



**UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA**

Evaluación de los protocolos de polinización utilizados en los cultivos de palma de la empresa Promotora Palmera de Antioquia S.A.S, subregión de Urabá.

Autor

Edwin Alberto Quiroga Marín

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Química
Apartadó, Colombia
2020



Evaluación de los protocolos de polinización utilizados en los cultivos de palma de la empresa Promotora Palmera de Antioquia S.A.S, subregión de Urabá.

Edwin Alberto Quiroga Marín

Informe de práctica como requisito para optar al título de:
Ingeniero Agroindustrial.

Asesores (a) o Director(a) o Co- Directores(a).

Mauricio José Sierra Bautista, Ingeniero de Alimentos
Magister en Ciencias Agroalimentarias

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería Química
Programa de Ingeniería Agroindustrial
Apartadó, Colombia
2020.

Tabla de contenido

1. Resumen.....	4
2. Introducción.....	4
3. Objetivos.....	6
3.1 Objetivo general.....	6
3.2 Objetivos específicos.....	6
4. Marco teórico.....	6
4.1 Métodos de polinización.....	6
4.2 Producción de palma.....	7
4.3 Extracción de aceite.....	8
4.4 Regulador de crecimiento (Ácido 1-naftalenacético (A.N.A)).....	9
4.5 Diseño y planeación experimental.....	9
5. Materiales y métodos.....	10
5.1 Ubicación.....	10
5.2 Diseño del experimento.....	10
5.3 Selección y geo-posicionamiento de cultivares.....	10
5.4 Selección, determinación de peso y contenido de almendra racimos.....	10
5.5 Determinación de porcentaje de extracción de aceite.....	11
5.6 Elección del método de polinización.....	11
6. Resultados y análisis.....	11
6.1 Selección y geo-posicionamiento de cultivares.....	11
6.2 Establecer el efecto de los protocolos de polinización con y sin ANA.....	12
6.3 Determinar el protocolo de polinización con mejores resultados.....	17
7. Conclusiones.....	17
8. Bibliografía.....	18
9. Anexos.....	20

Evaluación de los protocolos de polinización utilizados en los cultivos de palma de la empresa Promotora Palmera de Antioquia S.A.S, subregión de Urabá.

1. Resumen

En los cultivos de palma de aceite, la polinización es muy importante, ya que determina la densidad de formación de frutos en los racimos; existen varios modos de polinización como directa, cruzada y asistida. La polinización asistida es la realizada con intervención del ser humano y se utiliza cuando el polen producido por la palma tiene poca viabilidad, este es el caso que se presenta en los híbridos de palma, por tanto, la polinización asistida en el híbrido de palma de aceite (OxG) es fundamental en la obtención de mayores potenciales de aceite disponible en el racimo, ya que busca aumentar la formación de frutos con aceite en proporción con el racimo. En el presente proyecto se buscaba hallar el más adecuado protocolo de polinización asistida de los tres utilizados en la empresa Promotora Palmera de Antioquia S.A.S, esta selección se realizó basándose en incrementar el peso promedio en racimos, incrementar la disponibilidad de aceite para la extracción y disminuir el contenido de almendro en los frutos. La empresa consta de varios cultivos, siendo el más importante el que está situado en Finca la Plana en Chigorodó, este cultivo es el que se utilizó para cumplir con el objetivo del proyecto. En Finca la Plana en el municipio de Chigorodó, se buscó un cultivar que mantuviera las condiciones similares posibles, se tomaron muestras experimentales de racimos por protocolos de polinización en el área seleccionada, a partir de las cuales se hizo una medición de las variables de interés: Peso promedio, porcentaje de extracción de aceite y contenido de almendra en fruto. La medición realizada mostró que había una gran variación en las variables de interés, dependiendo del método de polinización que se utilizó. Posteriormente, con ayuda del software estadístico Statgraphics, logramos identificar el impacto que tenía cada método de polinización en las diferentes variables, de esto, se pudo observar que los métodos de polinización con polen, producen racimos con mayor peso promedio y los métodos de polinización con ana, producen racimos con un mayor porcentaje de aceite disponible para la extracción. Finalmente, se pudo concluir que el método de polinización mixto era el más adecuado según los requerimientos de la empresa.

2. Introducción

En los últimos años, la participación del aceite de palma en la producción mundial de aceites y grasas ha aumentado considerablemente, pasó de ocupar el 13% del total de toneladas de aceite producidas en 1990 a ser el 30% en 2014, lo que representó en el mercado la comercialización de 60 millones de toneladas en tal año, consolidándose como el aceite vegetal de mayor producción a nivel mundial. (Kumar, K., 2016). Colombia ocupa el cuarto lugar como productor de aceite de palma en el mundo, siendo superado por Indonesia, Malasia y Tailandia; Sin embargo, tiene primer lugar en Latinoamérica al tener consolidadas 537.177 Ha, Sembradas en palma del tipo híbrido *Oleifera x Guineensis* (OxG); esta cifra representa una producción de 1'630.000 toneladas de aceite, de las cuales 772.000 toneladas se destinaron al consumo interno. (Abrapalma, 2015; Agronegocios, 2018; Fedepalma, 2018a).

El 67% de la producción nacional de aceite crudo de palma se obtuvo en la zona norte de Colombia, la cual está conformada por los departamentos de Córdoba, Sucre, Bolívar,

Magdalena, Atlántico, Cesar, La guajira y el Urabá antioqueño, que representan un área sembrada de 133.363 Ha. Para la transformación agroindustrial de dicha área, se cuenta con 16 plantas de beneficio de fruto de palma africana, que representan una capacidad total instalada de aproximadamente 417 Ton racimo de fruto fresco (RFF)/Hora; cuyo rendimiento promedio en extracción de aceite está alrededor de 16,19 toneladas/ha., generando 13.085 empleos, de los cuales el 48,6% son a término indefinido, el 30,6% de contrato a término fijo, 10,2% de contratación de servicios a través de terceros y el 10,6% pertenece a agricultura familiar. (Fedepalma 2016; Fedepalma 2018b; Fedepalma 2018c; Fedepalma 2018d).

Urabá, es una subregión de Antioquia delimitada por el mar caribe y los departamentos de Córdoba y Chocó. Cuenta con una extensión de 11.799 kilómetros cuadrados y una población de 693.868 habitantes. Está conformada por 11 municipios, entre los que sobresalen por mayor desarrollo económico y social Apartadó, Chigorodó, Carepa y Turbo. Es una zona altamente agrícola, cuya mayor economía, es la producción y exportación de banano y plátano, que conforman entre el 60 y 70 % de los ingresos de la región. (Cámara de comercio de Urabá, 2016; Fedepalma, 2018e); Sin embargo, en la región se cuenta con otros cultivos a menor escala, como lo es la piña, el cacao y la palma africana, teniendo de esta última, un área sembrada de 4.200 hectáreas aproximadamente y con proyecciones de establecer otras 2.800 (Fedepalma, 2018). La producción del fruto de palma OxG generado en Urabá es concentrado y procesado por la empresa extractora de aceite crudo, Bioplanta palmera para el desarrollo (BPD) ubicada en el municipio de Chigorodó, la cual tiene una capacidad instalada de 80 Ton/día y rendimiento promedio de extracción del 21,04% (Castillo, 2016). Equivalente a 16,8 Ton. /día de aceite sin refinar. (Indexmundi, 2018; Fedepalma, 2016; BPD, 2018; Fedepalma, 2018f; Fedepalma 2018h).

Por problemas fitosanitarios, en particular la Pudrición del cogollo (pc), en algunas zonas ha sido necesario cambiar paulatinamente el material *Elaeis guineensis* (palma africana) por el híbrido interespecífico OxG (*Elaeis oleifera x Elaeis guineensis*), debido a su aparente resistencia parcial a esa enfermedad. No obstante, la tasa de extracción de aceite de este último bajo condiciones de polinización natural, es muy inferior a la de *E. guineensis*, y ello se debe a la baja eficacia de polinización (fruit set) que presenta el híbrido interespecífico. Para la anterior problemática se ha propuesto la polinización asistida, que consiste en hacer una aplicación manual de polen, con lo que se logra aumentar la disponibilidad de aceite para la tasa de extracción al generar racimos con una mayor proporción de frutos normales (fértiles) con mayor contenido de aceite (Sánchez et al. (2011)).

Un aspecto importante para los presentes en la cadena productiva del aceite palma, es la calidad del aceite en el híbrido de palma *Oleifera x Guineensis* (OxG), la acidez promedio encontrada es menor al 1.5%, y con un alto índice de yodo con rangos de 65 y 75, lo que demuestra un alto contenido de ácido oleico; Como una desventaja del híbrido, se encuentra una baja viabilidad del polen, que afecta la conformación de racimos y por ende, la producción de aceite (Zambrano E. Jorge, 2004).

La polinización asistida en la Palma de Aceite Alto Oleico (OxG) se justifica por la baja o nula viabilidad del polen debido a las bajas poblaciones de agentes polinizadores y la baja atracción de los mismos, todo esto afecta el índice polínico (baja población de insectos, baja población de flores masculinas por hectárea). Esto conlleva a una inadecuada conformación de los racimos, bajas producciones y, por ende, muy baja extracción de aceite por racimo. De ahí la importancia de realizar la polinización asistida (Polinizadores,2020).

La polinización asistida en el híbrido de palma de aceite (OxG) es fundamental en la obtención de mayores potenciales de aceite en el racimo, ya que busca aumentar la formación de frutos con aceite en proporción con el racimo y disminuir los frutos mal formados; esta labor se ve afectada por varios factores como: la variación climática, fertilidad del polen, variabilidad genética de los materiales, y la dificultad de la aplicación del polen por el incremento de la altura de las palmas.

En el presente proyecto se realizó una comparación de los tres protocolos de polinización utilizados en los cultivos de palma de aceite de la empresa Promotora Palmera de Antioquia S.A.S, subregión de Urabá, estos protocolos fueron; polinización con polen, polinización mixta con polen y ácido alfa-naftalen acético (ANA), y polinización solo ANA. Con la comparación se buscó definir, en base a las variables que se midieron, cuál era el mejor método de polinización, según lo requerido por la empresa. La comparación se realizó basándose en varias variables respuesta como; Peso promedio del racimo, contenido de almendra en fruto y porcentaje de extracción de aceite. Se ha de tener en cuenta que estos protocolos de polinización eran propios de Promotora Palmera de Antioquia S.A.S y el gremio palmero del país, ya que esta fue una de las empresas pioneras en el uso del híbrido de palma OxG, y los reguladores de crecimiento.

3. Objetivos

3.1. Objetivo general

Evaluar tres protocolos de polinización utilizados en los cultivos de la empresa Promotora Palmera de Antioquia S.A.S, subregión de Urabá.

3.2. Objetivos específicos

- 3.2.1.** Seleccionar y geo-posicionar los cultivares que permitan cumplir con los estándares de la planeación experimental: edad, código genético, tratados y no tratados con ANA.
- 3.2.2.** Establecer el efecto de los protocolos de polinización con y sin ANA sobre: Peso promedio del racimo, contenido de almendra en fruto y porcentaje de extracción de aceite.
- 3.2.3.** Determinar el protocolo de polinización con mejores resultados, según lo deseado por la empresa Promotora Palmera de Antioquia S.A.S.

4. Marco Teórico

4.1 Métodos de polinización

4.1.1 Polinización artificial o asistida.

La polinización artificial es la realizada con intervención del ser humano. La polinización manual o artificial sucede cuando el ser humano reemplaza a la naturaleza durante todo el proceso de polinización y controla la reproducción. Esta decisión se puede tomar por dos motivos: si hay escasez de agentes polinizadores naturales en un cultivo agrícola, o si se desea

evitar alteraciones en las características específicas de una determinada planta (Sánchez et al. (2011)).

4.1.2 Polinización directa.

La polinización directa o autopolinización sucede cuando el grano de polen llega solo desde el estambre al estigma de la misma flor. A estas especies se las denomina autógamas. La ventaja de esta tipología es que, en caso de ausencia de agentes polinizadores externos, la especie puede reproducirse igual. Además, prácticamente no existe desperdicio de polen, debido a que los granos realizan distancias cortas (Sánchez et al. (2011)).

4.1.3 Polinización cruzada

La polinización cruzada ocurre cuando el polen se transporta de una planta a otra a través de un vector externo (biótico o abiótico). Existe polinización cruzada cuando intervienen insectos (abejas, mariposas, avispas), aves (colibríes o murciélagos), agua o viento (Sánchez et al. (2011)).

La polinización asistida en la Palma de Aceite Alto Oleico (OxG) se justifica por la baja o nula viabilidad del polen debido a las bajas poblaciones de polinizadores y la baja atracción de los mismos, todo esto afecta el índice polínico (baja población de insectos, baja población de flores masculinas por hectárea). Esto conlleva a una mala conformación de los racimos, bajas producciones y, por ende, muy baja extracción de aceite por racimo. De ahí la importancia de realizar la polinización asistida (Polinizadores,2020).

4.2 Producción de palma

4.2.1 Origen

La palma africana (Palma aceitera africana, Coroto de Guinea, Palmera Aabora, Palmera de Guinea) es una planta tropical propia de climas cálidos cuyo origen se ubica en la región occidental y central del continente africano, concretamente en el golfo de Guinea, de ahí su nombre científico *Elaeis guineensis* Jacq., donde ya se obtenía desde hace 5 milenios. A pesar de ello, fue a partir del siglo XV cuando su cultivo se extendió a otras regiones de África (Ruíz et al. (2015)).

4.2.2 Importancia económica y distribución geográfica.

La palma africana ha sido utilizada desde la antigüedad para la obtención de aceite. Produce dos tipos de aceite, el del fruto y el de la semilla, respectivamente. El aceite alimentario se comercializa como aceite comestible, margarina, cremas, etc., y el aceite industrial es utilizado para la fabricación de cosméticos, jabones, detergentes, velas, lubricantes, etc. El aceite de palma africana representa casi el 25 % de la producción de aceites vegetales en el mundo. Es considerado como el segundo aceite más ampliamente producido, sólo superado por el aceite de soja.

A pesar de ello, dentro de las plantas oleaginosas, es la de mayor rendimiento en toneladas métricas de aceite por hectárea. En comparación con otras especies oleaginosas, la palma africana tiene un rendimiento por hectárea varias veces superior. Es así que para producir lo mismo que una hectárea de palma, se necesitan sembrar 10 y 9 ha de soja y girasol, respectivamente.

Debido a esto, el cultivo de la palma africana es de gran importancia económica ya que provee la mayor cantidad de aceite de palma y sus derivados a nivel mundial (Ruíz et al. (2015)).

4.2.3 Particularidades del cultivo.

Siembra.

La siembra es una de las labores más importantes en el desarrollo de la vida productiva de una plantación, debido a que la permanencia del cultivo en el campo va a ser de muchos años. (Ruíz et al. (2015)). En los cultivos de la empresa Promotora Palmera de Antioquia S.A.S, se utilizan arreglos triangulares con separación de 10.5 m entre cada palma.

Resiembra.

En la empresa Promotora Palmera de Antioquia S.A.S, las palmas plantadas en campo son observadas periódicamente y aquellas que presenten algún desarrollo anormal o simplemente mueran, serán reemplazadas por plantas que para este fin se mantienen en vivero. Se estima que para esta fase un valor normal de reemplazo es el 5% del material sembrado.

Polinización.

La palma produce flores masculinas y femeninas en inflorescencias distintas y de forma separada en una misma planta, de tal manera que se necesita trasladar el polen de una flor a otra. Por esta razón, se necesitan agentes polinizadores que aseguren una buena fructificación. (Ruíz et al. (2015)). En el caso de la empresa Promotora Palmera de Antioquia S.A.S, se utiliza la polinización asistida, la cual utiliza como agentes polinizadores a los humanos.

Cosecha

La recolección es una de las actividades más importantes en las plantaciones de palma aceitera por lo que el éxito de la misma dependerá de una planificación racional. La producción de racimos, con las variedades disponibles en el mercado, se inicia entre los 30 y los 36 meses de plantada en el campo, la recolección en la palma se realiza durante todo el año. La frecuencia de cosecha, es decir, el intervalo entre cosechas en un mismo lote, está asociada con la edad de la palma, con el material genético utilizado y con las condiciones climáticas de la región (Ruíz et al. (2015)). En la empresa Promotora Palmera de Antioquia S.A.S, se cosecha el mismo lote con una frecuencia de 10 días, esta labor consta de dos personas para realizarla, un cortador, que es el encargado de cortar el racimo de la palma y un transportador, que con ayuda de una carreta y un búfalo para empujar la misma, recoge los racimos cortados y los desplaza hasta el acopio de fruta mas cercano.

4.3 Extracción de aceite.

En la empresa Promotora Palmera de Antioquia S.A.S, el proceso de extracción de aceite no utiliza solventes químicos, es un proceso físico en donde se obtienen productos principales como son:

- Aceite crudo de palma
- Aceite crudo de palmiste
- Harina de palmiste.

Así como otros subproductos para el alimento de ganado y algunos residuos orgánicos, que se utilizan para fertilizar plantaciones o como combustible para la caldera, tales como:

- Raquis
- Lodos
- Fibra

- Cascarilla de nuez
- Cernido

El proceso de extracción del aceite crudo de palma y de las almendras o del palmiste se lleva a cabo en la Bioplanta palmera para el desarrollo (BPD) ubicada en el municipio de Chigorodó. Inicia con la esterilización de los frutos, luego, se desgranar del racimo y se maceran para extraer el aceite de la pulpa, clarificar y recuperar las almendras de la torta de palmiste resultante, de donde se sacará el aceite de palmiste (Induagro, 2020).

4.4 Regulador de crecimiento (Ácido 1-naftalenacético (A.N.A)).

Las auxinas fueron las primeras hormonas vegetales identificadas, específicamente el ácido indol acético (AIA), que es la principal auxina producida por los vegetales. Las auxinas son fitohormonas que inhiben el crecimiento de las yemas laterales del tallo, promueven el desarrollo de raíces laterales, promueven el crecimiento del fruto, producen el gravitropismo, retrasan la caída de hojas y además pueden actuar como herbicidas. Actualmente es posible encontrar formulaciones a base de compuestos hormonales sintéticos cuya finalidad al ser aplicados en los vegetales es: promover, inhibir o retardar procesos morfológicos o fisiológicos de las plantas. Lo anterior con el objetivo de lograr mejor crecimiento y desarrollo de los cultivos, que se refleje en mayor rendimiento y rentabilidad para el productor. Estas sustancias son conocidas con el nombre de biorreguladores hormonales o simplemente como biorreguladores. Una de las hormonas sintéticas del tipo auxínico que ha sido sintetizada es el ácido naftalenacético, comúnmente llamado ANA. El Ácido Naftalenacético (ANA) es un regulador de crecimiento vegetal auxínico sintético ampliamente utilizado en agricultura, principalmente en la producción de cultivos hortofrutícolas, así como especies ornamentales. Se emplea para el enraizamiento de esquejes de plantas, para prevenir el aborto de frutos pre-cosecha, en la inducción floral, el raleo de frutos, entre otros procesos (INTAGRI S.C., 2011).

4.5 Diseño y planeación experimental.

Existen tres categorías generales de diseños experimentales: a) experimentos verdaderos o puros, b) cuasi-experimentos, y c) pre-experimentos. La principal diferencia radica en el grado de control que se impone a las variables que se están estudiando (Ramón, G., 2017).

Un diseño experimental puro es aquel el cual manipula una o varias variables independientes para observar sus efectos sobre una o varias variables dependientes en una situación de control. Las siguientes son las condiciones que debe reunir un experimento puro:

- Manipulación intencional de una o más variables independientes.
- Se debe medir el efecto que la variable independiente tiene en la variable dependiente.
- Buen control o validez interna de la situación experimental.

Diseños factoriales: En este tipo de arreglo de los factores, el investigador manipula dos o mas variables independientes e incluyen dos o más niveles de presencia en cada una de ellas.

La gran ventaja de este tipo de arreglo de los factores radica en el hecho de que le permite al investigador evaluar los efectos de cada variable independiente sobre la dependiente por separado, además de evaluar los efectos de las variables independientes conjuntamente. Hay dos tipos de efectos a evaluar: los efectos de cada variable independiente, también llamados efectos principales y los efectos de interacción entre dos o más variables independientes (Ramón, G., 2017).

El método científico sugiere que en el planteamiento de la experimentación se debe tener presente las siguientes etapas: Definir el problema, planteamiento y diseño del experimento, ejecución del experimento, recolección de datos del experimento, ordenamiento de la información experimental, discusión de los resultados obtenidos, análisis de los tratamientos que se probaron y utilidad práctica, conclusión final (Ramón, G., 2017).

5. Materiales y métodos

5.1 Ubicación

El proyecto estuvo ubicado en la región de Urabá, constó de dos ubicaciones, una en la Bioplanta palmera para el desarrollo (BPD) ubicada en el municipio de Chigorodó con coordenadas; Latitud: 7.67, Longitud:-76.68, 7°39'59" Norte, 76°40'51.8" Oeste, donde se realizarán las pruebas de laboratorio, y la otra ubicación es en Finca La Plana en el municipio de Chigorodó, sitio en el que se obtendrán los datos.

5.2 Diseño del experimento

El diseño que se utilizó fue uno de bloques completamente al azar, con 1 factor multinivel de 3 niveles categóricos, 3 variables respuesta y 9 repeticiones, por tanto, hubo un total de 27 tratamientos, el análisis de los datos se realizó con ayuda del software estadístico statgraphics (Versión demo) con nivel de confianza del 95%. Las variables medidas fueron: Peso de racimo, contenido de almendra y porcentaje de extracción de aceite.

Los niveles categóricos del factor polinización fueron; polinización con polen, polinización con ANA y polinización mixta.

5.3 Selección y geo-posicionamiento de cultivares con los estándares de la planeación experimental: edad, peso de racimo, tratados y no tratados con ANA.

En la selección del geo-posicionamiento de cultivares, se utilizaron los planos y datos históricos de cultivo en finca La Plana en el municipio de Chigorodó. Para seleccionar la ubicación se tuvieron en cuenta los siguientes criterios; El área debía ser una donde se utilizarán los 3 protocolos de polinización, debía ser suficiente para tener los nueve racimos por cada protocolo de polinización, siendo todos polinizados en la misma semana, todas las palmas de las que se tomaron los racimos debían tener la misma edad, el mismo código genético, y ser polinizadas por la misma persona. En caso de no se hubiera podido cumplir con las condiciones mencionadas, se hubiera reducido el número de repeticiones por protocolo de polinización hasta cumplirlas.

5.4 Selección, determinación de peso y contenido de almendra racimos.

Se realizó una selección de los racimos que fueron utilizados como muestra en el experimento, esta selección se realizó de manera que se obtuvo nueve racimos de cada protocolo de polinización en el área seleccionada, basándose en que tuvieran las condiciones de cultivo más similares nombradas en el apartado anterior. Posteriormente se procedió a medir las variables respuesta, peso del racimo y el contenido de almendra en fruto, en las muestras seleccionadas previamente: Para realizar la medición de peso del racimo, se utilizó una balanza de gancho digital con límite máximo de 50 kg y una exactitud de 0.001 kg, y para saber si había contenido de almendra o no, se realizó un corte horizontal corto en el tercio inferior del racimo.

5.5 Determinación de porcentaje de extracción de aceite.

Para obtener el porcentaje de extracción de aceite por el método de extracción mecánica a alta presión, se llevaron los racimos a los laboratorios de Bioplanta palmera para el desarrollo (BPD) subregión de Urabá, allí el personal encargado del laboratorio obtuvo el porcentaje de extracción de aceite por protocolo de polinización y nos lo comunicó. Para esto se debió transportar los racimos seleccionados desde Finca la Plana al laboratorio de BPD, el mismo día en que se cortaron. Para enviar los racimos se utilizó la logística de transporte de Finca la plana, la cual constó de un bufalero que transportó los racimos hasta un sitio de acopio donde posteriormente un camión los recogió y los llevó directamente a la planta extractora BPD.

5.6. Elección del método de polinización

Con ayuda del software estadístico statgraphics, obtuvimos el impacto que tiene el factor polinización en cada variable respuesta, y un análisis general detallado, y basándose en esto, se seleccionó el más adecuado método de polinización según los requerimientos de Promotora Palmera de Antioquia S.A.S. Para la selección nos basamos en los siguientes criterios; aumentar el peso promedio en los racimos, aumentar la disponibilidad de aceite para la extracción en los racimos, lo cual se ve reflejado en un mayor porcentaje de extracción de aceite en la planta extractora BPD, y en disminuir en contenido de almendra en los frutos.

6. Resultados y análisis

6.1 Selección y geo-posicionamiento de cultivares con los estándares de la planeación experimental: Edad, código genético, tratados y no tratados con ANA.

Tabla 1. Rango de pesos para diferentes métodos de polinización con los estándares de la planeación experimental.

Método de polinización	Características de selección			Número de muestras	Geoposicionamiento
	Peso de racimo (rango de peso)	Edad	Código genético		
Polinización con Polen	(22,2 kg - 27,8 kg)	9 años	1501 hacienda la Cabaña	9	Lote 2 Finca la Plana
Polinización con ANA	(17,3 kg - 21,5 kg)	9 años	1501 hacienda la Cabaña	9	Lote 2 Finca la Plana
Polinización mixta	(22,1 kg - 26,8 kg)	9 años	1501 hacienda la Cabaña	9	Lote 2 Finca la Plana

El estudio mostro que, para palmas con igual código genético, edad y geoposicionamiento, puede variar el rango de pesos promedio dependiendo el tipo de polinización asistida utilizado, teniendo en este caso un rango de pesos cercano entre el método de polinización con polen y el método mixto, y al mismo tiempo este rango es considerablemente mayor que el del método con ANA.

Apoyándonos con la literatura pudimos ver que el peso promedio para racimos sin polinización asistida estaba cercano a los 6,27 Kg, lo que comprueba la efectividad de la polinización asistida para aumentar el rango de peso en los racimos (Rosero y Santacruz, 2014).

En la literatura también pudimos observar que para el método de polinización con polen se tiene un peso promedio cercano a los 19,5 Kg y 16,9 Kg, dependiendo del medio que se utilice para diluir el polen, sea en medio seco (talco) o líquido (agua) (Rosero y Santacruz, 2014).

Haciendo una comparación con la literatura se pudo observar que el rango de pesos presente en los racimos de finca la plana para el método de polinización con polen es mayor al encontrado en la literatura, teniendo en cuenta que el medio que se utiliza para diluir el polen es talco.

Finalmente pudimos concluir que el método de polinización que se utilice, afecta en gran manera el rango de pesos final.

6.2 Establecer el efecto de los protocolos de polinización con y sin ANA sobre: Peso promedio del racimo, contenido de almendra en fruto y porcentaje de extracción de aceite.

Los resultados obtenidos de la medición de peso, contenido de almendra en frutos y de extracción de aceite en los racimos seleccionados se reflejan a continuación en la Tabla 2. Peso, contenido de almendra y % de extracción de aceite en racimos por protocolo de polinización.

Tabla 2. Peso, contenido de almendra y % de extracción de aceite en racimos por protocolo de polinización.

Método de polinización	Polen	ANA	MIXTO	Polen	ANA	MIXTO	Polen	ANA	MIXTO
Respuesta	Peso Racimo (kg)			Porcentaje de Extracción			Contenido de almendra		
R1	23.5	20.7	26.8	23.1	27.9	27.2	Si	Si	Si
R2	26.3	18.4	24.5	23.1	27.9	27.2	Si	No	No
R3	22.2	17.6	23.6	23.1	27.9	27.2	Si	No	Si
R4	24.2	19.3	22.1	23.1	27.9	27.2	Si	No	No
R5	23.9	21.5	23.9	23.1	27.9	27.2	No	No	Si
R6	25.3	19.4	26.7	23.1	27.9	27.2	Si	No	Si
R7	26.5	17.3	23.1	23.1	27.9	27.2	Si	No	No
R8	27.8	20.1	24.6	23.1	27.9	27.2	Si	No	Si
R9	24.5	21.1	25.5	23.1	27.9	27.2	Si	Si	Si

6.2.1 Peso de racimo:

Inicialmente con ayuda del software estadístico statgraphics, se muestra el análisis de varianza (ANOVA) con un nivel de confianza del 95%. Si hay diferencias significativas al nivel de confianza, se realiza un test de comparación de medias de tratamiento y el test de Tukey para comprobar.

ANOVA Simple - Peso de racimo por Tipo de polinización

Variable dependiente: Peso de racimo (Kilogramos)

Factor: Tipo de polinización

Tabla 3. ANOVA para Peso de racimo por Tipo de polinización

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	164.969	2	82.4844	31.89	0.0000
Intra grupos	62.0778	24	2.58657		
Total (Corr.)	227.047	26			

Pruebas de Múltiple Rangos para Peso de racimo por Tipo de polinización

En la figura 1, se aplica el test de Tukey para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. Estos pares muestran diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95.0% de confianza. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. Finalmente podemos afirmar con un nivel del 95.0% de confianza la hipótesis de que por lo menos uno de los tratamientos es diferente.

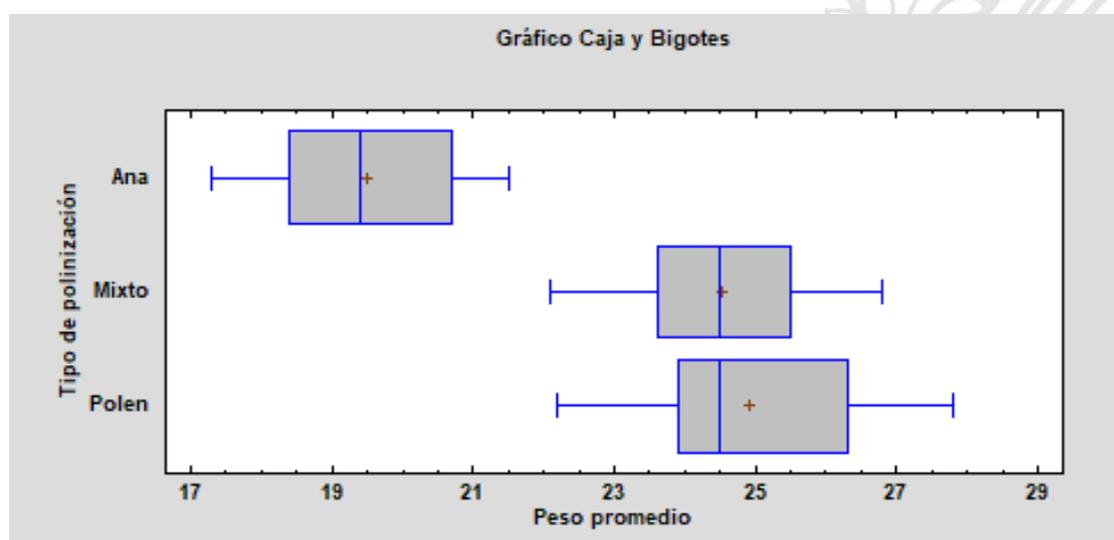


Figura 1. Evaluación del test de Tukey para peso de racimo por tipo de polinización.

El resultado de la prueba de Tukey ilustra las diferencias entre los tratamientos basados en las medias de peso del racimo, representados en Ana, Mixto y Polen. En este caso el tratamiento que ofrece un mayor peso promedio de racimo es el Polen, y el tratamiento Ana tiene una diferencia significativa con respecto a los otros tratamientos.

6.2.2 Contenido de almendra:

Inicialmente con ayuda del software estadístico statgraphics, en la tabla 6, se muestra el análisis de varianza (ANOVA) con un nivel de confianza del 95%. Si hay diferencias significativas al nivel de confianza, se realiza un test de comparación de medias de tratamiento y el test de Tukey para comprobar.

ANOVA Simple - Contenido de almendra por Tipo de polinización

Variable dependiente: Contenido de almendra

Factor: Tipo de polinización

Tabla 6. ANOVA para Contenido de almendra por Tipo de polinización

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
Entre grupos	2.07407	2	1.03704	5.60	0.0101
Intra grupos	4.44444	24	0.185185		

Total (Corr.)	6.51852	26		
----------------------	---------	----	--	--

Pruebas de Múltiple Rangos para Contenido de almendra por Tipo de polinización

Método: 95.0 porcentaje LSD

Tabla 7. Múltiples rangos para contenido de almendra por tipo de polinización

Nivel	Casos	Media	Grupos Homogéneos
Ana	9	1.22222	X
Mixto	9	1.66667	X
Polen	9	1.88889	X

Tabla 8. Diferencias significativas para contenido de almendra por tipo de polinización

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
Ana - Mixto	*	-0.444444	0.418684
Ana - Polen	*	-0.666667	0.418684
Mixto - Polen		-0.222222	0.418684

* indica una diferencia significativa.

Con las tablas 7 y 8, se aplica un procedimiento de comparación múltiple para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. El asterisco que se encuentra al lado de los 2 pares indica que estos pares muestran diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95.0% de confianza. En la tabla 7, se han identificado 2 grupos homogéneos según la alineación de las X's en columnas. No existen diferencias estadísticamente significativas entre aquellos niveles que compartan una misma columna de X's. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. Finalmente podemos afirmar con un nivel del 95.0% de confianza la hipótesis de que por lo menos uno de los tratamientos es diferente.

El resultado nos ilustra las diferencias entre los tratamientos basado en las medias de contenido de almendra, representados en ana, mixto y polen. En este caso el tratamiento que ofrece un menor contenido promedio de almendra es el ana que la vez, tiene una diferencia significativa con respecto a los otros tratamientos.

6.2.3 Extracción de aceite:

Inicialmente con ayuda del software estadístico statgraphics, en la tabla 9, se muestra el análisis de varianza (ANOVA) con un nivel de confianza del 95%. Si hay diferencias significativas al nivel de confianza, se realiza un test de comparación de medias de tratamiento y el test de Tukey para comprobar.

ANOVA Simple - Extracción de aceite por Tipo de polinización

Variable dependiente: Extracción de aceite (%)

Factor: Tipo de polinización

Tabla 9. ANOVA para Extracción de aceite por Tipo de polinización

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F
Entre grupos	121.02	2	60.51	*****
Intra grupos	0	24	0	
Total (Corr.)	121.02	26		

Fuente	Valor-P
Entre grupos	0.0000
Intra grupos	
Total (Corr.)	

Pruebas de Múltiple Rangos para Extracción de aceite por Tipo de polinización

En la figura 2, se aplica el test de Tukey para determinar cuáles medias son significativamente diferentes de otras. estos pares muestran diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95.0% de confianza. El método empleado actualmente para discriminar entre las medias es el procedimiento de diferencia mínima significativa (LSD) de Fisher. Finalmente podemos afirmar con un nivel del 95.0% de confianza la hipótesis de que todos los tratamientos son diferentes.

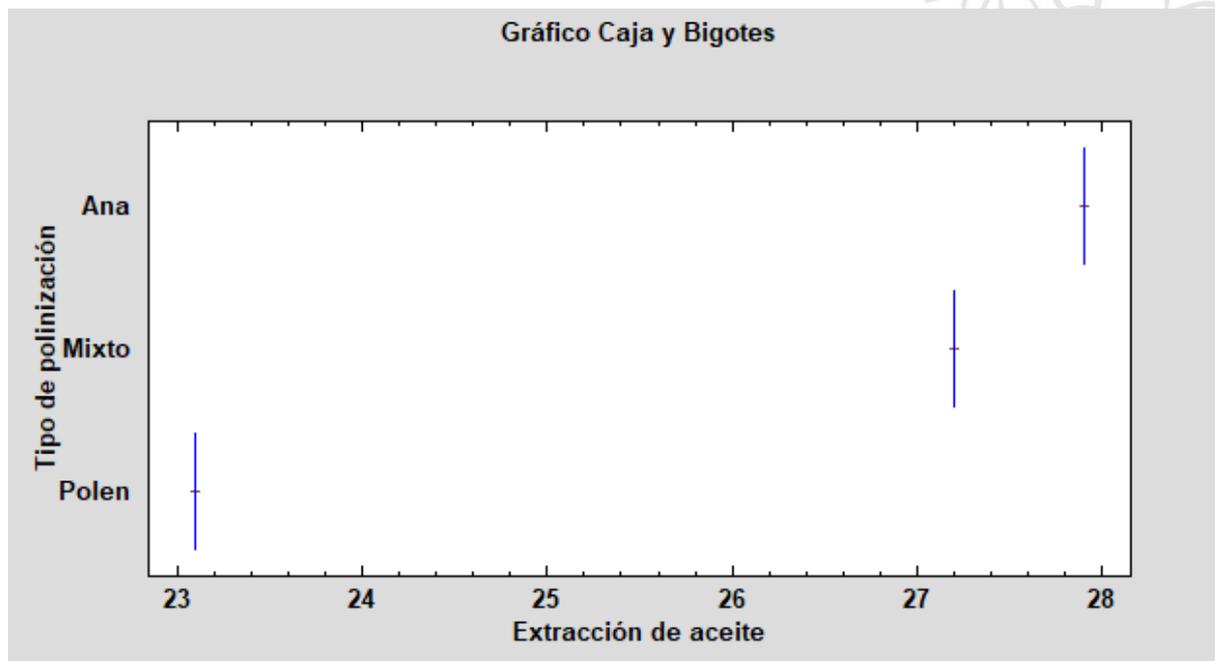


Figura 2. Evaluación del test de Tukey para extracción de aceite por tipo de polinización.

El resultado de la prueba de Tukey ilustra las diferencias entre los tratamientos basado en las medias de extracción de aceite, representados en Ana, Mixto y Polen. En este caso el tratamiento que ofrece un mayor porcentaje de extracción de aceite es el Ana, y los tres tratamientos tienen una diferencia significativa con respecto a los otros tratamientos.

Después de los resultados obtenidos procedimos a comparar con la literatura.

Observando en la literatura pudimos ver que se tienen mediciones de peso y porcentaje de extracción de aceite para palmas del tipo OxG, los estudios los realizaron para tres tipos de cruce OxG diferentes, y tres protocolos de polinización diferentes, uno utilizando polen, y dos utilizando ANA (Ayala y Romero, 2019). Los datos obtenidos fueron:

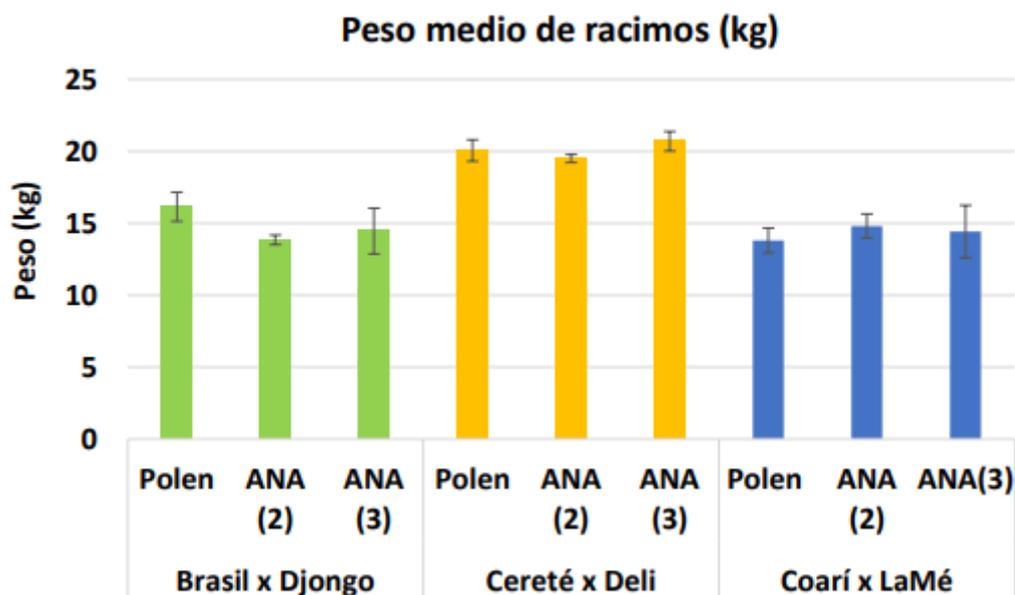


Grafico 1. Peso promedio de racimos en 3 tipos de cruce de palma hibrida OxG. (Ayala y Romero, 2019)

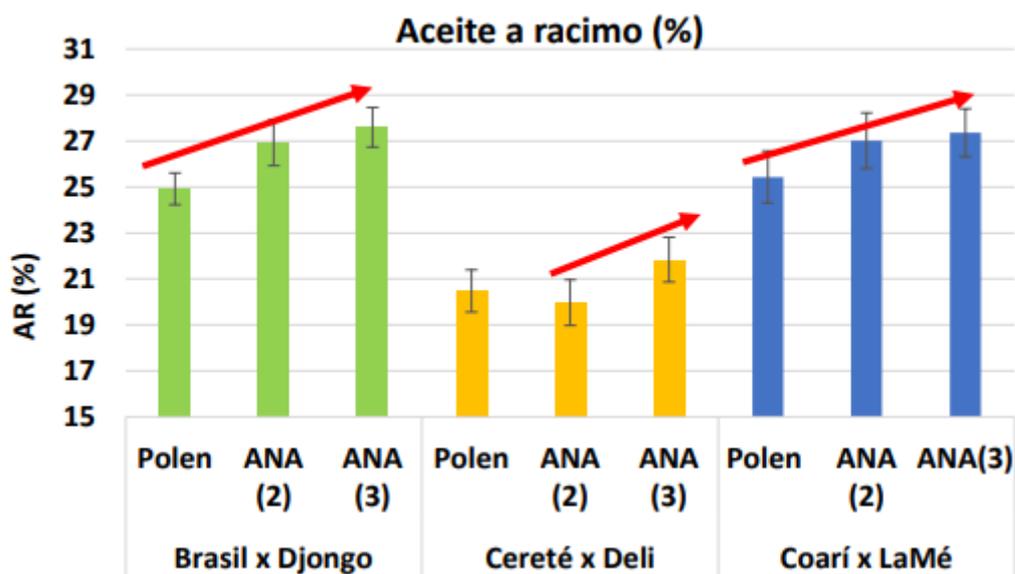


Gráfico 2. % de extracción de aceite en 3 tipos de cruce de palma hibrida OxG. (Ayala y Romero, 2019)

Comparando con los datos en la literatura, pudimos ver que en nuestro estudio los métodos de polinización polen y mixto tuvieron un peso promedio para racimos mayor que los encontrados en la literatura, y método ANA tuvo un peso promedio inferior.

También se pudo observar que el porcentaje de extracción de aceite que se obtuvo en los experimentos en el estudio fue bastante cercano al encontrado en la literatura, con la diferencia que nuestro método de polinización con polen fue un poco menor. Cabe anexar que el tipo de cruce presente en Finca la Plana en Chigorodó es del tipo Coarí x LaMé.

Finalmente se puede concluir que, aunque el método de polinización con ANA aumenta el porcentaje de aceite disponible para extracción, la cual es la variable de mayor interés para la empresa, disminuye en gran manera el peso promedio, lo cual no es beneficioso. Además,

pudimos ver que los datos de peso promedio para los protocolos Polen y Mixto fue bastante satisfactorio, ya que superan los del protocolo ANA y los encontrados en la literatura.

6.3 Determinar el protocolo de polinización con mejores resultados, según lo deseado por la empresa Promotora Palmera de Antioquia S.A.S.

Según los estándares de la planeación experimental, aumentar el peso promedio en los racimos, aumentar la disponibilidad de aceite para la extracción en los racimos, y en disminuir en contenido de almendra en los frutos.

El método de polinización con los mejores resultados según los requerimientos de la empresa Promotora Palmera de Antioquia S.A.S fue el método Mixto. Debido a que presentó un valor de porcentaje de extracción de aceite bastante cercano al máximo, el cual fue el del método ANA, y presento un peso promedio de racimo cercano al máximo, el cual fue el del método solo Polen, y aunque el método ANA tuvo un mejor valor en la variable de contenido de almendra, tuvo una baja bastante significativa en el peso promedio, lo cual no era lo deseado.

Comparando con la literatura, observamos firmas comerciales de producción de aceite incursionando en el uso de ANA en los métodos de polinización, como también hay casos donde se sigue trabajando con solo Polen (Ayala y Romero, 2019), (Rosero y Santacruz, 2014). Se pudo observar que el método mixto presentó valores más satisfactorios que los encontrados en la literatura.

Vale la pena aclarar que, aunque el método mixto fue hasta ahora el mejor método de polinización para la empresa Promotora Palmera de Antioquia S.A.S, puede estar sujeto a cambios futuros, lo cual puede mejorar aún más la eficiencia de la polinización en la empresa.

7. Conclusiones

- Para palmas con igual código genético, edad y geoposicionamiento, puede variar el rango de pesos promedio dependiendo el tipo de polinización asistida utilizado.
- El método de polinización que se utilice, afecta en gran manera las variables de peso de racimo, contenido de almendra en fruto y porcentaje de extracción de aceite en los cultivos de palma híbrida OxG.
- Se pudo concluir que el protocolo de polinización con ANA, presentó la mayor disponibilidad de aceite para la extracción y bajo contenido de almendra en fruto, lo cual es lo que se buscaba, pero tenía una reducción bastante considerable en el peso promedio del racimo, por ende, no se adecuo a lo buscado por la empresa.
- El protocolo de polinización con polen, mantuvo el mayor peso promedio, pero presentó un porcentaje de extracción considerablemente menor y presentó un alto contenido de almendra en los frutos.
- El protocolo de polinización mixto, aunque no tuvo el mayor peso promedio y mayor porcentaje de extracción, tuvo un valor promedio cercano a estos, lo cual se consideró bueno según los requerimientos de la empresa.
- El mejor protocolo de polinización para Promotora Palmera de Antioquia S.A.S, según los parámetros buscados, fue el de la polinización mixta.

8. Referencias Bibliográficas

1. Abrapalma. (2015). La palma en Brasil y el mundo. Recuperado de: <http://www.abrapalma.org/es/la-palma-en-brasil-y-el-mundo/>
2. Agronegocios. (2018). Editorial La republica S.A.S, Recuperado de: <https://www.agronegocios.co/agricultura/colombia-es-el-cuarto-productor-de-aceite-de-palma-del-mundo-y-el-primer-productor-en-america-2735403>
3. Bastidas, Silvio; Peña, Eduardo; Reyes, Rafael; Pérez, José; Tolosa, William, (2007). Comportamiento agronómico del cultivar híbrido RC1 de Palma de aceite (*Elaeis oleifera x Elaeis guineensis*). Ciencia y Tecnología Agropecuaria, ISSN-e 0122-8706, Vol. 8, N°. 1, 2007. Recuperado de: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5624572>
4. Ayala, I. y Romero, M. (2019). Cultivares Híbridos OxG y la reactivación productiva de zonas problema con PC. Grupo de Biología y Mejoramiento de la Palma. Recuperado de: https://www.cenipalma.org/wp-content/uploads/2019/09/1.Ivan-Ayala-OxG-RTN-2019_compressed.pdf
5. Bioplanta palmera para el desarrollo, (2018). Visita agroindustrial de la universidad de Antioquia Bioplanta palmera para el desarrollo. Contacto: <https://www.bioplantapalmera.com>
6. Cámara de comercio de Urabá, (2016). Informe socioeconómico. Recuperado de: <http://ccuraba.org.co/site/wp-content/uploads/2017/03/informe-socioeconomico-2016.pdf>
7. Castillo, A. (2016). Palma de aceite en el Urabá Antioqueño; mejores prácticas en Híbrido OxG.. Recuperado de: <http://web.fedepalma.org/bigdata/reunion2016/37sep21.pdf>
8. Fedepalma. (2016). Informe diario de precios y mercado. Publicación N° 1549. Recuperado de: <http://web.fedepalma.org/sites/default/files/05-10-16.pdf>
9. Fedepalma (2018a). Áreas en producción y en desarrollo. Recuperado de: <http://sispaweb.fedepalma.org/sispaweb/default.aspx?Control=Pages/areas>
10. Fedepalma (2018b). Empleo. Recuperado de: <http://sispaweb.fedepalma.org/sispaweb/default.aspx?Control=Pages/censo2011>
11. Fedepalma (2018c). Áreas y uepas. Recuperado de: <http://sispaweb.fedepalma.org/sispaweb/default.aspx?Control=Pages/censo2011>
12. Fedepalma (2018d). Localización geográfica de cultivos y plantas de beneficio. Recuperado de: <http://sispaweb.fedepalma.org/sispaweb/default.aspx?Control=Pages/areas>
13. Fedepalma (2018e). Municipios identificados con el cultivo de palma. Recuperado de: <http://sispaweb.fedepalma.org/sispaweb/default.aspx?Control=Pages/areas>
14. Fedepalma (2018f). Precios nacionales de los productos de la palma de aceite. Recuperado de: <http://sispaweb.fedepalma.org/sispaweb/default.aspx?Control=Pages/destacados>
15. Fedepalma (2018g). Evolución histórica de los rendimientos del fruto, aceite de palma y palmiste. Recuperado de: <http://sispaweb.fedepalma.org/sispaweb/default.aspx?Control=Pages/destacados>
16. Fedepalma (2018h). Evolución histórica anual del fruto procesado, el aceite de palma y el palmiste extraídos. Recuperado de: <http://sispaweb.fedepalma.org/sispaweb/default.aspx?Control=Pages/destacados>

17. Fedepalma (2018i). Ventas anuales de aceite de palma y aceite de palmiste. .
Recuperado: <http://sispaweb.fedepalma.org/sispaweb/default.aspx?Control=Pages/destacados>
18. Indexmundi (2018). Aceite de palma Precio Mensual - Peso colombiano por Tonelada.
Recuperado de: <https://www.indexmundi.com/es/precios-de-mercado/?mercancia=aceite-de-palma&meses=60&moneda=cop>
19. Induagro. (2020). Proceso productivo de aceites de palma. Aceites de Palma, S.A. de C.V.
Recuperado de: <http://www.induagro.com.mx/HOMEAP/ProcProductAP/ProcProductAP.html>
20. INTAGRI S.C. (2011). Ácido Naftalenacético (ANA) y su Uso en la Agricultura. Serie Nutrición Vegetal, Núm. 120. Artículos Técnicos de INTAGRI. México. 3 p.
Recuperado de: <https://www.intagri.com.co/articulos/nutricion-vegetal/acido-naftalenacetico-ANA-y-su-uso-en-la-agricultura>
21. Kumar, K. (2016). El aceite de palma en el mercado global y sus oportunidades en Estados Unidos. Palmas, 37(Especial Tomo II), pp. 319-321. Recuperado de: http://web.fedepalma.org/sites/default/files/files/Fedepalma/Memorias%20de%20la%20XVIII%20Conferencia%20Internacional%20sobre%20Palma%20de%20aceite/M_3_18_%20El%20aceite%20de%20palma%20en%20el%20mercado%20global.pdf
22. Polinizadores. (2020). Tipos de polinización. Syngenta Agro S.A. Recuperado de: <https://polinizadores.com/polinizacion/tipos-de-polinizacion/>
23. Ramón, G., (2017). Diseños experimentales. Apuntes de clase del curso Seminario Investigativo VI. Nuevas Perspectivas en la Investigación en Ciencias de la Actividad Física y el Deporte (Universidad de Granada). Docente – Investigador del Instituto Universitario de Educación Física. Universidad de Antioquia (Colombia). Recuperado de: http://viref.udea.edu.co/contenido/menu_alterno/apuntes/ac37-diseno_experiment.pdf
24. Rosero, G. y Santacruz, L. (2014). Efecto de la polinización asistida en la conformación del racimo en material híbrido OxG en la plantación Guaicaramo S.A. Palmas, 35(4), 11-19. Recuperado de: <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/11028/11013>
25. Ruíz, E., Fontanilla, C., Mesa, E., Mosquera, M., Molina, D. y Rincón, A. (2015). Prácticas de manejo y costos de producción de la palma de aceite híbrido OxG en plantaciones de la Zona Oriental y Suroccidental de Colombia. Palmas, 36(4), 11-29. Recuperado de: <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/11642>
26. Sánchez, Ángela; Steve, Édison; Ruiz, Rodrigo; Romero, Hernán. (2011). Polinización asistida en palma de aceite. Establecimiento del cultivo. Tecnologías para la agroindustria de la palma de aceite Guía para facilitadores. Bogotá, D.C., Colombia, octubre de 2011. Corporación Centro de Investigación en Palma de Aceite (Cenipalma), cofinanciada por Fedepalma - Fondo de Fomento Palmero. Convenio No 00086/11 - SENA-SAC. Recuperado de: <http://www.palmasana.org/bigdata/fito/renovar/guiametodologicapolinizacionasistida.pdf>
27. Zambrano E. Jorge. (2004). Los híbridos ínterespecíficos *Elaeis oleifera* H.B.K x *Elaeis guineensis* Jacq. Una alternativa de renovación para la Zona Oriental de Colombia. PALMAS - Vol. 25 No. Especial, Tomo II. Recuperado de: <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/1098/1098>.

9. Anexos.

Anexo 1: Diseño experimental en Statgraphics.

Asistente de Diseño de Experimentos

Paso 1: Definir las variables respuesta a ser medidas

Nombre	Unidades	Analizar	Objetivo	Destino	Impacto
Peso promedio	Kilogramos	Media	Maximizar		4.0
Contenido de almendra		Media	Minimizar		2.0
Extracción de aceite	%	Media	Maximizar		5.0

Sensibilidad	Bajo	Alto
Medio		
Medio		
Medio		

Paso 2: Definir los factores experimentales que van a variar

Nombre	Unidades	Tipo	Papel	Bajo	Alto	Niveles
A:Tipo de polinización		Catagórico	Controlable			Polen,Ana,Mixto

Paso 3: Seleccione el diseño experimental

Tipo of	Diseño	Puntos Centrales	Punto Central	Diseño es
Factores	Tipo	Por Bloque	Colocación	Aleatorizado
Proceso	Completamente aleatorio			No

Número de	Total	Total	Error
Replicaciones	Ejecuciones	Bloques	D.F.
8	27	1	24

Número de muestras por ejecución: 1

Paso 4: Indicar el modelo inicial a ajustar a los resultados del experimento

Factores	Modeo	Coefficientes	Efectos excluidos
Proceso	lineal (efectos principales)	3	

Paso 5: Seleccionar un subconjunto óptimo de ejecuciones (opcional)

27 ejecuciones seleccionadas

Paso 6: Seleccionar tablas y gráficos para evaluar las ejecuciones seleccionadas

Para mostrar diagnósticos de diseño, utilice la casilla de verificación en el cuadro de diálogo Opciones de Análisis.

Paso 7: Guardar el experimento

Archivo de diseño: D:\Desktop\Protocolo.sgx

Paso 8: Analizar los resultados del experimento

Modelo	Peso promedio	Contenido de almendra	Extracción de aceite
Transformación	ninguno	ninguno	ninguno
Modelo d.f.	2	2	2
P-valor	0.0000	0.0101	0.0000
Error d.f.	24	24	24
Std. error	1.60828	0.430331	3.76822E-15
R-cuadrado	72.66	31.82	100.00
Adj. R-cuadrado	70.38	26.14	100.00

Paso 9: Optimizar las respuestas

Valores de respuesta y Óptimo

Respuesta	Optimizado	Predicción	Inferior 95.0% Limite
Peso promedio	si	19.4889	18.3824
Contenido de almendra	si	1.22222	0.926168
Extracción de aceite	si	27.9	27.9

Superior 95.0% Límite	Deseabilidad
20.5953	1.11894E-198
1.51828	1.0
27.9	1.60186E-198

Deseabilidad optimizada = 0.0

Factores establecidos y Óptimo

Factor	Establecimiento
Tipo de polinización	Mixto

Paso 10: Guardar los resultados

StatFolio actual: D:\Desktop\Resultados.SGP

Paso 11: Aumentar diseño

Ejecutar este paso para añadir ejecuciones adicionales al diseño.

Paso 12: Extrapolar el modelo

No es posible la extrapolación con sólo factores categóricos.

El StatAdvisor

Ha especificado 3 variables respuesta y 1 factor experimental. El diseño seleccionado tiene 27 ejecuciones, con 1 una muestra para ser tomada en cada ejecución. El modelo por defecto es lineal con 3 coeficientes.

Los modelos estadísticos han sido ajustados a las variables de respuesta. Modelos con P-valores por debajo de 0.05, de los cuales hay 3, indican que el modelo ajustado es estadísticamente significativo al 5.0%.

Las características óptimas de los factores experimentales han sido determinadas y mostradas en el resumen.]