



FACULTAD DE CIENCIAS DE LA VIDA Y LA AGRICULTURA

CARRERA DE INGENIERIA AGROPECUARIA

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



AUTORA

Ana Jeomayra Sosa Mero

DIRECTOR

Ing. Eduardo Patricio Vaca Mgtr.

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de
Ingeniería Agropecuaria**

**SANTO DOMINGO – ECUADOR
2026**

INTRODUCCIÓN

PALMA AFRICANA

Actualmente es uno de los principales cultivos del Ecuador debido a sus múltiples usos y uno de los principales el aceite de palma y sus derivados, también su uso como biocombustible.



Porcentaje de hectareas cultivadas en el país:



Esmeraldas (38%)



Sucumbios
Orellana (12%)

y



Los Ríos (25%)



Santo Domingo (9%)



Pichincha (16%)

Rendimiento promedio
15 tn/ha

Características climatológicas



1800 horas luz/año



25 °C



80 %



1500 mm/año



0 – 500 msnm



Terrenos planos o ligeramente
ondulados



6.5

Importancia en el sector agrícola

Representa el 4,53 % del PIB agrícola y el 0,89 % PIB nacional, generando 43.000 empleos directos y 60.000 empleos indirectos en el Ecuador (ANCUPA 2019).



Pudrición de cogollo PC

Problema fitosanitario más importante del país causando pérdidas aproximadas de 125.000 hectáreas de cultivo.



Provincias afectadas



Esmeraldas (San Lorenzo y Quininde)



Los Ríos (Buena Fe)



Santo Domingo (La Concordia)



Una de las alternativas a este problema ha sido la creación de híbridos interespecíficos con el objetivo de generar una planta con características de tolerancia a la PC, además de resistencia a otras enfermedades. Por último, por su alta productividad de aceite en comparación a *Elaeis guineensis* (más de 35 ton/ha/año).

HIBRIDOS DE PALMA



OXG



Iniap x Tenera



Deli x La Mé



Deli x Ghana



Compacta x Ghana



Coari x LaMé

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.



METODOLOGÍA

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”.



Ubicación del área experimental

Ubicación política

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

Ubicación geográfica

Latitud: 00°15'63.83"S

Longitud: 79°21'33.54"O



Ubicación ecológica

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



MATERIALES



INSUMOS DE CAMPO

Canecas
Gancho
Casco
Tarjetas de indentificación

Mascarilla
Regla graduada
Planilla de campo
Cámara

Botas de caucho
Sacos de prolipropileno
Palín malayo
Guantes

INSUMOS DE LABORATORIO

Matraz
Vaso de precipitación
Fundas plásticas
Tubo de ensayo

Pipeta
Probeta

EQUIPOS

Bomba de fumigación
Balanza
Estufa
Equipo de titulación

Balanza analítica
Plato calentador

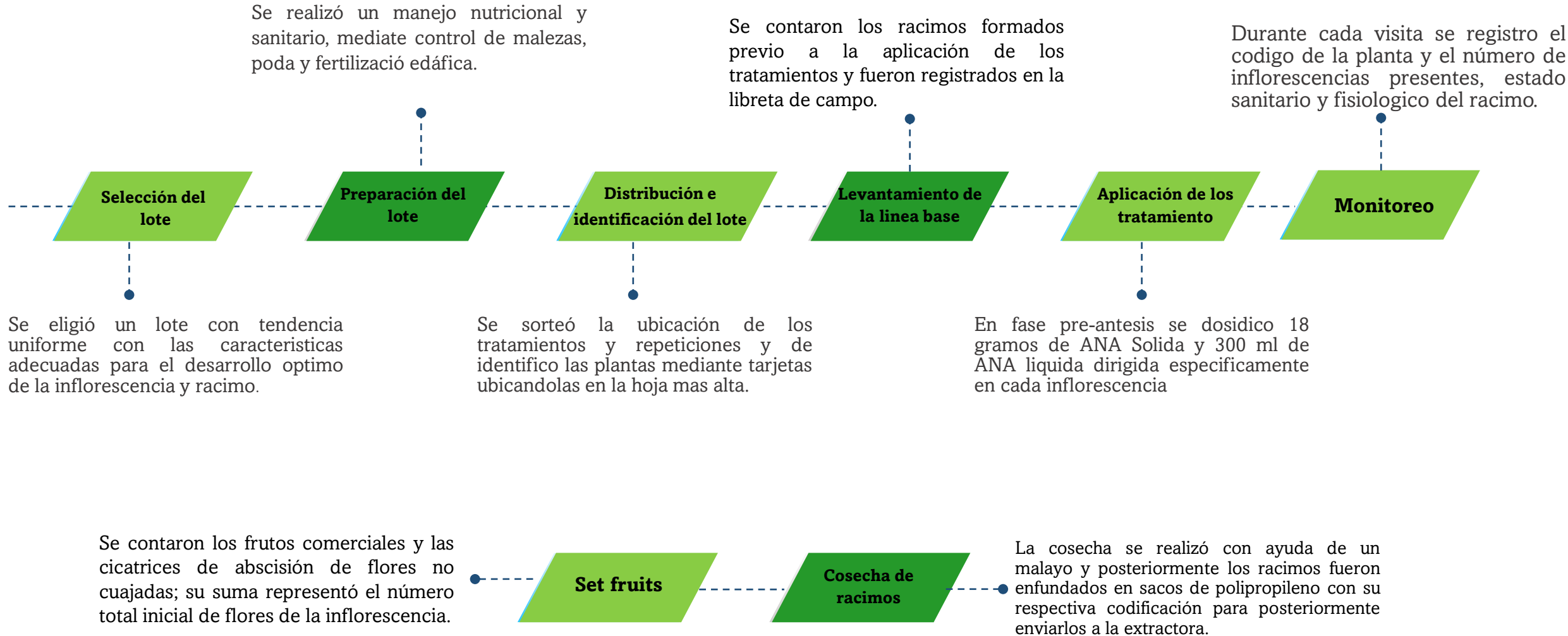
REACTIVOS

Talco
ANA sólida
Surfactante
Regulador de pH
Fenolftaleina al 1%
Alcohol etílico

Aceite crudo
Acohol eter
Reactivo de hanus
Eter etílico
Reactivo de sudan
NaOH al 0.1N

Acido acetico
Agua destilada
Cloroformo
Yoduro de potasio
Tiosulfato de sodio al 0.1 N
Almidoón soluble

METODOS



FASE DE CAMPO

FASE DE PREPARACIÓN DEL ANA

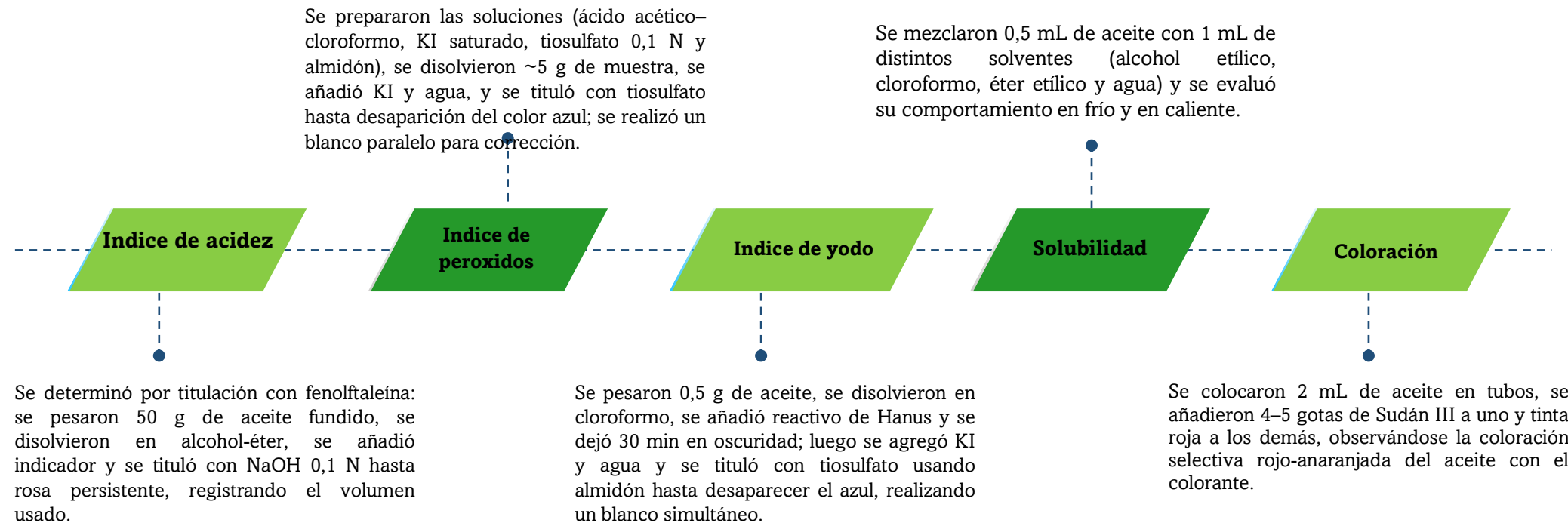
Se pesaron 60, 49, 36 y 24 g de ANA sólido, se disolvieron en surfactante y coadyuvante, y se aforó a 20 L con agua destilada, homogeneizando para estabilizar la mezcla.

ANA Líquido

ANA Sólido

Tras calibrar el equipo, se pesaron 20, 30, 40 y 50 g de ANA para formular dispersiones sólidas de 1 kg con concentraciones de 2, 3, 4 y 5% (p/p) usando un vehículo inerte.

Fisiología de la maduración



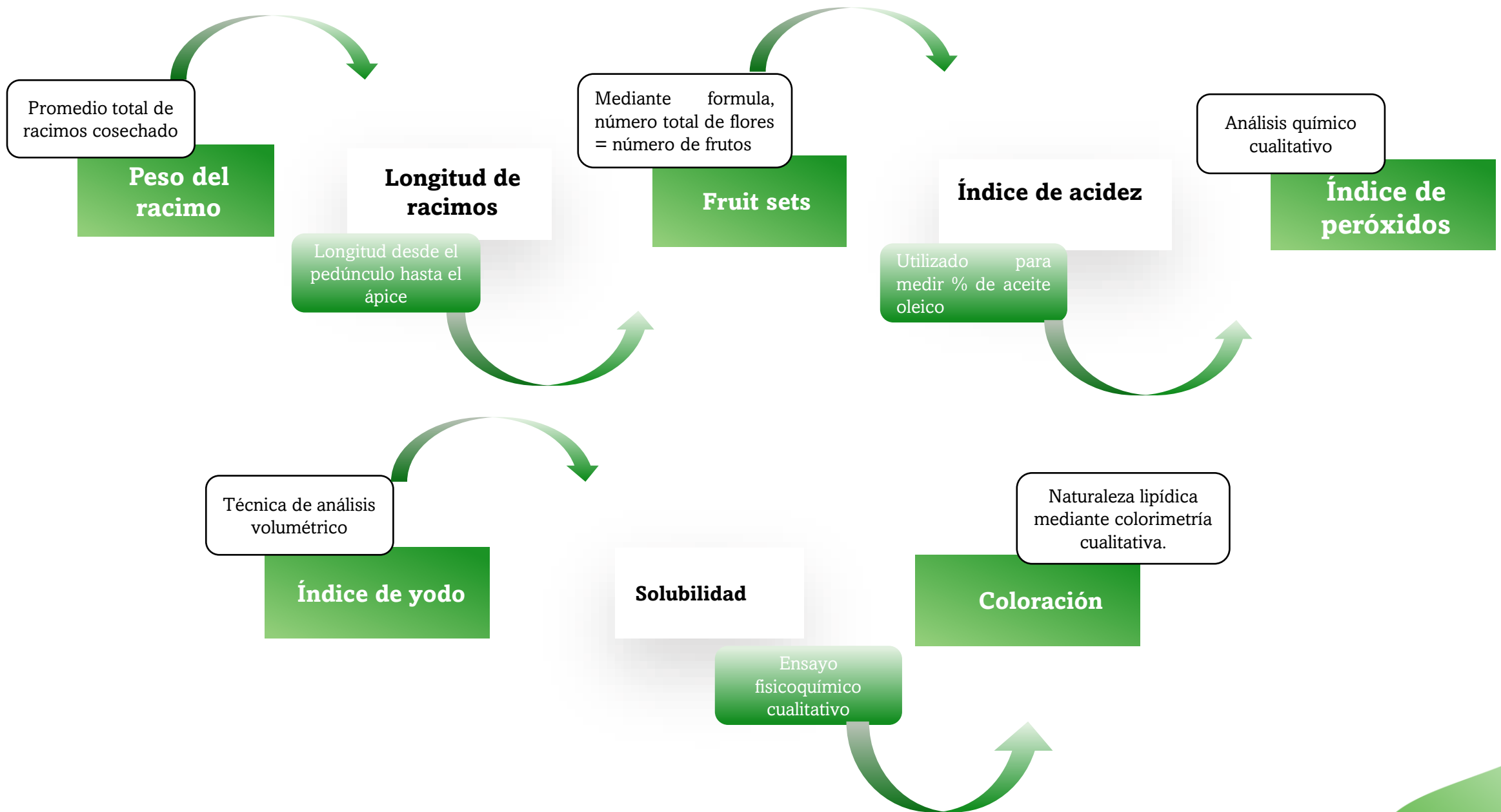
Se taró un recipiente, se añadieron 40 g de pulpa fresca de palma y se pesó; luego se secó a 105 °C y se volvió a pesar para obtener la masa con pulpa seca.



Se pesó con precisión el contenedor de extracción vacío, se añadieron 5 g de pulpa seca y molida y se colocó en el equipo Soxhlet. Se añadió el solvente extractor y se mantuvo el sistema en funcionamiento durante 4 horas para permitir la extracción continua. Finalizado el proceso, se retiró el contenedor y se colocó en una campana de extracción hasta eliminar completamente los residuos de solvente.

Extracción de Aceite

• Variables a medir •



● Factores probados ●

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 evaluados ●

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%

RESULTADOS Y DISCUSION

A continuación, se presentan los resultados obtenidos del proyecto de investigación realizado, en el cual se realizó una evaluación comparativa de aplicaciones de Ana líquida y Ana sólida en la polinización asistida de híbridos de palma aceitera.

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

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						
Coefficiente de variación (%)		22,95	23,95	24,19						

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

Figura 2. Comparación de medias (prueba de Tukey, $p<0.05$) para el peso de racimos según el tipo de ANA en las diferentes aplicaciones realizadas.

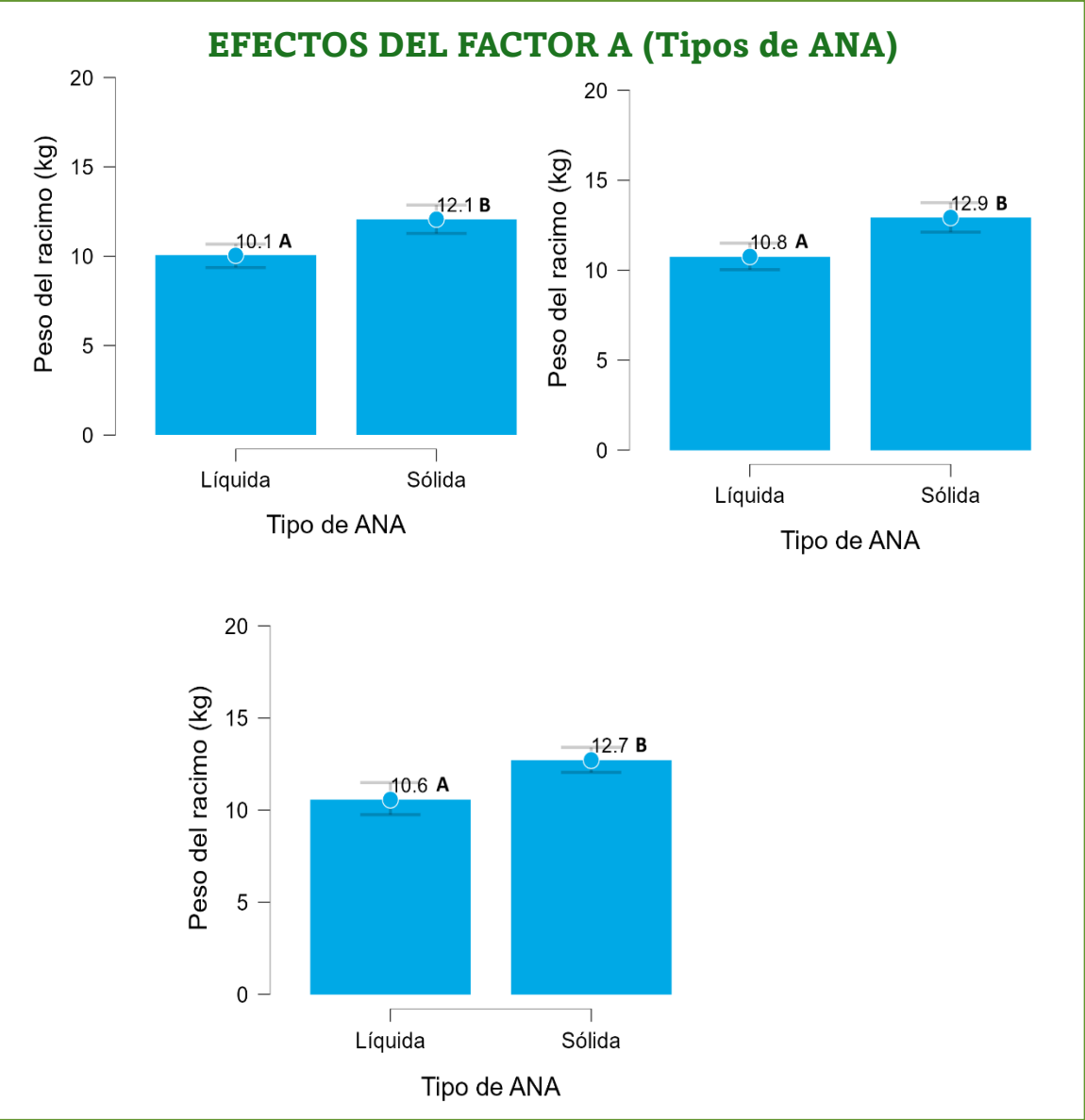


Figura 3. Comparación de medias (prueba de Tukey, $p<0.05$) para el peso de racimos según las concentraciones en las diferentes aplicaciones realizadas.

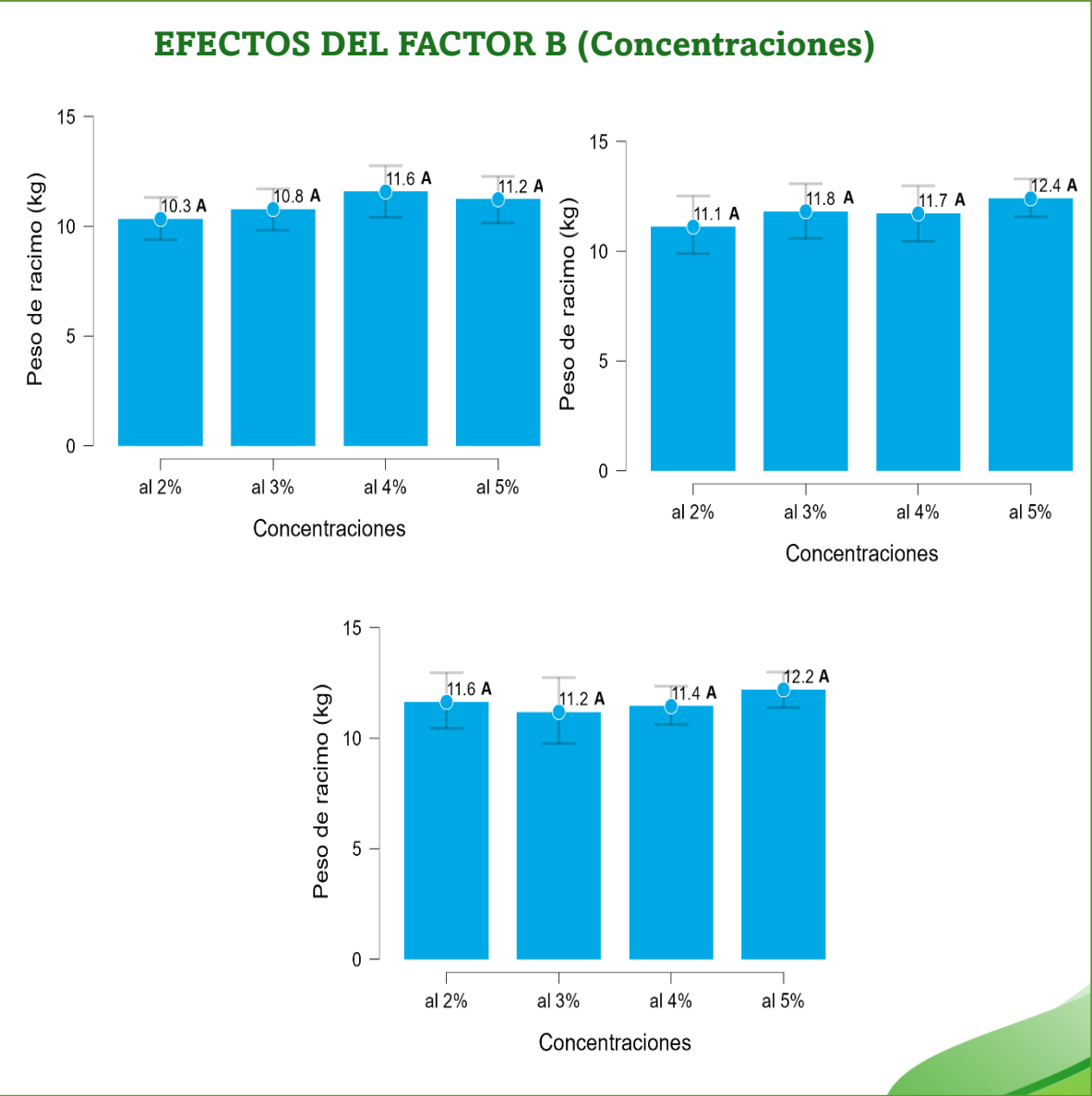
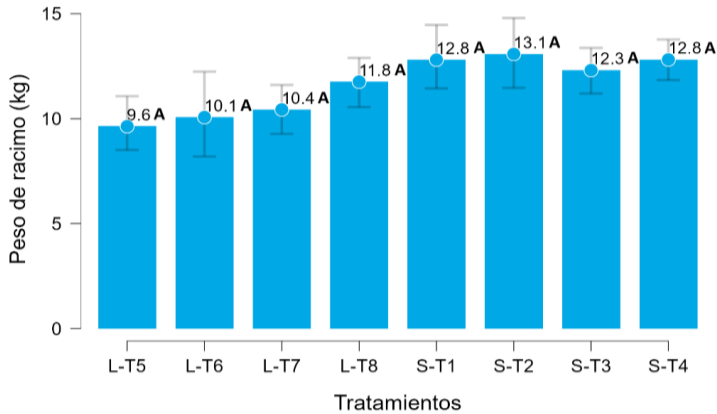
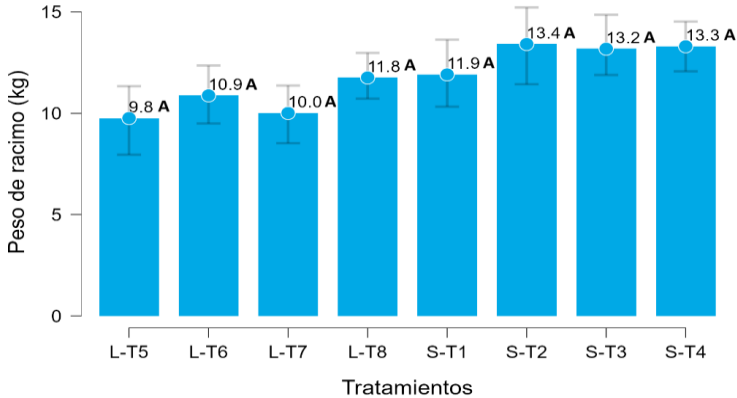
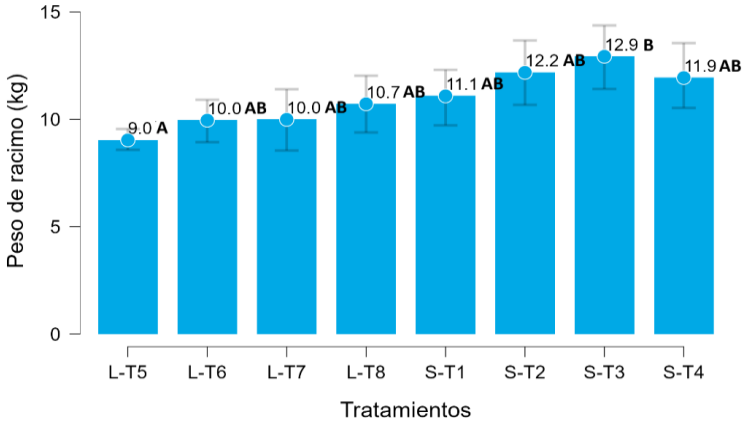


Figura 4. Comparación de medias (Tukey, $p < 0.05$) para el peso de racimos según la interacción tipo de ANA $\times$ concentración en las diferentes aplicaciones realizadas.

EFFECTOS DE LA INTERACCIÓN (AxB)



Los pesos de racimo obtenidos en el presente estudio (9.00 - 13.40 kg) se encuentran dentro del rango esperado para el híbrido Coarí x La Mé bajo inducción con ANA. Puesto que, Romero et al. (2021) reportaron 12,20 kg como promedio para ANA líquido en condiciones óptimas.

La brecha estadística observada exclusivamente en la primera aplicación de L-T5 puede atribuirse, según Ruiz y Méndez (2000) a periodos lluviosos, ya que la polinización asistida es crítica precisamente porque la actividad del polinizador natural se colapsa con lluvias diurnas.

Por otra parte, es importante considerar que, debido a la naturaleza fisicoquímica del ANA en su forma sólida este reactivo es estable, mientras que las soluciones acuosas son fotoinestables y susceptibles al lavado por su alta dilución (Haoyu, 2025).



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

Tabla 8. Análisis de varianza para la variable tamaño 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.

Figura 5. Comparación de medias (prueba de Tukey, $p<0.05$) para el tamaño de racimos según el tipo de ANA en las diferentes aplicaciones realizadas.

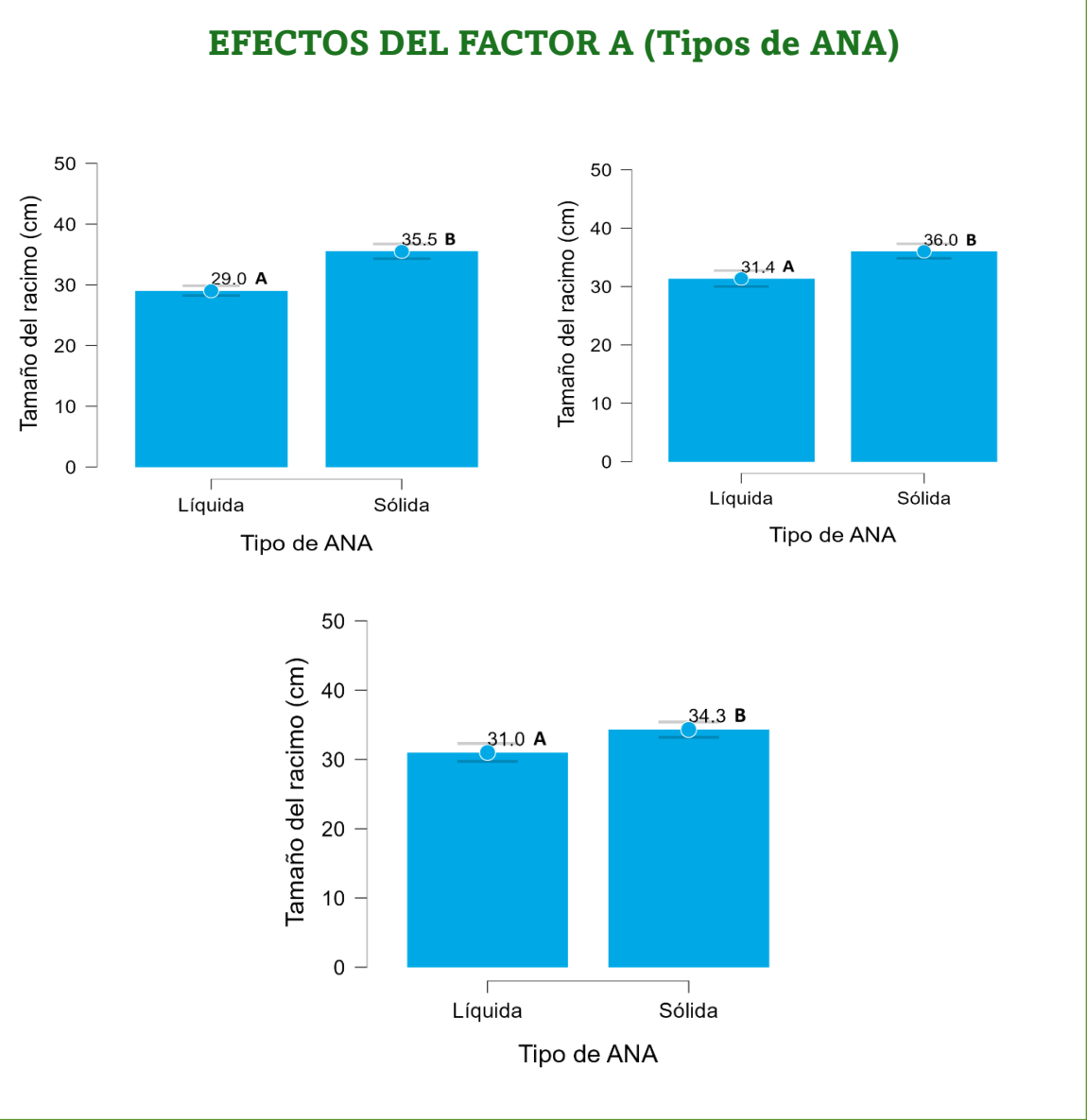


Figura 6. Comparación de medias (prueba de Tukey, $p<0.05$) para el tamaño de racimos según las concentraciones en las diferentes aplicaciones realizadas

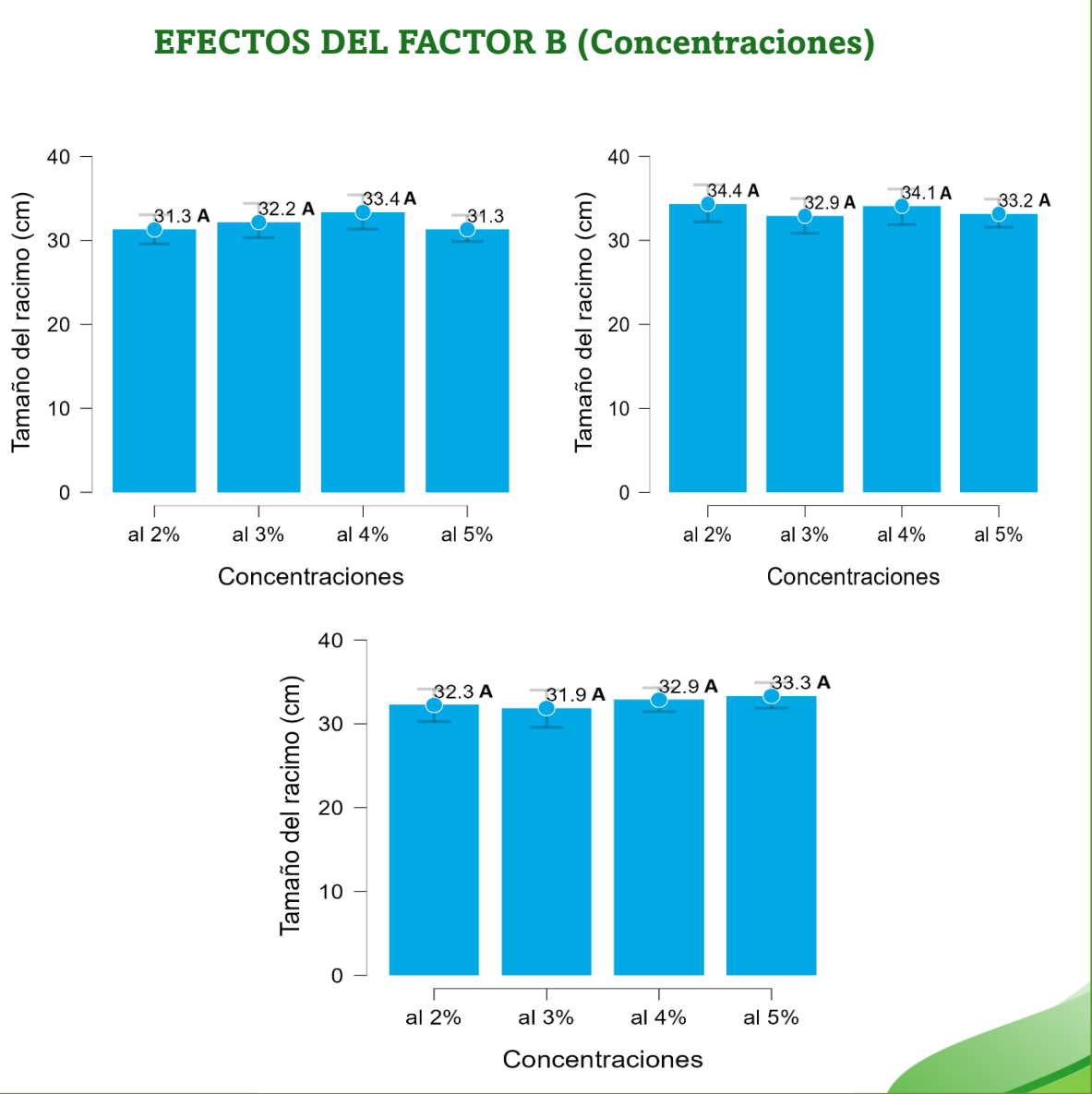
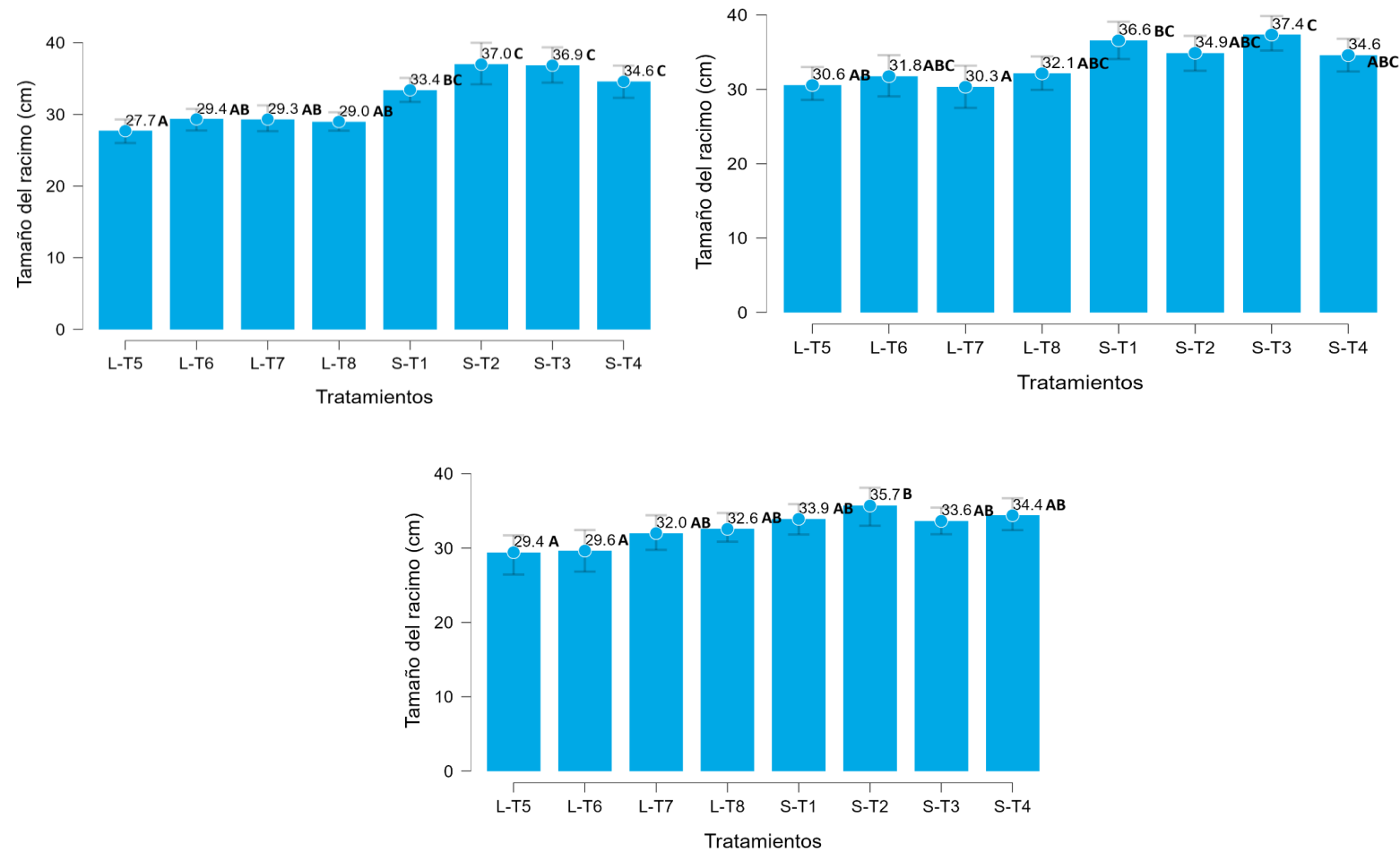


Figura 4. Comparación de medias (Tukey, $p < 0.05$) para el peso de racimos según la interacción tipo de ANA × concentración en las diferentes aplicaciones realizadas.

EFFECTOS DE LA INTERACCIÓN (AxB)



De acuerdo con Katel et al. (2022) las auxinas, incluido el ANA, son reguladores primarios del cuajamiento y crecimiento del fruto, debido a su mecanismo de acción que incluye la activación de la división y expansión celular en los tejidos del ovario, así como también en el receptáculo

La diferencia inicial de 10 cm entre S-T2 y L-T5 se explica por la penetración cuticular del ANA, influida por ionización, coadyuvantes y ambiente según Schonherr, Baur y Uhlig (2000).

Schonherr, Baur & Uhlig (2000) advierten que a un pH > 7, la penetración cuticular del ANA se elimina.



Análisis comparativo de los parámetros de calidad del aceite

Tabla 9. 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

La literatura en ciencia de alimentos establece que la hidrólisis de triglicéridos y la oxidación lipídica son procesos independientes, pero frecuentemente asociados en condiciones de estrés del tejido (Ayala, Muñoz, & Argüelles, 2014).

El índice de yodo del aceite de palma en cambio se caracteriza por incrementarse naturalmente debido a la maduración del racimo, a medida que disminuye la proporción de ácido palmítico (saturado) y aumenta la de ácido oleico (monoinsaturado) (Ruswanto et al. 2021).

La coloración amarilla del aceite de palma crudo es atribuida principalmente a carotenoides (α y β -caroteno), potentes antioxidantes naturales que confieren estabilidad oxidativa y valor nutricional (Rangkuti, Julianti, & Elisabeth, 2018).



Análisis Costo/ Beneficio

Tabla 10. Resumen del 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 (1kq)	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 10, presenta el análisis de ingresos y rentabilidad de los ocho tratamientos considerando un precio de venta de 300 USD por tonelada y una densidad de 123 plantas por hectárea, con el objetivo de estimar el retorno económico por dólar invertido en cada estrategia de aplicación



Tabla 11. Resumen de los ingresos y retorno por dólar invertido de los diferentes tratamientos evaluados.

Precio/Tn: \$300		Número de plantas/ha: 123					
Tratamientos	PMR (kg)	Costo/dosis (\$)	Ingreso bruto/racimo (\$)	Ingreso neto/racimo (\$)	Producción/ha/año (kg)	Ingreso neto/ha (\$)	Retorno por dólar invertido (\$)
S-T1	12,80	0,02	\$3,84	\$3,82	15744,00	\$4.698,60	233,80
S-T2	13,40	0,02	\$4,02	\$4,00	16482,00	\$4.920,00	196,22
S-T3	13,40	0,02	\$4,02	\$4,00	16482,00	\$4.920,00	163,65
S-T4	12,80	0,03	\$3,84	\$3,81	15744,00	\$4.686,30	133,60
L-T5	9,00	0,25	\$2,70	\$2,45	11070,00	\$3.013,50	8,85
L-T6	10,10	0,26	\$3,03	\$2,77	12423,00	\$3.407,10	9,67
L-T7	10,40	0,27	\$3,12	\$2,85	12792,00	\$3.505,50	9,49
L-T8	11,80	0,28	\$3,54	\$3,26	14514,00	\$4.009,80	10,58

Nota: "PMR" = Peso medio del racimo

Los tratamientos sólidos (S-T1–S-T4) mostraron mayor PMR (12,80–13,40 kg), menor costo (0,02–0,03 USD) y mayores ingresos netos (3,81–4,00 USD por racimo; 4.686–4.920 USD/ha), con retornos de 133,60–233,80 USD por dólar invertido. En contraste, los líquidos (L-T5–L-T8) tuvieron menor PMR (9,00–11,80 kg), mayores costos (0,25–0,28 USD) e ingresos inferiores (2,45–3,26 USD; 3.013–4.009 USD/ha), con retornos de 8,85–10,58 USD, evidenciando clara superioridad económica del método sólido.

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 sobre la fisiología de la maduración del racimo de palma aceitera, puesto que, los tratamientos S-T4 y L-T6 produjeron racimos que, al momento de cosecha, presentaban un estado de maduración más avanzado (mayor índice de yodo, menor contenido de carotenos residuales, aceite más claro). Mientras que, los tratamientos S-T1 y L-T5 produjeron racimos menos maduros o de maduración alterada (menor índice de yodo, mayor retención de carotenos, aceite más intensamente coloreado).

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, puesto que con esa dosis es suficiente para lograr el mismo peso de racimo obtenido al utilizar la dosis más alta, que fue del 5%.

Para maximizar el rendimiento de aceite por racimo la dosis que se recomienda es al 4% con ANA sólida ya que incrementó la cantidad de frutos partenocárpicos.



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

Pero, desde el punto de vista financiero, se recomienda priorizar el uso de ANA sólido en cualquiera de sus dosis, ya que su costo es mínimo y permite incrementar los ingresos por hectárea.



**GRACIAS POR
SU ATENCIÓN**

Ana Jeomayra Sosa Mero

