los 134,66 a 235,03 USD frente a la aplicación de ANA líquida donde el beneficio adquirido fue de \$9,86 a 11,57.

Recomendaciones

Para optimizar el peso y tamaño del racimo lo ideal es utilizar la dosis de ANA al 2%, independientemente de su tipo, dosis suficiente para lograr el mismo peso de racimo como si utilizáramos dosis del 5%.

Para maximizar el rendimiento de aceite por racimo la dosis recomendada es del 4% con ANA sólida ya que incrementa la cantidad de frutos partenocárpicos.

De acuerdo con los resultados de la maduración del fruto, la concentración más prometedora fue al 4% con ANA sólida, ya que mantuvo los índices de calidad dentro de los parámetros, especialmente en acidez y presencia de peróxidos.

Desde la parte financiera, se recomienda priorizar el uso de ANA sólida en cualquier dosis, ya que su costo es bajo y permite incrementar los ingresos por hectárea.

Referencias bibliográficas

- Agencia de Regulación y Control Fito y Zoosanitario. (2025). *Boletín informativo. Palma aceitera: acciones fitosanitarias que marcan la diferencia en un cultivo saludable*. AGROCALIDAD. Obtenido de <https://www.agrocalidad.gob.ec/wp-content/uploads/2025/03/boletin-palma-aceitera-2024.pdf>
- Alvarado, A., Escobar, R., & Henry, J. (2013). El híbrido OxG Amazon: una alternativa para regiones afectadas por Pudrición del cogollo en palma de aceite. *Palmas*(34), 305-314. Obtenido de <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/10689/10674>
- ANCUPA. (2014). PLAN DE ACCIÓN CONTRA LA PC ECUADOR. *ANCUPA*, 1.
- Asamblea Nacional de la República del Ecuador. (9 de julio de 2019). *Sector palmicultur genera alrededor de 43 mil empleos directos y cerca de 60 mil indirectos: Lenin Plaza*. Obtenido de <https://www.asambleanacional.gob.ec/es/noticia/62260-sector-palmicultur-genera-alrededor-de-43-mil-empleos#:~:text=En%20el%20debate%2C%20el%20legislador%20Mauricio%20Proa%C3%B1o,conducir%20la%20sesi%C3%B3n%20Pleno%2C%20suspendi%C3%B3n%20el%20debate>
- Ayala, A., Muñoz, M., & Argüelles, S. (2014). Lipid Peroxidation: Production, Metabolism, and Signaling Mechanisms of Malondialdehyde and 4-Hydroxy-2-Nonenal. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 38. doi:10.1155/2014/360438
- Bastidas Moreira, Y. (2021). *cido naftalenacético sobre el desarrollo de frutos y potencial de aceite en racimo en el cultivo de híbrido OxG (Coarí x la Mé), en fase de laboratorio. Tesis de Pregrado*. Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí. Obtenido de <https://repositorio.uleam.edu.ec/handle/123456789/5127>
- Bravo, V., Solórzano, O., Calixto, B., & Bastidas, J. (2022). Use of Pollen and α -Naphthalenacetic Acid in OxG Oil Palm Trees in Ecuador. Does Pollination without Mixing them Grant Any

- Benefits? *Palmas*, 43(2). Obtenido de <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/13736>
- Campaña Mora, F. S. (2016). Aplicación de cosmo R y cosmoquel B como complemento nutricional en el programa de fertilización del cultivo de palma africana (*Elaeis guineensis*). *Repositorio UTA*, 64.
- Cayón, D., Ligarreto, G., Magnistkiy, S., Rosero, G., & Leguizamón, O. (2022). Application of naphthalene acetic acid and gibberellic acid favours fruit induction and development in oil palm hybrid (*Elaeis oleifera* x *Elaeis guineensis*). *Experimental agriculture*, 58, 35. doi:10.1017/S001447972200031X
- Corley, R., & Breure, C. (1994). Actividad de fructificación, crecimiento y rendimiento de la palma de aceite. *Palmas*, 15(3), 41-50.
- Corporación Financiera Nacional. (2024). *Agricultura, ganadería, silvicultura y pesca. Industrias manufactureras. Palma africana*. CFN. Obtenido de <https://www.cfn.fin.ec/wp-content/uploads/2024/07/Ficha-Sectorial-Palma-Africana.pdf>
- Cruz Alvarado, J. (2022). Características botánicas y climatológicas de los principales materiales de siembra de palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq.) en el Ecuador. *Repositorio Universidad Técnica de Babahoyo UTB*, 26.
- Cruz, J. N. (2022). Características botánicas y climatológicas de los principales materiales de siembra de palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq.) en el Ecuador. *Repositorio Universidad Técnica de Babahoyo UTB*, 26.
- Cuatín Inguilan, P. (2023). *Efecto de la aplicación de ácido naftalenacético con diferentes frecuencias y estados fenológicos en la formación de racimos del híbrido interespecífico de palma OxG "Amazon" en la Provincia de Esmeraldas, Ecuador (Project Report)*. Universidad de Nariño. Obtenido de <http://sired.udenar.edu.co/id/eprint/16074>
- Daza, E., Ayala-Díaz, I., Ruiz-Romero, R., & Romero, H. (2020). Effect of the Application of Plant Hormones on the Formation of Parthenocarpic Fruits and Oil Production in Oil Palm

- Interspecific Hybrids (*Elaeis oleifera* Cortés x *Elaeis guineensis* Jacq.). *Plant Production Science*, 24(3), 354-362. doi:10.1080/1343943X.2020.1862681
- FEDEPALMA. (2019). MATERIALES HIBRIDOS OxG. *FEDEPALMA*, 3.
- Fischer, G. (2006). El ácido alfa - naftalenacético ANA y el ácido giberélico GA influyen en la producción y calidad del fruto de durazno influyen en la producción y calidad del fruto de durazno Melocotón Amarillo (*Prunus persica* L.). *Universidad Nacional de Colombia*.
- Ganchozo, W., & Huaraca, H. (2017). Palma Aceitera (*Elaeis guineensis*, Jacq.). *INIAP EE Santo Domingo*, 165.
- Garcia , A., Munevar, D., & Montoya, M. (2020). rtificial Pollination: ¿NAA in Liquid Suspension or NAA in Solid Mixture? *ResearchGate*.
- Haoyu, T. (2025). *Baidu Baike: Ácido 1-naftalenacético*. Obtenido de <https://wapbaike.baidu.com/item/1-%E8%90%98%E4%B9%99%E9%85%B8/8855261?fromtitle=%CE%B1-%E8%90%98%E4%B9%99%E9%85%B8&fromid=1699263>
- INIAP. (2015). *Manual del cultivo de la palma aceitera*. La Concordia: INIAP.
- Katel, S., Raj, H., Kattel, S., Singh, S., & Sharma, B. (2022). Impacts of plant growth regulators in strawberry plant: A review. *Heliyon*, 8(12), 959. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844022032479#:~:text=NAA%20is%20a%20synthetic%20auxin,et%20al.%2C%202003>).
- Mendez, N. M. (2009). Efecto del ácido indol acético y ácido naftaleno acético sobre el rendimiento en melón (*Cucumis melo* L.). *UDLO Agrícola*, 9(4), 783-801.
- Mendoza, L. (2025). *La Pudrición del Cogollo (PC) puso en 'jaque' al sector palmero de Ecuador*. Obtenido de El Diario: <https://www.eldiario.ec/negocios/la-pudricion-del-cogollo-pc-puso-en-jaque-al-sector-palmero-de-ecuador-28032025/>

- Ochoa, I., & Palacio, N. (2021). Contribución al diseño de racimos con ácido α -naftalenacético (ANA). *Fedepalma*, 35-56. Obtenido de <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/13456/13735>
- Ponce, P. (2016). Biología de insectos polinizadores en palma aceitera y sus híbridos interespecíficos (*Elaeis oleifera* x *Elaeis guineensis*). *Revista Palmas*.
- Ramírez Rodríguez, E. A., & Maradiaga, A. J. (2020). La Palma Africana. *Scribd*, 2-3.
- Ramos, P., & Peñaranda, M. (2018). *Metroflor. Criterios de selección de coadyuvantes*. Obtenido de <https://www.metroflorcolombia.com/criterios-de-seleccion-de-coadyuvantes/>
- Rangkuti, I., Julianti, E., & Elisabeth, J. (2018). The tocol content of crude palm oil based on the level ripeness and their relationship to the quality and their stability. *International Conference on Agriculture, Environment, and Food Security*, 122, 81. doi:10.1088/1755-1315/122/1/012081
- Rivera Macas, C., & Zambrano Balseca, C. (2023). Evaluación del ANA para mejorar la cantidad y calidad de la fruta de palma aceitera OxG en la Hda. Zoila Luz. *Repositorio ESPE*, 31.
- Romero, H., Daza, E., Ayala, I., & Ruiz, R. (2021). High-Oleic Palm Oil (HOPO) Production from Parthenocarpic Fruits in Oil Palm Interspecific Hybrids Using Naphthalene Acetic Acid. *Agronomy*, 11(2), 290. doi:10.3390/agronomy11020290
- Rosero Estipufián, G., & Santacruz, L. (2014). Efecto de la polinización asistida en la conformación del racimo en material híbrido OxG en la plantación Guaicaramo S.A. *Fedepalma*, 5.
- Ruiz, R., & Méndez, A. (2000). Comportamiento de la viabilidad de polen de la palma de aceite en la Zona Norte Colombiana. *Palmas*, 21, 24. Obtenido de <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/756/756>
- Ruiz-Álvarez, E., Daza, E., Caballero-Blanco, K., & Mosquera-Montoya, M. (2021). Complementing assisted pollination with artificial pollination in oil palm crops planted with interspecific hybrids O x G (*Elaeis guineensis* x *Elaeis oleifera*): Is it profitable? Oilseeds

- and fats, crops and lipids. 28, 27. Obtenido de <https://agris.fao.org/search/zh/records/64747ae4bf943c8c79859d2d>
- Ruswanto, A., Ramelan, A., Praseptianga, D., & Partha, I. (2021). The study of carotene content and iodine value of oil from different ripening levels and storage duration of palm fresh fruit bunches. *International Conference on Sustainable Agriculture, Food and Energy*. doi:10.1088/1755-1315/709/1/012022
- Schönherr, J., Baur, P., & Uhlig, B. (2000). Rates of cuticular penetration of 1-naphthylacetic acid (NAA) as affected by adjuvants, temperature, humidity and water quality. *Catalogo Articoli (Spogli Riviste)*, 31(1-2), 61-74. Obtenido de https://serials.unibo.it/cgi-ser/start/it/spogli/df-s.tcl?prog_art=7182779&language=ITALIANO&view=articoli
- Travéz Batallas, V. A. (2015). ADAPTABILIDAD DE HÍBRIDOS INTER-ESPECÍFICOS (Oleífera x Guineensis) DE PALMA ACEITERA EN LA ZONA DE SANTO DOMINGO, QUINTO AÑO. *Repositorio UCE*, 4-8.
- Vegas, A., Ortega, D., Gualoto, W., Paredes, E., Rebolledo, E., Quintero, L., & Ortega, J. (2016). Respuesta de la palma africana híbrido iniaptenera cultivada In Vitro según el tipo de explante y niveles de ácido naftalenacético. *Bioagro*, 28(3), 193-200. Obtenido de <https://puceinvestiga.puce.edu.ec/es/publications/respuesta-de-la-palma-africana-h%25C3%25ADbrido-iniaptenera-cultivada-in-v>
- Villareal Villafuerte, L., Celi Soto, A., Centeno Alcívar, J., & Bravo Yandún, V. (2022). Una mirada fisiológica a la polinización artificial con ácido α -naftalenacético a la producción de palma aceitera. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 6(2). Obtenido de <https://ciencialatina.org/index.php/cienciala/article/view/2004>
- Zambrano Bohorquez, J. (2015). RENTABILIDAD DEL CULTIVO DE PALMA AFRICANA CON POLINIZACION ASISTIDA DE INFLORESCENCIAS EN LA HACIENDA MONTECARLOSDEL CANTÓN QUEVEDO. *Repositorio UTEQ*, 11-13.