

# Tecnologías validadas a escala comercial para el manejo del híbrido interespecífico OxG



Mauricio Mosquera Montoya, Jhonatan Camperos Reyes, Alejandra García Pinilla,  
Kelly Sinisterra Ortiz, Daniel Munévar Martínez, Elizabeth Ruiz Álvarez,  
Eloína Mesa Fuquen y Diego Hernández Rendón

Boletín Técnico No. 39

# Tecnologías validadas a escala comercial para el manejo del híbrido interespecífico OxG

## **Autores**

Mauricio Mosquera Montoya, Jhonatan Camperos Reyes, Alejandra García Pinilla, Kelly Sinisterra Ortiz, Daniel Munévar Martínez, Elizabeth Ruiz Álvarez, Eloína Mesa Fuquen y Diego Hernández Rendón

Centro de Investigación en Palma de Aceite - Cenipalma  
Bogotá, febrero de 2021

# Boletín Técnico No. 39

## Tecnologías validadas a escala comercial para el manejo del híbrido interespecífico OxG

Publicación del Centro de Investigación en Palma de Aceite, Cenipalma, cofinanciada por el Fondo de Fomento Palmero, administrado por Fedepalma.

Alexandre Patrick Cooman

**Director General**

### **Autores**

Mauricio Mosquera Montoya

Jhonatan Camperos Reyes

Alejandra García Pinilla

Kelly Sinisterra Ortiz

Daniel Munévar Martínez

Elizabeth Ruiz Álvarez

Eloína Mesa Fuquen

Diego Hernández Rendón

### **Coordinación editorial**

Yolanda Moreno M.

Esteban Mantilla

### **Diagramación**

Fredy Johan Espitia Ballesteros

### **Impresión**

Estudio 45-8 S.A.S.

### **Cenipalma**

Calle 98 # 70-91. Piso 14

PBX: (57-1) 313 8600

[www.cenipalma.org](http://www.cenipalma.org)

Bogotá, D. C., Colombia

Febrero de 2021

ISBN: 978-958-8360-81-2

## Presentación

La necesidad de abordar la polinización es resultado de las epidemias de Pudrición del cogollo (PC) que han asolado tres de las cuatro zonas palmeras de Colombia. En dichos lugares, la alternativa para permanecer en el negocio de la palma fue resembrar con cruzamientos OxG, dada la resistencia parcial a la PC de algunos de estos cultivares. Además, el híbrido interespecífico OxG presenta características de interés como un crecimiento lento del estípote, lo cual permitiría aumentar la vida útil del cultivo; al igual que una mejor calidad del aceite extraído (mayor contenido de ácidos grasos insaturados). Sin embargo, estos cultivares tienen una deficiente polinización natural, que deriva en problemas para la formación de los frutos y baja producción de aceite.

Como alternativa para mejorar la formación del racimo en el híbrido interespecífico OxG, se recurrió a la polinización asistida, con polen de origen *Elaeis guineensis*. De este modo, se pudo aprovechar de mejor manera el potencial productivo de los cultivares OxG; obteniendo ganancias significativas en tamaño, peso, conformación, calidad del racimo y potencial de extracción de aceite. Posteriormente, y dado que en el híbrido interespecífico OxG la producción de aceite de palma proviene en un 65 % de los frutos normales y en un 35 % de los frutos partenocárpicos; se ha despertado el interés en inducir la formación de estos últimos por medio de aplicaciones de inductores de crecimiento. En consecuencia, Cenipalma desarrolló una tecnología para la inducción de partenocarpia en racimos de híbrido interespecífico OxG por medio de aplicaciones de inductores de crecimiento en medio líquido (ácido nftalenacético -ANA), la cual fue entregada en el año 2018. Aunque la adopción de esta tecnología fue masiva, algunas empresas del sector desarrollaron métodos de aplicación con ANA en medio sólido.

Dado que la polinización artificial es una labor relativamente reciente en el cultivo de palma de aceite, no se conocían el rendimiento de la labor, la logística inherente a su implementación, ni factores que favorecieran el impacto del uso del ANA sobre la productividad y la rentabilidad del negocio. Ello hizo que Cenipalma, con el fin contribuir a llenar este vacío en el acervo de conocimiento de la agroindustria de la palma de aceite colombiana, llevara a cabo investigaciones en diferentes entornos y con diferentes cruzamientos OxG.

Este Boletín Técnico compila algunos resultados de investigación de la Unidad de Validación de Cenipalma, acerca de: 1) rendimiento de la mano de obra que ejecuta la labor de polinización, 2) el impacto del punto óptimo de cosecha en la tasa de extracción de aceite (TEA) de racimos polinizados con polen y con ANA, 3) eficiencia de la labor según la presentación del ANA que se utilice (líquido o sólido) y costos de producción antes y después de la implementación de la polinización artificial con ANA. Esperamos que esta información sea de gran utilidad para los tomadores de decisiones del sector palmero colombiano.

Alexandre Patrick Cooman, PhD  
Director General  
Cenipalma

# Contenido

	Pág.
Introducción .....	7
Factores a considerar para la estimación del rendimiento de la labor de polinización artificial.....	11
Introducción.....	13
Metodología.....	14
Resultados.....	17
Conclusiones.....	21
Estudio de tiempos y movimientos para la polinización artificial en una plantación de la Zona Central colombiana .....	23
Introducción.....	25
Metodología.....	25
Resultados.....	29
Conclusiones.....	34
¿ANA líquido o en polvo? .....	35
Introducción.....	37
Metodología.....	37
Resultados.....	40
Conclusiones.....	47
Validación a escala comercial del punto óptimo de cosecha para el cultivar híbrido Cereté x Deli.....	49
Introducción.....	51
Metodología.....	51
Resultados.....	54
Conclusiones.....	58

Costos de producción en cultivos sembrados con cultivares híbridos OxG .....	59
Introducción.....	61
Metodología.....	61
Resultados.....	63
Conclusiones.....	69
Comentarios finales .....	69
Bibliografía .....	72

## Introducción

La Pudrición del cogollo (PC) es considerada la enfermedad más limitante para el desarrollo de los cultivos de palma de aceite en Colombia (Martínez *et al.*, 2008; Martínez *et al.*, 2018). En este orden de ideas, la PC ha afectado más de 30.000 hectáreas (ha) de palma en la Zona Suroccidental, 40.000 en Puerto Wilches, y devasta los cultivos del Departamento del Magdalena (Sanz, 2016; Fedepalma, 2019). Dada la resistencia parcial a la PC de algunos cultivares de híbrido interespecífico entre *Elaeis oleifera* y *Elaeis guineensis* (denominado híbrido OxG o cultivares OxG), se ha incrementado su siembra en el país como respuesta a esta problemática fitosanitaria (Peláez *et al.*, 2010; Alvarado *et al.*, 2013; Genty & Ujueta, 2013; Ávila-Diazgranados *et al.*, 2016; Romero, 2018; Ayala, 2019). A 2020, Colombia ya cuenta con alrededor de 67.919 ha con estos cultivares (Ayala & Romero, 2019).

En sus comienzos, el manejo del híbrido OxG a escala comercial era desconocido, y se basó en las prácticas establecidas para *E. guineensis*. En efecto, ha representado un reto para el sector palmicultor (Caicedo *et al.*, 2018; López, 1978; Rosero & Santacruz, 2014), porque estos cultivares muestran una deficiente polinización natural ocasionada por la baja viabilidad y fertilidad de su polen, y para que se dé la formación de frutos es necesario el estímulo de la polinización y la fertilización del ovario (López, 1978; Ben-Cheikh *et al.*, 1997; Hormaza *et al.*, 2010; Prada & Romero, 2012; Rosero & Santacruz, 2014; Socha *et al.*, 2019). Además, las inflorescencias femeninas están protegidas por fibras (prófilo y brácteas pedunculares) que dificultan el contacto del polen con las flores en anthesis (Alvarado *et al.*, 2000; Sánchez *et al.*, 2011; Forero *et al.*, 2012; Romero, 2018).

En consecuencia, para mejorar la formación de los racimos en cultivares híbridos OxG, los palmicultores recurrieron a la polinización asistida, labor que consiste en retirar las brácteas y aplicar polen de origen *E. guineensis* a las inflorescencias femeninas que se encuentran en estado de anthesis (Sánchez *et al.*, 2011). Esta práctica garantizó un mejor aprovechamiento del potencial productivo del cultivo, obteniendo ganancias en tamaño, peso, conformación del racimo y calidad del aceite (Sánchez *et al.*, 2011). Sin embargo, la necesidad de aplicar polen *E. guineensis* implicaba una ventana de tiempo muy reducida para lograr la formación de los racimos, ya que requería entradas frecuentes a los lotes y aun así se solían perder o malograr. Esto, debido a que las inflorescencias de los cultivares híbridos OxG también suelen ser asincrónicas, es decir, no todos los botones florales se encuentran receptivos al

mismo tiempo. Adicionalmente, el manejo del polen es dispendioso en razón a la cadena de frío a la que debe someterse, aunque a lo largo de la jornada laboral pierde poca viabilidad (10 %) y germinabilidad (25 %) (Guataquira *et al.*, 2019).

En la búsqueda de optimizar el potencial de aceite, investigadores de Cenipalma se centraron en el hecho de que en racimos de palmas OxG (Coari x La Mé), el 65 % del contenido de aceite proviene de los frutos normales y el 35 % de los frutos partenocárpicos (Rincón *et al.*, 2013), contrario a lo observado en cultivares *E. guineensis* para los que el número de frutos partenocárpicos y su contenido de aceite son tan bajos, que ni siquiera se tienen en cuenta para los análisis de racimo (Prada & Romero, 2012). Este hecho generó una línea de investigación, mediante la cual se exploró el hecho de que los frutos sin semilla (partenocárpicos) se pueden desarrollar por medio de aplicaciones de reguladores de crecimiento como las auxinas y giberelinas a inflorescencias no polinizadas (Taiz & Zeiger, 2006; Ussa *et al.*, 2013; Lietzow *et al.*, 2016; Taiz *et al.*, 2017; Qian *et al.*, 2018).

Los resultados de la investigación definieron la tecnología de la polinización artificial, que consiste en tres aplicaciones de ácido naftalenacético (ANA) a cada inflorescencia femenina. La primera tiene lugar cuando la inflorescencia está en antesis, con dos refuerzos de la aplicación a los siete y 14 días después de antesis (dda) (Daza *et al.*, 2016; Romero *et al.*, 2018), logrando incrementar la formación de frutos partenocárpicos y en consecuencia incrementos en el potencial de aceite y la tasa de extracción de aceite (TEA).

En este sentido, los efectos de la polinización artificial han sido contundentes para la agroindustria. Primero, aumenta la formación de frutos en el racimo (*fruit set*) llegando hasta el 95 %. Segundo, permite una ventana de tiempo más amplia que la polinización asistida para lograr la formación de frutos y una buena conformación del racimo (Daza *et al.*, 2016; Romero, 2018). Tercero, se evidencian incrementos hasta del 15 % en la cantidad de racimos cosechados, porque reduce el número de racimos malogrados (Daza *et al.*, 2016). Finalmente, la implementación de la polinización artificial ha impactado en la producción de aceite por tonelada de racimos, con tasas de extracción que oscilan entre 25 % y 28 % (Romero, 2018). En síntesis, asistimos al nacimiento de una tecnología con potencial para revolucionar la rentabilidad de la agroindustria de la palma.

Las razones expuestas influyeron para que las empresas adoptaran rápidamente la polinización artificial. Entonces, se implementó la aplicación de ANA en polvo, con el argumento de que manejar agua en campo es complejo y dificulta la logística de

la labor. Los resultados han sido igualmente positivos pero muy heterogéneos, en el sentido de que en este caso el ANA no necesariamente tiene contacto con todos los botones florales, lo que disminuye el *fruit set*, comparado con la polinización artificial líquida que propuso Cenipalma (García *et al.*, 2020). Luego se dio lugar a un dilema entre calidad y facilidad de la aplicación de ANA que ameritaba estudiarse. Es importante tener en cuenta que a medida que se incrementa la altura de la palma es más complejo utilizar productos en polvo (sistemas neumáticos), por lo que se debe regresar al método de ANA en medio líquido (sistemas hidráulicos).

Otro de los retos enfrentados con los cultivares OxG, radica en que las características de madurez del racimo varían entre cultivares, y que la coloración de los racimos no es un buen criterio para determinar el momento en el que los racimos están maduros (Caicedo *et al.*, 2018). Este hecho, dio lugar a otra línea de investigación de Cenipalma que se dedicó a explorar el punto óptimo de cosecha para cada uno de los cultivares OxG, dando prioridad a los más cultivados en plantaciones comerciales. Los trabajos adelantados entre Cenipalma y dichas plantaciones para la evaluación del contenido de aceite de los racimos cuando se cosechan en punto óptimo, han mostrado incrementos en la TEA en más de tres puntos porcentuales (Sinisterra *et al.*, 2019; Hernández *et al.*, 2020). Estos resultados deben ser apropiados por los empresarios del sector para reconfigurar su cosecha y entrenar debidamente a su personal.

Finalmente, la pregunta acerca de los costos de producción de los cultivares OxG no deja de ser importante, ya que se trata de proveer información que permita la toma de decisiones, no solo a los palmicultores sino también a empresarios que estén contemplando la posibilidad de invertir en estos. Así, este escrito presenta una completa recopilación de costos, ya que se logró tener información para plantaciones adultas de OxG en todas las zonas. Esto solo fue posible hasta el 2020, ya que en años anteriores únicamente se tenían datos de etapas jóvenes del cultivo en las zonas Central, Norte y Suroccidental. Luego, para poder hacer estimaciones de largo plazo (ciclo de vida de la palma), fue necesario circunscribirse a los costos de híbrido OxG de la Zona Oriental de etapa adulta.

Este documento explora la implementación de la polinización artificial a escala comercial con varios estudios que permiten entender los factores de éxito de esta tecnología. Entre ellos destacamos la determinación de los rendimientos de los operarios encargados de la labor de polinización artificial en dos escenarios. Uno, en palma con coronas de racimos donde la altura es mayor a los 2,5 metros (m), y el otro, la comparación del rendimiento de la labor según la presentación del ANA

(líquido o en polvo). Adicionalmente, se exponen los resultados de un estudio de caso sobre punto óptimo de cosecha en cultivares OxG (Cereté x Deli), que permite dimensionar su importancia. De igual manera, se presentan las conclusiones de un estudio de costos orientado a estimar el valor de una tonelada de racimos de fruta fresca (RFF) proveniente de cultivares OxG, complementado con un análisis de lo que representa la polinización artificial en términos del costo de producción.

# Primera parte



Foto: Toro, F. (2014).

Factores a considerar para la estimación del rendimiento de la labor de polinización artificial



## Introducción

En los cultivares híbridos OxG, la mano de obra representa el 49 % de los costos de producción de una tonelada de racimos de fruta fresca (RFF), siendo el factor de mayor participación. La polinización es una labor intensiva en mano de obra, que se explica por el hecho de que entre el 70 % y el 83 % del costo de la polinización corresponde a pago por trabajo (Mosquera *et al.*, 2019). En este orden de ideas, la polinización concentra el 15 % del recurso humano que se emplea en los cultivos de palma de aceite OxG.

La necesidad de mano de obra para el manejo de los cultivos de palma de aceite se enfrenta a la escasez de la misma en el ámbito rural (Mosquera *et al.*, 2019). Por ende, es preciso implementar herramientas orientadas a incrementar la productividad laboral. En otras palabras, se trata de asegurar que el recurso humano se emplee con la mayor eficiencia posible, sin explotar al trabajador y sin que la empresa pierda por su bajo rendimiento. Entre los medios disponibles se encuentran los estudios de tiempos y movimientos, cuyo objetivo es determinar el trabajo justo y el diseño óptimo de puestos de trabajo (Fontanilla *et al.*, 2016; Mosquera & García, 2005; Niebel & Freivalds, 2014).

Cenipalma ha realizado dichos estudios para labores como la cosecha, el alce de los racimos y la polinización asistida. Para la primera, Mosquera *et al.* (2008) compararon el rendimiento en dos sistemas de cosecha en palma de aceite *E. guineensis*: trabajo individual vs. cuadrillas de dos personas. El resultado indicó que el mayor rendimiento se obtuvo cuando se labora en cuadrillas de dos personas con 1,6 t RFF/jornal, en comparación al sistema individual con 1,5 t RFF/jornal. Sánchez *et al.* (2009) cotejaron tres sistemas mecanizados de alce de fruto, evidenciando que el rendimiento dependía de la cantidad de racimos disponibles en el campo. Finalmente, para la polinización asistida, Fontanilla *et al.* (2016) encontraron que los factores ambientales impactaban el rendimiento estándar de la actividad que oscilaba entre 7,8 y 11,4 ha/jornal.

En síntesis, las investigaciones adelantadas por Cenipalma indican que el rendimiento de las labores en palma de aceite depende de las condiciones de trabajo (calor, humedad) y del rédito del cultivo (expresado en toneladas de racimos de fruta fresca por hectárea). A continuación, se presentan los resultados de un estudio orientado a determinar los factores que deben considerarse para la estimación del rendimiento de la labor de polinización artificial, llevado a cabo en Palmas Monterrey S.A., localizada en el municipio de Puerto Wilches (Santander, Colombia). Esta plantación se caracteriza por haber adoptado de manera exitosa dicha tecnología.

## Metodología

La captura de datos se realizó durante dos semanas, a partir de la observación de la labor de polinización artificial con ANA mezcla sólida (ANA + talco) y entrevistas a los operarios de polinización y sus supervisores. Se tuvo en cuenta la frecuencia de entrada a los lotes y el número de aplicaciones por inflorescencia.

**Muestreo del trabajo.** Las actividades que se repiten con mayor regularidad durante el desarrollo de una jornada laboral de polinización artificial son: *desplazamiento en diagonal* (D), que corresponde al movimiento que se hace entre una palma y la siguiente; *inspección* (I), que es la búsqueda de inflorescencias que requieren ser tratadas con ANA; *apertura* (Ap), que consiste en la retracción de las brácteas pedunculares de la inflorescencia; *marcación* (M), de la base de la hoja de la inflorescencia tratada; *aplicación* (Apl), que corresponde a espolvorear el ANA sobre las inflorescencias; y finalmente *conteo* (C), que es el registro de la inflorescencia tratada.

Esta secuencia de operaciones se denominó ciclo básico. Se capturó información de tiempos para dichos ciclos realizados por ocho operarios de polinización elegidos al azar durante dos semanas, hasta completar el tamaño de muestra requerido (1.655). Para definir el tamaño se consideró un muestreo aleatorio simple (Martínez, 2012). La toma de los tiempos se llevó a cabo con un formulario digital que contenía los procesos del ciclo básico, y que fue diseñado en la aplicación móvil para la captura de datos CyberTracker (versión 3.496).

**Clasificación de los ciclos básicos.** Con el objetivo de establecer un sistema de registro de los datos que fuese práctico para su implementación en una plantación, y que permitiera entender la variabilidad de los tiempos, se propuso clasificar los ciclos básicos considerando dos factores: la cantidad de inflorescencias por palma y la apertura de brácteas (que solo se realiza en las inflorescencias de primera aplicación), generando así tres escenarios propuestos (Tabla 1).

En el primero, denominado *1 categoría*, no se discriminaron los ciclos básicos, es decir no se estableció ningún tipo de subdivisión.

El segundo, llamado *4 categorías*, estimó el número de inflorescencias a aplicar por palma, desde las que no tienen hasta aquellas con tres inflorescencias. No se consideraron más debido a que no se reportaron en el periodo de estudio.

Finalmente, el tercero o *10 categorías*, contempló el número de inflorescencias a aplicar por palma (cero a tres inflorescencias), y si estas requerían de apertura de brácteas.

**Estimación del rendimiento de la mano de obra.** Primero se clasificaron los ciclos básicos según las categorías propuestas para cada escenario (*1 categoría, 4 categorías, 10 categorías*). Para el estudio se utilizó la mediana como medida de tendencia central, debido a que los histogramas de distribución de los datos de tiempo de los ciclos básicos de la labor presentan sesgo a la derecha (Figura 1). Luego, para estimar la duración en segundos (s) de cada categoría en los tres escenarios de análisis, se realizó la sumatoria de las medianas de cada una de las actividades que componen el ciclo básico. Con esta información se valoró el rendimiento del operario por jornada (*desplazamiento entre palmas, inspección, apertura, aplicación y conteo*). El resultado se comparó con el rendimiento observado en campo (1,96 ha/jornal) para los 281 ciclos de la jornada de referencia.

**Tabla 1.** Clasificación de los ciclos básicos según los escenarios propuestos

1 categoría		4 categorías		10 categorías	
Categorías	Agrupación de ciclos básicos	Categorías	Agrupación de ciclos básicos de	Categorías	Agrupación de ciclos básicos de
1	Todos los ciclos	1.0	Palmas sin inflorescencias	1.0.0	Palmas sin inflorescencias y 0 aperturas
		1.1	Palmas con 1 inflorescencia	1.1.0	Palmas con 1 inflorescencia y 0 aperturas
				1.1.1	Palmas con 1 inflorescencia y 1 apertura
		1.2	Palmas con 2 inflorescencias	1.2.0	Palmas con 2 inflorescencias y 0 aperturas
				1.2.1	Palmas con 2 inflorescencias y 1 apertura
				1.2.2	Palmas con 2 inflorescencias y 2 aperturas
		1.3	Palmas con 3 inflorescencias	1.3.0	Palmas con 3 inflorescencias y 0 aperturas
				1.3.1	Palmas con 3 inflorescencias y 1 apertura
				1.3.2	Palmas con 3 inflorescencias y 2 aperturas
				1.3.3	Palmas con 3 inflorescencias y 3 aperturas

Nota. Nomenclatura de las categorías: en todos los escenarios el primer dígito representa cada palma; el segundo, el número de inflorescencias a aplicar con ANA; y el tercero, la cantidad de inflorescencias que requieren de apertura de brácteas.

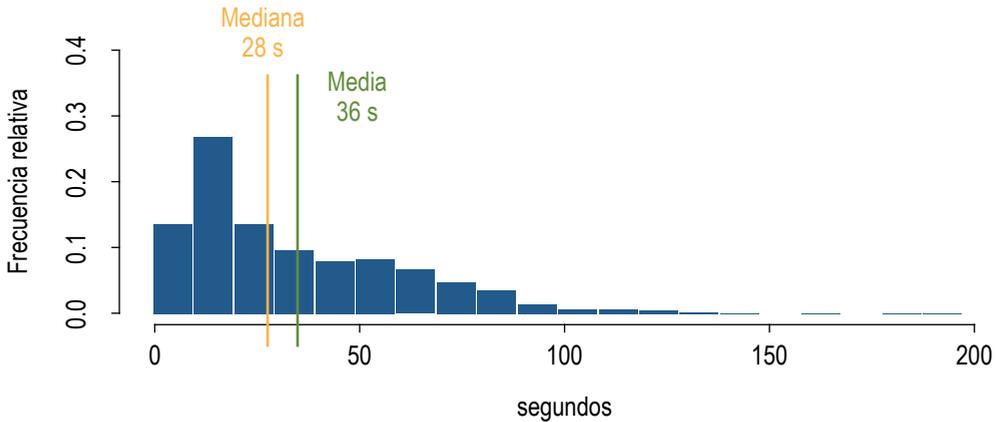


Figura 1. Histograma de los ciclos básicos muestreados (n = 1.666 )

**Estimación de costos.** Para hacerlo, se tuvo en cuenta la productividad y el peso medio del racimo reportado por la plantación en 2019 de los cultivares híbridos de siembra 2006, con una densidad de 143 palmas por hectárea. A partir de los datos de productividad y teniendo en cuenta que se realizan tres aplicaciones con ANA para obtener un racimo, se obtuvo un promedio de 97 inflorescencias tratadas por semana con ANA en polvo por hectárea (Tabla 2). Finalmente, con base en los costos por inflorescencia en cada escenario, el promedio de inflorescencias aplicadas con ANA por semana por hectárea y las 52 semanas del año, se estimó el costo total de la mano de obra por hectárea por año para cada escenario.

Tabla 2. Productividad reportada en el 2019 para la siembra 2006

Variable	Unidad	Cantidad
Producción	t RFF/ha al año	21
Peso medio de racimo	kg/racimo	12,5
N° racimos cosechados	racimos/ha	1.682
Aplicaciones por inflorescencia	Número de aplicaciones/ inflorescencia	3
Total de aplicaciones	Aplicaciones/ha	5.046
Promedio de aplicaciones	Inflorescencias/ha·semana	97

## Resultados

### Duración de los ciclos básicos

**1 categoría.** La mediana de los ciclos fue 49 s. La mayor proporción del tiempo se empleó en la apertura de brácteas con 32,7 % y en la inspección de inflorescencias con 24,5 %. La aplicación del ANA participó con el 20,4 % (Figura 2).

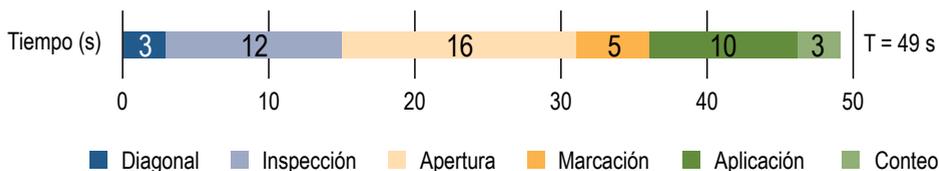


Figura 2. Tiempo estándar (s) de los elementos que componen el ciclo básico según 1 categoría

**4 categorías.** El tiempo que tomó realizar un ciclo básico osciló entre 11 s para palmas sin inflorescencias, hasta 82,5 s en palmas con tres (Figura 3). Este se incrementó entre tres y cuatro s por inflorescencia para la marcación, y entre siete y ocho s por inflorescencia para la aplicación. La inspección pasó de 8 s en palmas sin inflorescencias a 22 s en palmas con tres inflorescencias.

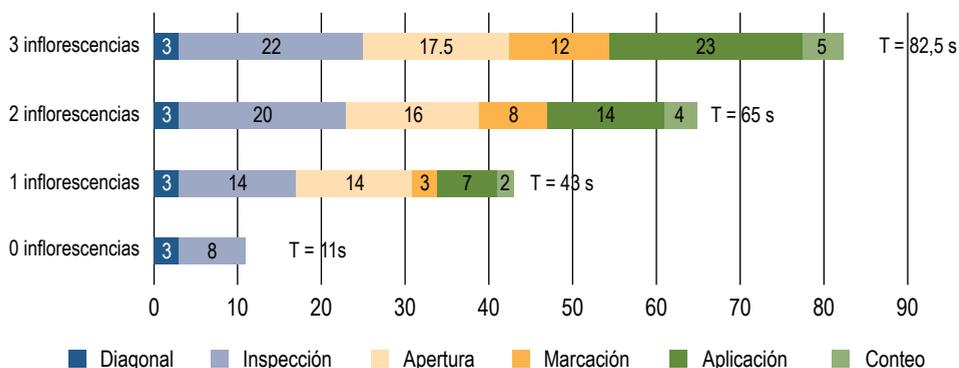


Figura 3. Tiempo estándar (s) de los elementos que componen el ciclo básico según 4 categorías

**10 categorías.** El tiempo que tomó realizar un ciclo básico osciló entre 11 s para palmas sin inflorescencias, hasta 94,5 s en palmas con tres, de las que dos se aplicaron por primera vez (Figura 3). De las 10 categorías posibles expuestas en la Tabla 1, en el periodo de estudio no se presentaron palmas de la categoría tres inflorescencias – tres aperturas (Figura 4).

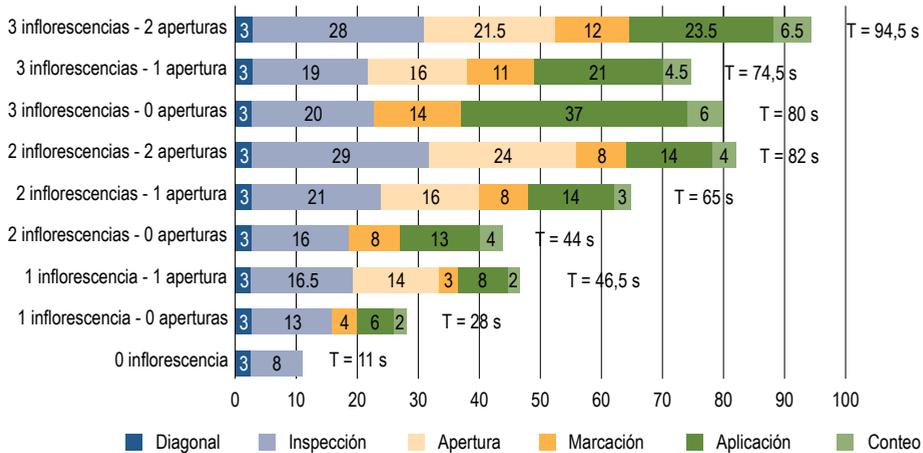


Figura 4. Tiempo estándar (s) de los elementos que componen el ciclo básico según 10 categorías

## Estimación del rendimiento de la jornada laboral según los escenarios propuestos

**1 categoría.** El rendimiento fue estimado a partir de los 49 s de duración de un ciclo básico (Figura 2). Teniendo en cuenta que una hectárea tiene 143 palmas, al operario de polinización le tomaría 1,95 horas (h) recorrerla (1 h con 58 min.) Basándonos en el tiempo neto de aplicación de 3 h con 25 min, el operario tendría un rendimiento presupuestado de 1,75 ha/jornal, es decir 250 palmas por jornal.

**4 categorías.** La mayor proporción de los ciclos estuvo en las categorías entre 0 y 2 inflorescencias, y solo el 3,9 % de los ciclos (seis palmas) presentaron tres inflorescencias (Tabla 3). Analizando los datos de esta manera, al operario de polinización le tomaría 1,71 h (1 h con 43 min) realizar la labor de polinización en una hectárea. De acuerdo con el tiempo neto de aplicación de 3 h con 25 min, el rendimiento sería de 1,99 ha/jornal, es decir 285 palmas/jornal (Tabla 4).

Tabla 3. Estimación de la cantidad de palmas por hectárea distribuidas en 4 categorías

Clasificación de las palmas (4 grupos)	Ciclos observados	Proporción	palmas/ha	palmas/ha (redondeado)
0 inflorescencias	89	31,7 %	45,3	45
1 inflorescencia	77	27,4 %	39,2	39
2 inflorescencias	104	37,0 %	52,9	53
3 inflorescencias	11	3,9 %	5,6	6
Total	281			143

**Tabla 4.** Estimación de tiempo por hectárea según 4 categorías

Tipo de palma	palmas/ha	Tiempo del ciclo (s)	Tiempo total (s)	Tiempo total (h)
0 inflorescencias	45	11	495	0,14
1 inflorescencia	39	43	1.677	0,47
2 inflorescencias	53	65	3.445	0,96
3 inflorescencias	6	82,5	495	0,14
Total	143		6.112	1,71

**10 categorías.** Se observó que, en una hectárea, seis palmas tuvieron tres inflorescencias y de estas, dos tenían dos inflorescencias para abrir y cuatro tenían una. 53 palmas por hectárea presentaron dos inflorescencias, y de estas 38 requerían apertura de brácteas de una inflorescencia (Tabla 5). En palmas con una inflorescencia por aplicar, 12 necesitaron apertura de brácteas. Con esta manera de analizar los datos, al operario de polinización le tomaría 1,63 h (1 h con 38 min). Recorrer una hectárea, y el rendimiento estimado es de 2,1 ha/jornal, lo que equivaldría a 300 palmas por jornal (Tabla 6).

**Tabla 5.** Estimación de la cantidad de palmas por hectárea distribuidas en 10 categorías

Clasificación de las palmas (10 categorías)	Ciclos observados	Proporción	palmas/ha	palmas/ha (redondeado)
0 inflorescencias	89	31.7 %	45,3	45
1 inflorescencia - 0 aperturas	53	18.9 %	27,0	27
1 inflorescencia - 1 apertura	24	8.5 %	12,2	12
2 inflorescencias - 0 aperturas	15	5.3 %	7,6	8
2 inflorescencias - 1 apertura	75	26.7 %	38,2	38
2 inflorescencias - 2 aperturas	14	5.0 %	7,2	7
3 inflorescencias - 1 apertura	7	2.5 %	3,6	4
3 inflorescencias - 2 aperturas	4	1.4 %	2,0	2
Total	281			143

Teniendo en cuenta que el rendimiento fue estimado partiendo de los 281 (1,96 ha) ciclos básicos observados en una jornada laboral, se concluye que, si se toma el escenario de 1 categoría, se podría subestimar el rendimiento de la jornada laboral

en 10,7 %. Por otro lado, el de *10 categorías* sobrestimaría la jornada laboral en 6,7 % y el de *4 categorías* presentaría un mejor ajuste con una sobrestima del 1,4 %.

**Tabla 6.** Estimación de tiempo por hectárea según las categorías de palmas establecidas

Clasificación de las palmas ( <i>10 categorías</i> )	palmas/ha	Tiempo del ciclo (s)	Tiempo total (s)	Tiempo total (h)
0 inflorescencias	45	14	630	0,18
1 inflorescencia - 0 aperturas	27	28	756	0,21
1 inflorescencia - 1 apertura	12	46,5	558	0,16
2 inflorescencias - 0 aperturas	8	44	352	0,10
2 inflorescencias - 1 apertura	38	65	2.470	0,69
2 inflorescencias - 2 aperturas	7	82	574	0,16
3 inflorescencias - 1 apertura	4	74,5	298	0,08
3 inflorescencias - 2 aperturas	2	94,50	189	0,05
Total	143		5.827	1,63

### Estimación de costos de la labor según los escenarios propuestos

A partir de los resultados anteriores se estimó la cantidad de inflorescencias por jornal que se aplica en cada escenario. Teniendo en cuenta un salario mínimo diario de \$ 52.500 (2019), se observó un costo por inflorescencia que oscila entre \$ 152 para el caso de *10 categorías*, y \$ 182 para el de *1 categoría* (Tabla 7).

Con respecto a la información de la plantación, es decir al “observado”, se encontró que considerar *1 categoría* sobrestima el costo en \$ 95.836/ha al año, en tanto que los análisis realizados con *10 categorías* y *4 categorías* subestimaron el valor por hectárea en \$ 55.484/ha y \$ 15.132/ha, respectivamente. Al llevar estas diferencias a la plantación completa (1.510,79 ha), en todos los escenarios se presentaron diferencias en la estimación de los costos de mano de obra. Sin embargo, esta diferencia fue menor en el de *4 categorías*, resultado que puede contribuir a tener una planeación presupuestal más ajustada en la plantación.

**Tabla 7.** Estimación de los costos de la mano de obra, de acuerdo con los rendimientos estimados para cada escenario

Variables	Unidades	Observado (281 ciclos)	Escenarios		
			1 categoría	4 categorías	10 categorías
Rendimientos	ha/jornal	1,97	1,75	1,99	2,10
	Inflorescencias/ jornal	320	285	324	342
Costos	Unitario (\$/inflorescencia)	\$ 163	\$ 182	\$ 160	\$ 152
	Mano de obra (\$/ha-año)	\$ 822.172	\$ 918.008	\$ 807.040	\$ 766.688
Diferencia en mano de obra	\$/ha-año	-	\$ 95.836	-\$ 15.132	-\$ 55.484
	Total plantación (\$/año)	-	\$ 152.454.950	-\$ 24.071.834	-\$ 88.263.392

## Conclusiones

Considerando que la labor de polinización artificial concentra gran cantidad de mano de obra, es deseable calcular el rendimiento de los operarios con precisión. Así, los resultados presentados en este capítulo indican que es necesario determinar el número de inflorescencias que tienen las palmas en el campo, para establecer estimaciones más exactas de la mano de obra que se requiere para la polinización. En este caso, considerar el número de inflorescencias de primera aplicación (es decir, aquellas que requieren apertura de brácteas), no permite ser más precisos en la estimación del rendimiento y hace más compleja la captura de datos y su análisis.

La cifra de inflorescencias en campo depende de la productividad de la plantación y de la estacionalidad de esa producción. En consecuencia, este resultado es muy relevante para aquellas zonas palmeras y cultivares que se caracterizan por tener picos de producción marcados.

Finalmente, la estimación exacta del rendimiento de la mano de obra permite realizar una proyección ajustada en términos presupuestales de la labor de polinización artificial con ANA en polvo.



## Segunda parte



Foto: Hernández, D. (2021).

Estudio de tiempos y  
movimientos para la polinización  
artificial en una plantación de la  
Zona Central colombiana



## Introducción

Cenipalma, a partir de 2013, incursionó en la inducción de partenocarpia en racimos de híbrido OxG por medio de aplicaciones de reguladores de crecimiento. Las auxinas presentaron la respuesta más promisoría. En efecto, en 2016 se reportó que por medio de aplicaciones exógenas de ácido naftalenacético (ANA) y 2,4-D, se formaban frutos partenocárpicos en racimos de palmas provenientes de cultivares híbridos OxG, obteniendo contenidos de aceite similares a los registrados en racimos con polinización asistida (Daza *et al.*, 2016). Por medio de pruebas controladas (aislando inflorescencias) y en campo (aplicación comercial), se determinó que la aplicación del ácido naftalenacético en una concentración de 1.200 ppm en medio líquido, durante la antesis y con refuerzos a los siete y 14 días después de esta, promovió el desarrollo y el llenado de frutos. A esta tecnología se le denominó polinización artificial (Romero, 2018), e impuso la necesidad de aplicar cada inflorescencia tres veces, con intervalos de una semana. Es decir, se encontraron tres veces más inflorescencias a polinizar por entrada al lote, en comparación con la polinización asistida en la que solo se trataban inflorescencias en antesis. Este cambio impactó el rendimiento del trabajador (Romero, 2018).

La polinización artificial fue adoptada de manera masiva por los cultivadores de palmas de híbrido OxG, como consecuencia del incremento en el potencial de aceite y de la reducción de racimos malogrados. Sin embargo, en lugar de aplicar el ANA en medio líquido como lo propuso Cenipalma, las plantaciones optaron por utilizarla en una mezcla en polvo. El argumento principal consistió en las dificultades que impone el transporte de agua requerida para el uso del ANA líquido.

Dado que la polinización artificial en el híbrido OxG es una labor relativamente reciente en el cultivo de palma de aceite, no se conoce con detalle el rendimiento de los operarios, ni la logística inherente para su implementación. Con el fin de contribuir a llenar el vacío en el conocimiento de la polinización artificial con ANA en polvo, se implementó un estudio de tiempos y movimientos cuyos resultados se presentan en este capítulo.

## Metodología

**Ubicación.** El estudio se llevó a cabo en la plantación Palmas Monterrey S.A., municipio de Puerto Wilches (Santander, Colombia) en palmas híbridas OxG (Coari x La Mé) de 13 años (2,5 m de altura en promedio). La temperatura media es de 27 °C,

humedad relativa media anual de 76 % y precipitación anual acumulada que oscila entre 2.500 y 2.800 mm.

*Descripción de herramientas e insumos.* Aunque cada plantación define los recursos para la polinización artificial según disponibilidad y criterio técnico, es importante describir insumos (mezcla ANA en polvo), equipos, herramientas y elementos de protección personal utilizados. La captura de esta información se realizó por medio de la observación de la labor durante un periodo de dos semanas y por entrevistas con los responsables de la polinización artificial.

**Elaboración del diagrama de operaciones.** Se realizó el reconocimiento de las actividades (elementos) desarrolladas durante una jornada laboral, mediante el seguimiento del trabajo en campo de cuatro operarios de polinización, y entrevistas con los supervisores de esta labor. A partir de la información recolectada, se elaboró el diagrama de procesos para la polinización artificial con ANA en polvo, utilizando las convenciones de la Asociación de Ingenieros Mecánicos de los Estados Unidos (ASME, por su sigla en inglés) (Sánchez *et al.*, 2010) (Tabla 8). Finalmente, se procedió a verificar que el diagrama de procesos se ajustara al día a día de la labor.

**Tabla 8.** Simbología utilizada para establecer el diagrama de operaciones

Símbolo	Proceso	Actividad de cultivo
	Operación	Cuando se produce o efectúa algo: para la palma de aceite puede ser acondicionar herramientas, cortar hojas y racimos, recoger fruto del suelo, aplicar fertilizantes, registrar palma enferma, registrar estructuras, erradicar palma, etc.
	Transporte	Cuando se cambia de lugar o se mueve: desplazamientos al lote, por las líneas de palma, a los puntos de acopio, a la planta de beneficio, a la siguiente palma, etc.
	Inspección	Cuando se verifica calidad o cantidad: inspección palma, madurez de los racimos, calidad de cosecha, etc.
	Demora	Cuando se interfiere o retrasa el paso siguiente: por falta de insumos (fertilizantes, glifosato, etc.), daños en la maquinaria, etc.
	Almacenamiento	Cuando se guarda o se protege: guardar herramientas de trabajo.
	Decisión	Cuando se tiene la opción de seguir realizando la actividad o se pasa a otra.

Fuente: simbología ASME adaptada por Sánchez *et al.* (2010)

## Estudio de tiempos

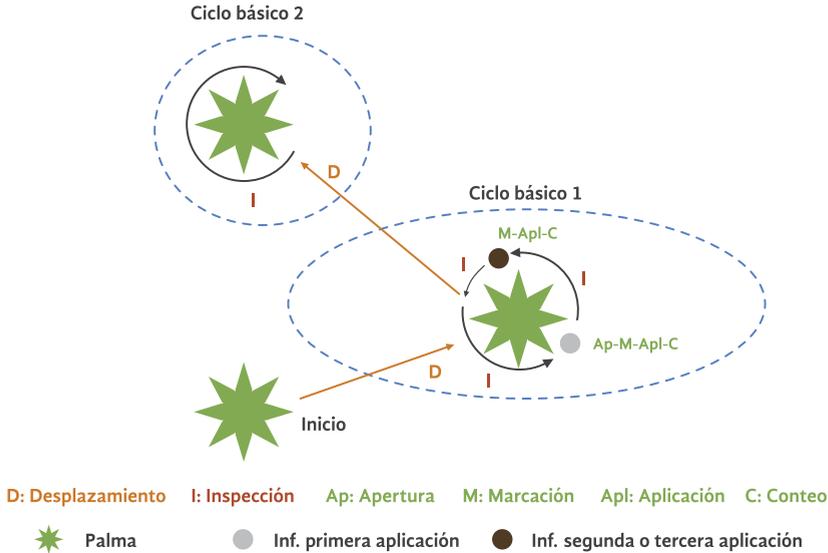
**Captura de datos.** De acuerdo con las operaciones establecidas mediante el diagrama de procesos, se procedió a la toma de tiempos. Para esto se utilizaron formularios digitales diseñados en la aplicación móvil para la captura de datos CyberTracker (versión 3.496). Por medio de esta aplicación, se registró el lote de aplicación y cada uno de los elementos que componen la jornada laboral, desde la recepción de la herramienta hasta su entrega al final del día. Dado que el sistema marca la hora, los minutos y segundos al almacenar cada actividad, se puede determinar su duración. Para el análisis de los datos se utilizó estadística descriptiva y el análisis se desarrolló por medio del *software* Microsoft Excel 365 (Professional Plus) y el paquete estadístico R (versión 3.5.3). En lo que concierne a las operaciones al interior del lote, como se mencionó en el capítulo anterior, la secuencia de actividades que se repite con mayor frecuencia a lo largo de la jornada se denominó “ciclo básico” de la labor de polinización artificial.

**Determinación del tamaño de la muestra.** Con el fin de establecer la cantidad de ciclos básicos a los que se les debía tomar el tiempo (muestreo del trabajo), se hizo seguimiento durante la jornada laboral a un operario de polinización. Con base en los datos colectados (281 ciclos básicos), se estimó que el tiempo promedio para realizar un ciclo básico es de 48,5 s y la varianza 906,01 s<sup>2</sup>. Con la ayuda de la Ecuación 1, que corresponde a un muestreo aleatorio simple (Martínez, 2012), un nivel de confianza del 95 % y un error relativo del 3 % (error absoluto = 1,45 s), se determinó un tamaño de 1.655 ciclos básicos. El muestreo se realizó a ocho operarios de polinización y la labor de cada uno fue registrada durante dos horas hasta completar el total de ciclos básicos requeridos.

$$n_0 = \frac{Z^2 * S^2}{E^2} \text{ (Ecuación 1)}$$

$Z$  = valor según tabla de distribución normal con un nivel de confianza del 95 %  
 $S^2$  = varianza muestral y  $E$  = error absoluto.

**Tiempos de aplicación.** Para el análisis de los datos se consideraron 4 categorías según el número de inflorescencias desde cero hasta tres por palma, que deben polinizarse con ANA en polvo por entrada.



**Figura 5.** Ejemplo de tipos de ciclos básicos. Ciclo 1: palma con dos inflorescencias por aplicar y una de ellas es de primera aplicación, y Ciclo 2: palma sin inflorescencia por aplicar

El primer ciclo básico inicia con el desplazamiento (D) del operario, desde la palma en la parte inferior llegando a la ubicada en el medio del diagrama. Allí empieza con la inspección (I) en búsqueda de inflorescencias. Inicialmente, encuentra una de primera aplicación y en esta procede a abrir brácteas (Ap), marca la hoja (M), aplica la mezcla de ANA en polvo (Apl) y la cuenta (C) en el collar “camándula”. Una vez finaliza, sigue con la inspección (I) para hallar más inflorescencias, encontrando otra de segunda o tercera aplicación (que no requiere apertura). La marca (M), aplica la mezcla con ANA en polvo (Ap) y una vez termina, la cuenta (C) en el collar “camándula”. Continúa con la revisión de la palma y al no encontrar más inflorescencias por aplicar, culmina el primer ciclo que presentó una palma con dos inflorescencias por aplicar.

El segundo ciclo básico inicia con el desplazamiento (D) hacia la palma ubicada en la parte superior del diagrama. Una vez llega, inicia la inspección (I) y al no encontrar inflorescencias (0 inflorescencias), da por finalizado el ciclo (Figura 5). Este recorrido continúa entre las palmas hasta acabar la jornada.

**Suplementos y elementos extraños.** Para determinar el rendimiento del operario se consideraron también los suplementos de tiempo. Estos reconocen tiempo extra por el tipo de trabajo, es decir: alimentación, hidratación, necesidades personales, concentración requerida, peso que carga, calor y humedad del ambiente. Asimismo, se tuvieron en cuenta los elementos extraños, que corresponden al tiempo de la jornada laboral que se desperdicia (demoras, reparaciones menores e interrupciones).

**Estimación de costos.** El valor de la polinización artificial se estimó por inflorescencia. Se emplearon precios de 2019 para estimar el costo de los insumos, de acuerdo con la dosis de aplicación que maneja la plantación. El costo correspondiente a la mano de obra se tomó a partir del valor pagado por la plantación por aplicar una inflorescencia en el 2019 (228 pesos/inflorescencia). No se incluyeron costos asociados a herramientas ni equipos.

## Resultados

### Insumos, herramientas y elementos de protección personal (EPP) utilizados en Palmas Monterrey S.A.

Durante el estudio de tiempos y movimientos se usó la mezcla de talco, ANA en polvo (pureza del 98 %) y polen. Por inflorescencia se aplicó como mínimo 4,1 g (según tamaño). Para facilitar la preparación se incorporaron los productos para 100 inflorescencias así: 376 g de talco, 24 g de ANA y 10 g de polen. La mezcla de 410 g se denominó dosis, y en una jornada laboral con baja densidad de inflorescencias femeninas en las palmas, se dieron cuatro dosis al operario de polinización. En épocas del año con alta densidad de inflorescencias se proporcionaron hasta seis dosis.

La herramienta principal de trabajo es el gancho-lanza. Es un tubo metálico de aluminio de 1,5 pulgadas de diámetro con una longitud de 2,3 metros, que tiene en su extremo superior una punta metálica curva hueca que permite desgarrar la bráctea peduncular y marcar la base de la hoja (Figura 6, elemento # 1). Esta punta también facilita la salida de la mezcla, ya que está conectada a una manguera que va en el interior del tubo del gancho. El otro extremo de la manguera se empalma a una bomba insufladora, con una capacidad para almacenar 160 g de mezcla del producto, para un total de 39 inflorescencias aplicadas por carga en promedio (4,1 g/inflorescencia). Naturalmente, el tamaño de la inflorescencia determina la necesidad de suministrar mayor cantidad (4,5 g/inflorescencia). Para fines prácticos en la plantación se asume que pueden aplicar entre 35 y 39 inflorescencias por carga de bomba.

La bomba insufladora se lleva en un “canguro” o riñonera (Figura 6, elemento # 3), que se sujeta a la altura de la cadera del operario de polinización mediante dos correas; una va a la pierna y la otra a la cintura. Para cargar la mezcla del producto y conservar la viabilidad del polen se utiliza un termo con capacidad de cuatro litros, que se entrega al inicio de la jornada laboral en el almacén (Figura 6, elemento # 4).

Finalmente, para realizar el registro de las inflorescencias aplicadas se emplea un collar (denominado “camándula”) con cuentas de tres colores para contabilizar cada inflorescencia, considerando si esta corresponde a primera, segunda o tercera aplicación (Figura 6, elemento #5).

En cuanto a piezas de protección personal, el operario de polinización utiliza un casco (tipo I - clase: E) para cuidarse de golpes laterales y frontales en la cabeza; un protector respiratorio (tipo: N95) con válvula unidireccional para preservar las vías respiratorias de irritaciones; guantes de carnaza completos para impedir el contacto directo del producto con la piel y protegerse de las espinas de la palma, y botas de caucho de caña alta para evitar la humedad y contusiones al desplazarse en el lote.

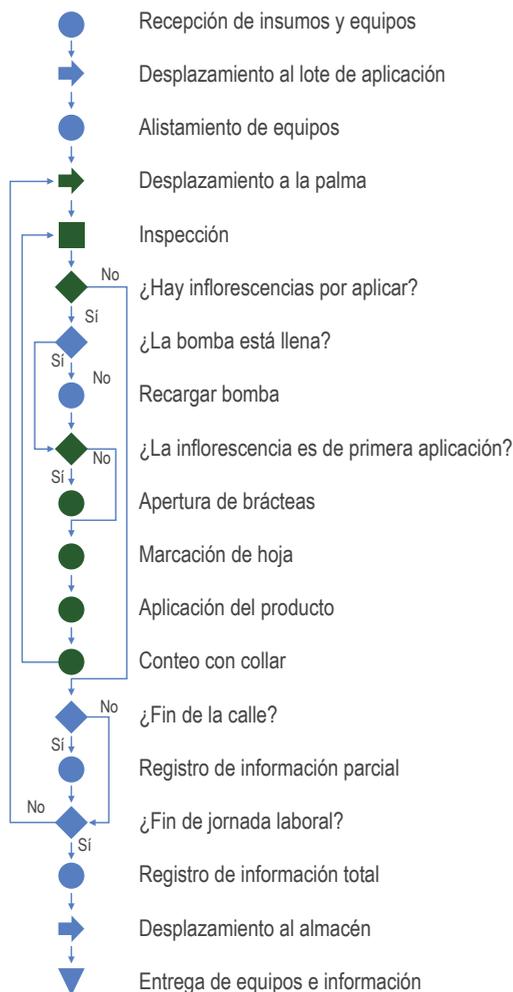


1. Gancho-lanza
2. Bomba insufladora
3. Canguro
4. Termo
5. Collar (camándula)
6. Casco (tipo I-clase E)
7. Protector respiratorio (tipo N95)
8. Guantes de carnaza

**Figura 6.** Herramientas y equipos utilizados para la labor de polinización artificial con ANA

## Diagrama de proceso de la labor

El diagrama de procesos (Figura 7) sintetiza los elementos (actividades) que componen la jornada laboral de polinización artificial con ANA en polvo. Los símbolos de las actividades con menor frecuencia en la jornada, como por ejemplo la recepción de insumos, alistamiento de equipos y desplazamiento al almacén, se muestran en azul. Entretanto, las tareas del ciclo básico (desplazamiento entre palmas o diagonal, inspección de la palma, aplicación del producto y conteo en collar), se resaltan en verde.



**Figura 7.** Diagrama de proceso de la labor de polinización artificial con ANA en polvo en la plantación Palmas Monterrey S.A.

**Jornada laboral:** inicia con la llegada de los operarios de polinización al almacén en las rutas de la empresa, donde se les hace la entrega de insumos y equipos, y se les asigna la tarea a desarrollar durante la jornada. Posteriormente, los operarios van en las rutas a los lotes o puntos de encuentro (ranchos) para realizar el alistamiento de los equipos. Luego desempeñan la labor en campo, desplazándose palma a palma, cumpliendo los ciclos básicos, recargando la bomba y registrando la información parcial. Esta última se hace al terminar cada calle recorrida, en un formato establecido. Al finalizar la tarea asignada, totalizan los registros parciales (registro de información total), esperan las rutas para dirigirse al almacén y entregar los datos y equipos a su supervisor.

En Palmas Monterrey la marcación de las inflorescencias de primera aplicación se hace con el día del mes, las de segunda aplicación con la letra “H” y las de tercera con el día y el mes.

## Tiempos y movimientos

### Jornada laboral

La jornada laboral de la polinización artificial con ANA en polvo inició a las 5:50 a.m., y en promedio tuvo una duración de 8 horas (h) con 31 minutos (min), incluyendo el almuerzo y los periodos de descanso (Figura 8). El tiempo efectivo, que se define como aquel en el que se realizaron las actividades necesarias para el desarrollo de la labor, correspondió al 68,2 % de la jornada (5 h con 49 min). Dentro de este, 4 h con 15 min fueron utilizadas para los trabajos propios de la polinización artificial (ciclos básicos), y 1 h con 34 min se destinaron a tareas como recepción, entrega y preparación de los equipos. Las restantes 2 h con 42 min, correspondieron a suplementos y elementos extraños (Figura 8).

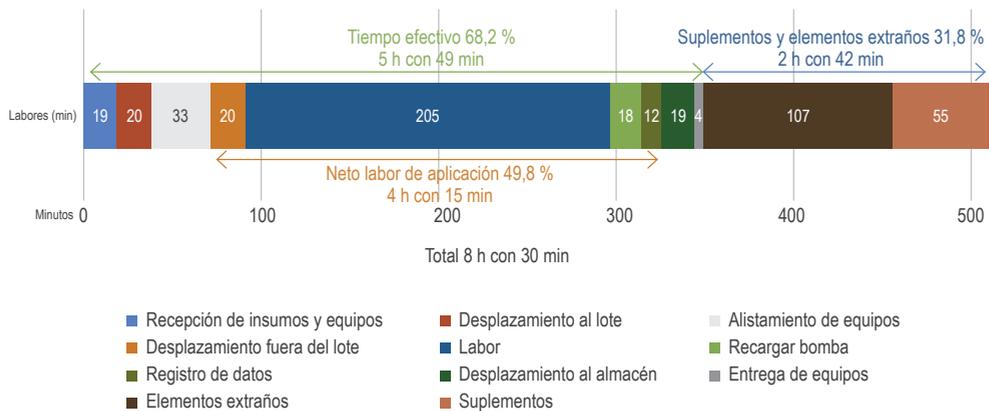


Figura 8. Distribución de la jornada laboral (minutos)

**Suplementos.** Los resultados arrojaron que 10,8 % del tiempo (55 min) fue utilizado para suplir sus necesidades básicas, como desayunar y almorzar (23 min), hidratarse (5 min), periodos de descanso (25 min) y necesidades personales (2 min). Esta proporción de tiempo a compensar por suplementos se encuentra en el rango de lo reportado por Sánchez *et al.* (2010) con 9 %, y por Fontanilla *et al.* (2016) con 15 % para la polinización asistida.

**Elementos extraños.** Representaron el 21 % (1 h con 47 min) del tiempo total de labor, evidenciando elementos como reajustes del equipo por averías o desconexión de alguna manguera (5 min), mover el termo con ANA de un lugar a otro (2 min), refuerzos de aplicación de alguna inflorescencia atrasada o quedada (2 min), conversaciones (2 min), espera del transporte para regresar al almacén (1 hora con 31 min) y otros elementos extraños (5 min). Lo anterior indica que la mayor oportunidad de mejora en los procesos de esta plantación correspondió a modificar la manera como se transportan los operarios en campo.

### Rendimiento de la polinización artificial en Palmas Monterrey S.A.

Se estimó que a un operario de polinización le toma 1,7 h aplicar una hectárea con ANA en polvo. Por lo tanto, si el tiempo neto de aplicación es de 3 h con 25 min, tendría un rendimiento de 1,99 ha/jornal (286 palmas/jornal). Este es inferior al reportado por Ruiz *et al.* (2015) y Fontanilla *et al.*, (2016), quienes estimaron entre siete y 12 ha/jornal en el proceso de polinización asistida. La disminución del rendimiento para la polinización artificial se explica por la frecuencia de ingresos al lote en la semana (una vez) y el número de aplicaciones por inflorescencia (tres), en comparación a lo realizado en la polinización asistida con tres ingresos por semana y dos aplicaciones por inflorescencia.

### Costos de la labor

En el costo por inflorescencia, la mano de obra representa un valor variable que está en función del rendimiento, mientras que el costo de los insumos es constante en la medida en que la dosis aplicada es la misma por inflorescencia. Se consideraron 1,99 ha/jornal y una densidad de 163 inflorescencias por hectárea. El costo por inflorescencia reportado en el presente estudio fue de \$ 306/aplicación (Tabla 9).

**Tabla 9.** Costo polinización artificial (\$/inflorescencia)

Rubro	Costo	
	Insumos	
ANA	\$ 8.998/ha	\$ 55/inflorescencia
Talco	\$ 676/ha	\$ 4/inflorescencia
Polen	\$ 3.159/ha	\$ 19/inflorescencia
Subtotal insumos (I)	\$ 12.833/ha	\$ 78/inflorescencia

Continúa

Rubro	Costo	
Mano de obra		
Subtotal mano de obra (II)	\$ 28.018/ha	\$ 228/inflorescencia
Total por inflorescencia (I)+(II)	\$ 40.851/ha	\$ 306/inflorescencia

## Conclusiones

Los estudios de tiempos y movimientos son de importancia para el sector palmero porque permiten estimar el rendimiento de los trabajadores y establecer un pago justo (para el operario y para la empresa). En este caso, el proceso evaluado fue la polinización artificial con ANA en polvo en palmas con coronas de racimos a más de 2,5 metros de altura. Se evidenció que la mayor limitante es la inspección de las inflorescencias, que se dificulta a medida que se incrementa la altura de la palma. Información relevante, considerando que en Colombia la mayoría de los cultivos OxG se encuentran en alturas menores.

En comparación con la polinización asistida con polen, el rendimiento de la labor de polinización artificial con ANA fue inferior. Esto obedece a que en este método se encuentran más inflorescencias para aplicar por entrada al lote, ya que se hacen tres aplicaciones por inflorescencia con intervalos de una semana.

A partir de los resultados presentados, se hacen necesarios estudios de tiempos y movimientos para otros cultivares híbridos OxG, involucrando diferentes edades de siembra y niveles de productividad. Esto permitirá entender a qué factores obedece la variabilidad en el rendimiento de la polinización artificial.

## Tercera parte



Foto: Ospitia, R. (2017).

## ¿ANA líquido o en polvo?



## Introducción

La polinización artificial con ANA de las inflorescencias de cultivares OxG se ha realizado a escala comercial en dos presentaciones: líquido (asperjado) o en polvo (espolvoreado). Cenipalma estudió la aplicación del ANA líquido, encontrando resultados promisorios para el negocio palmero. En primer lugar, incrementa la formación de frutos en el racimo (*fruit set*), llegando hasta el 95 %. Segundo, permite una ventana de tiempo más amplia que la polinización asistida para lograr la formación de frutos y una buena conformación del racimo (Daza *et al.*, 2016; Romero, 2018, Corredor & Bolívar, 2019). Tercero, se evidencian incrementos hasta del 15 % en el número de racimos cosechados porque reduce los malogrados (Daza *et al.*, 2016). Finalmente, ha impactado la producción de aceite por tonelada de racimos, con tasas de extracción que oscilan entre 25 % y 28 % (Romero, 2018).

Ante estos resultados, la adopción de la polinización artificial con ANA en plantaciones con siembras de cultivares OxG, no se hizo esperar, siendo la aplicación en polvo la seleccionada por las empresas. El argumento para no usar la presentación líquida fue la dificultad de manipular agua en campo.

Es escasa la literatura sobre esta nueva tecnología y poco se conoce sobre los procesos necesarios para llevar a cabo la operación, los rendimientos de la mano de obra y los costos asociados. Este capítulo presenta los resultados de un estudio de tiempos y movimientos, cuyo objetivo fue documentar el proceso de la polinización artificial con ANA en las dos presentaciones, en una plantación de la Zona Central. Las evaluaciones se realizaron en lotes de palma con el mismo cultivar y de la misma edad.

## Metodología

**Ubicación.** El estudio se desarrolló en la plantación Palmares del Cucú, ubicada en el municipio de San Pablo (Departamento de Bolívar, Colombia). Se evaluó el proceso de la polinización artificial con ANA en dos presentaciones: líquida y en polvo (Figura 9). Se analizaron cuatro lotes sembrados con cultivar Brasil x Djongo, con una densidad de siembra de 116 palmas/ha y siete años, cuyas inflorescencias se encuentran a alturas inferiores a los dos metros. En dos lotes que comprenden 19,5 ha se aplicó ANA líquido, mientras que en otros dos de 21,15 ha, se suministró el ANA en polvo.



**Figura 9.** Polinización artificial. a. ANA líquido (asperjado). b. ANA sólido (espolvoreado) Foto: Caicedo, A.

## Diagnóstico operativo

Con el objetivo de describir los procesos asociados a la polinización artificial (ANA líquido y en polvo), se acompañó a los operarios encargados de esta labor durante dos semanas, para sistematizar (registro y clasificación) las actividades ejecutadas en la jornada laboral. Los operarios contaban con experiencia en polinización de palma híbrida y su ritmo de trabajo se encontraba en el promedio, según concepto de los administradores de la plantación, lo que se corroboró con los reportes de rendimiento. La síntesis del diagnóstico operativo fue el diagrama de procesos, para cuya elaboración se utilizaron los símbolos de la ASME (Sánchez *et al.*, 2010).

## Registro de tiempos y movimientos

Los tiempos se registraron mediante CyberTracker (Rincón *et al.*, 2015). La aplicación se parametrizó para capturar variables de interés de cada proceso definido en el diagrama de operaciones: tarea, fecha, hora, lote, operario y elementos extraños (demoras y detenciones).

Para estimar el número de observaciones necesarias, se hizo un muestreo preliminar del tiempo utilizado por un operario para cumplir un ciclo básico. Como se mencionó en el capítulo anterior, este ciclo se define como el conjunto de procesos necesarios para aplicar el ANA a las inflorescencias de una palma que estén disponibles para ser tratadas en una jornada (desplazarse entre palmas, búsqueda de inflorescencias a polinizar, apertura de brácteas y aplicación). A partir de estos datos, se realizó una estimación de la varianza con el propósito de determinar el tamaño de la muestra para la polinización artificial de acuerdo con la presentación del ANA (Scheaffer, 2000). Los tiempos de cada una de las actividades del ciclo básico fueron analizados, empleando estadística descriptiva, y se consideró el número de inflorescencias por palma de acuerdo con los resultados del trabajo presentado en el primer capítulo de este boletín.

## Descripción de la jornada laboral

Para describir los elementos de la jornada laboral, es importante definir los conceptos de suplemento, tiempo extraño y tiempo efectivo.

Los suplementos reconocen tiempo al operario de acuerdo con el tipo de trabajo que realiza. Es decir, se consideran factores como el peso que carga, el calor al que se somete, la humedad del ambiente y la concentración requerida. Todos estos impactan en el rendimiento del operario a lo largo de la jornada laboral. También se tienen en cuenta otros suplementos como recibir instrucciones, alimentación, hidratación y necesidades personales (Sánchez *et al.*, 2010).

Por su parte, los tiempos extraños corresponden a actividades que no hacen parte de la labor de polinización, pero que ocurren y afectan el desempeño del operario (llamadas telefónicas, reparación de herramientas, conversaciones con compañeros, etc.) (Sánchez *et al.*, 2010).

Finalmente, el tiempo efectivo es la proporción de la jornada en la que el operario está dedicado a realizar la tarea asignada. En este caso, la polinización artificial incluye recepción y entrega de herramientas e insumos, desplazamiento hacia y desde el lote y el tiempo correspondiente a los ciclos básicos. A partir de los datos recopilados, se determina el rendimiento de la labor (Sánchez *et al.*, 2010).

## Evaluación económica

Los costos se estimaron considerando la mano de obra, insumos (precios y cantidades), equipos y herramientas involucradas en la polinización artificial. La mano de obra se tasó de acuerdo con las tarifas pagadas por la plantación, el rendimiento de los operarios (ha/jornal) y la productividad (t RFF/ha) de los lotes. La de los insumos se realizó a partir de la cantidad de producto utilizado en cada tipo de mezcla y su dosificación. Y el costo asociado a las herramientas se estimó de acuerdo con el precio de compra reportado por la plantación y su vida útil. Se calcularon los indicadores costo por inflorescencia y por hectárea al año de la labor de polinización artificial, para los dos métodos de aplicación, siguiendo el método propuesto por Mosquera *et al.* (2019).

## Resultados

### Caracterización de la labor

**Insumos:** la Tabla 10 presenta las proporciones de las mezclas a las que se les incorpora el ANA, y los insumos aplicados por inflorescencia, tal y como se utiliza en la plantación Palmares del Cucú.

**Tabla 10.** Insumos utilizados para la polinización artificial en Palmares del Cucú

ANA líquido			ANA en polvo			
Insumo	Cantidad/L de solución	Unidad	Insumo	Cantidad/ 3 g de mezcla	Proporción	Unidad
ANA	1,2	g	Talco	2,76	92 %	g
Etanol	25	mL	ANA	0,24	8 %	g
Tween 80	2	mL				
Coadyuvante	2,5	mL				
Mejorador de agua	0,5	g				

**Equipos:** en la Tabla 11 se muestran las herramientas y equipos utilizados para la polinización artificial, según la mezcla del ANA (en polvo y líquido). Es importante destacar que la aplicación en presentación líquida es realizada por dos operarios,

mientras que en polvo la ejecuta uno solo. Cada inflorescencia se aplica tres veces con intervalos de una semana. La primera se lleva a cabo en antesis, la segunda siete días después de antesis (dda) y la tercera 14 dda.

**Tabla 11.** Características de las herramientas en la aplicación de ANA líquido y en polvo

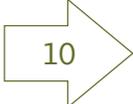
ANA líquido (dos operarios)		ANA en polvo
1 Aplicador	1 Identificador	1 Operario
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bomba de espalda con capacidad de 20 litros</li> <li>• Boquilla tipo cono hueco</li> <li>• Manguera</li> <li>• Extensión de salida (tubo de aluminio)</li> <li>• Dispositivo móvil (sistema operativo Android)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tubo de aluminio con punta de gancho</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Recipiente de PVC</li> <li>• Bomba insufladora</li> <li>• Piñonera para sujetar bomba insufladora</li> <li>• Tubo de aluminio con punta en forma de gancho</li> <li>• Dispositivo móvil (sistema operativo Android)</li> </ul>

## Diagramas de proceso para Palmares del Cucú

### Polinización artificial con ANA en polvo (espolvoreado)

La Tabla 12 presenta el diagrama de procesos de la labor de polinización artificial con ANA en polvo. En verde sólido se resaltan las actividades que conforman el ciclo básico de la operación, es decir, aquellas tareas que corresponden a la aplicación de ANA a las inflorescencias que así lo requieren en cada palma.

**Tabla 12.** Polinización artificial con ANA en polvo (espolvoreado), un operario

	Recepción de equipos e insumos	A primera hora, el operario se dirige al almacén para recoger la mezcla de ANA ya dosificada (recipiente), el tubo de aluminio con gancho para la apertura de brácteas, la bomba insufladora y el dispositivo móvil para el registro de inflorescencias aplicadas.
	Desplazamiento al lote	Se moviliza al lote asignado en una motocicleta con el tubo de aluminio al hombro.

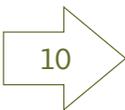
Continúa

	<p>Desplazamiento y búsqueda de inflorescencias</p>	<p>Se desplaza entre dos líneas de palma, siguiendo una trayectoria en zigzag. Durante este recorrido visita todas las palmas, girando en torno a ellas en búsqueda de inflorescencias receptivas (1ª aplicación), y aquellas marcadas en ciclos anteriores que requieren intervención (2ª y 3ª aplicación).</p>
	<p>Apertura de brácteas</p>	<p>Una vez identificada una inflorescencia en antesis (1ª aplicación), con el gancho retira las brácteas pedunculares, para exponer los botones florales.</p>
	<p>Aplicación de la mezcla</p>	<p>Bombea aire al recipiente que contiene la mezcla para generar presión y así impulsar el producto a lo largo de la manguera. Dirige la boquilla a diferentes puntos de la inflorescencia para garantizar la cobertura. Se aplican alrededor de 3 g de la mezcla por inflorescencia.</p>
	<p>Marcación</p>	<p>Con la punta del gancho con el que retira las brácteas, marca la hoja que sostiene la inflorescencia con el día del año (consecutivo). Si se trata de 2ª o 3ª aplicación, al lado del número traza una línea.</p>
	<p>Búsqueda de otra inflorescencia</p>	<p>El operario gira en torno a la palma en búsqueda de otra inflorescencia que requiera ser espolvoreada con la mezcla de ANA.</p>
	<p>¿Encuentra otra inflorescencia?</p>	<p>Sí: regresa a operación 20. No: sigue a operación 45.</p>
	<p>Registro en CyberTracker</p>	<p>Registra en la aplicación CyberTracker las inflorescencias tratadas en esa palma, cifra de inflorescencias receptivas o "pasadas", y número de aplicación (primera, segunda o tercera aplicación).</p>
	<p>¿Fin de la jornada?</p>	<p>Sí: pasa a operación 55. No: regresa a operación 15.</p>
	<p>Regreso desde el lote</p>	<p>Se desplaza desde el lote hacia el almacén en una motocicleta.</p>
	<p>Entrega de herramientas y materiales</p>	<p>En el almacén, el operario devuelve la bomba insufladora, el tubo de aluminio y el sobrante de la mezcla, y entrega el dispositivo móvil al supervisor para la revisión de la información registrada.</p>

## Polinización artificial con ANA líquido (asperjado)

La Tabla 13 describe la labor realizada por el identificador de inflorescencias en el proceso de polinización artificial con mezcla líquida, quien a su vez está encargado de retirar las brácteas pedunculares. Por su parte, la Tabla 14 presenta el diagrama de procesos correspondiente al operario encargado de asperjar la mezcla líquida de ANA sobre las inflorescencias.

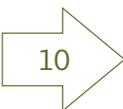
**Tabla 13.** Diagrama de procesos del operario que identifica inflorescencias receptivas

	Recepción de herramienta	A primera hora se dirige al almacén para la recepción del tubo de aluminio (incluye gancho).
	Desplazamiento al lote	Se desplaza al lote en una motocicleta con el tubo de aluminio al hombro.
	Desplazamiento en búsqueda de inflorescencias	Transita por las calles de cosecha siguiendo una trayectoria en zigzag, buscando las inflorescencias receptivas (1ª aplicación) y hojas marcadas de inflorescencias (2ª y 3ª aplicación).
	Apertura de brácteas	1ª aplicación: retira las brácteas pedunculares con ayuda del gancho del tubo de aluminio, para descubrir los botones florales. 2ª y 3ª aplicación: rasga con el objetivo de despejar y garantizar el contacto de la mezcla con las flores de la base de la inflorescencia.
	Marcación	Con la punta del gancho marca la hoja que sostiene la inflorescencia. 1ª aplicación: escribe número del día del año. 2ª y 3ª aplicación: traza una línea.
	Búsqueda de otra inflorescencia en la misma palma	El operario continúa la búsqueda de inflorescencias a tratar en la misma palma.
	¿Encuentra otra inflorescencia?	Sí: pasa a operación 20. No: pasa a operación 15.

Continúa

	¿Fin de la jornada?	Sí: pasa a operación 45.
	Regreso desde el lote	El trabajador se desplaza desde el lote hacia el almacén en motocicleta.
	Entrega de herramienta	En el almacén entrega el tubo de aluminio.

**Tabla 14.** Diagrama de procesos del operario encargado de asperjar inflorescencias

	Recepción de insumos y herramientas	A primera hora (6:00 – 6:14 a. m.) el trabajador recibe en recipientes de dos litros la mezcla líquida concentrada de ANA (sin diluir). Llena recipientes de 20 litros con agua para preparar la dilución. Un recipiente de mezcla concentrada requiere 3,5 envases de 20 litros con agua.
	Desplazamiento al lote	Se dirige al lote en una motocicleta con la bomba de espalda al hombro cargada de la mezcla ya diluida con agua (para poder iniciar su labor en cuanto llegue), y los recipientes con la mezcla concentrada. Trabajadores de otras labores que van por las mismas rutas, ayudan a transportar los recipientes con agua y los entregan al borde de los lotes en donde se realiza polinización artificial con ANA líquido.
	Desplazamiento y búsqueda de inflorescencias	Se desplaza por las calles de cosecha, con la bomba de espalda al hombro, en búsqueda de inflorescencias con hojas marcadas y cuyas brácteas hayan sido despejadas.
	Aplicación de la mezcla	El volumen asperjado es de 150 cc de ANA líquido por inflorescencia. La descarga está calibrada para que dure siete segundos. Se garantiza la cobertura del área de la inflorescencia.
	Búsqueda de otra inflorescencia	El operario busca en la misma palma otra inflorescencia que requiera ser polinizada.

Continúa

	¿Encuentra otra inflorescencia?	Sí: pasa a operación 20. No: pasa a operación 35.
	Registro de la información	Registra en el dispositivo móvil (CyberTracker) el número de inflorescencias aplicadas, estadios (receptiva o pasada) y el ciclo que corresponda.
	¿Se terminó el contenido de la bomba de espalda?	Sí: pasa a operación 45. No: pasa a operación 15.
	Desplazamiento de recarga	El operario de polinización se dirige hacia el punto de recarga (donde ha dejado los insumos y el agua).
	Carga bomba	En uno de los recipientes con agua se agrega la cantidad necesaria de la mezcla concentrada. Una vez se homogeniza el contenido, se vierte en la bomba de espalda hasta completar su capacidad.
	¿Fin de la jornada?	Sí: pasa a operación 60. No: pasa a operación 15.
	Regreso desde lote	El trabajador se desplaza desde el lote hacia el almacén en una motocicleta.
	Entrega de materiales	En el almacén entrega la bomba de espalda y el sobrante de la mezcla. Devuelve el dispositivo móvil al supervisor para la revisión de la información registrada.

## Rendimientos de la operación

Dado que el tiempo efectivo se calcula considerando el tiempo total y restándole el correspondiente a elementos extraños y suplementos, se describen los hallazgos en términos de estos últimos (elementos extraños y suplementos). Las detenciones en la operación se asociaron a fallas de la herramienta de trabajo (dispositivos móviles, equipos de aplicación y gancho) y conversaciones. Los elementos extraños en promedio totalizaron 23,2 min por jornada.

Entretanto, los suplementos registrados fueron consumo de alimentos (desayuno y almuerzo), hidratación y descansos, que sumaron 28 min por jornada. Dado que la recolección de los datos se llevó a cabo en jornadas completas, no es necesario hacer los cálculos relativos a suplementos por fatiga, peso y por calor, puesto que esos factores ya están contemplados.

Para una densidad de 133 inflorescencias/ha, la cuadrilla de dos operarios que aplicó el ANA líquido tuvo como promedio de tiempo efectivo 6,1 horas, en las que en promedio recorrieron 4,8 hectáreas (ha) y, a lo largo de la jornada, asperjaron 637 inflorescencias. Entretanto, con la misma densidad (133 inflorescencias/ha), el operario encargado de la polinización artificial con ANA en polvo presentó en promedio 6,3 horas de tiempo efectivo, durante las que logró recorrer en promedio 4,1 ha y espolvorear ANA a 541 inflorescencias por jornada.

Se observó que los dos operarios que asperjan ANA en medio líquido solo logran cubrir 17 % más área que el que espolvorea ANA. Ello impacta negativamente el costo por inflorescencia y se explica porque los operarios de la cuadrilla repiten operaciones tales como: llegar al lote, desplazarse por este, buscar inflorescencias y regresar desde el lote.

## Evaluación económica

En Palmares del Cucú el costo de la mano de obra de la polinización artificial varió con respecto al tipo de mezcla utilizada (en polvo o líquida). El valor para aplicar el ANA líquido (con dos operarios) fue 40,1 % superior al de la aplicación en polvo (con un operario). También fue más costosa la aplicación de ANA en medio líquido en lo que concierne a insumos (17,7 % más) y herramientas (20 % más) (Tabla 15).

**Tabla 15.** Indicadores de costo para la polinización artificial con ANA en Palmares del Cucú

Indicador	ANA líquido	ANA en polvo
\$ mano de obra/inflorescencia	155	110
\$ insumos/inflorescencia	73	62
\$ herramientas/inflorescencia	6	5
\$ total/inflorescencia (una aplicación)	234	177
\$ total/inflorescencia (tres aplicaciones)	702	531

Finalmente, en Palmares del Cucú se estimó que el costo anual de llevar a cabo la polinización artificial con ANA líquido fue de \$ 1'213.000/ha, 32 % más alto que cuando se utilizó el ANA en polvo que se tasó en \$ 920.000/ha (Tabla 15). Esa diferencia de \$ 293.000/ha al año puede llevar a concluir que se recomienda el ANA en polvo. Sin embargo, la evidencia en Palmares del Cucú apunta a que el peso medio de los racimos (PMR) a los que se les aplicó el ANA líquido fue de 16,6 kg, mientras que cuando se utilizó el ANA en polvo fue de 13,9 kg (Cenipalma, 2020). Esos 2,7 kg de diferencia en el PMR representan más de cuatro toneladas de fruto por hectárea en un año (asumiendo 1.500 racimos/ha), que no solo compensarían el “costo extra” de utilizar el ANA líquido, sino que dejarían un mayor rédito económico. Finalmente, el contenido de aceite a racimo (kg de aceite/racimo) es resultado de obtener racimos de mayor tamaño, inclusive si el potencial (g/g) de aceite fuese igual.

## Conclusiones

Esta investigación documentó mediante métodos propios de los estudios de tiempos y movimientos, los procesos de aplicación de ANA en polvo y ANA líquido (asperjado) en una plantación de la Zona Central, en lotes de palmas del mismo cruzamiento (Brasil x Djongo) e igual edad. Los resultados brindan información útil acerca de la logística necesaria para implementar el uso de ambas presentaciones del ANA.

El rendimiento de un trabajador utilizando ANA en presentación sólida en términos de área, fue inferior tan solo en 17 %, al de dos trabajadores aplicando ANA líquido. Esto se explica porque los dos trabajadores deben atender las mismas palmas, y los subprocesos como el de desplazarse al interior de los lotes y alrededor de las palmas se repiten en sus flujos de proceso.

Lo anterior tiene repercusiones sobre el costo anual de la polinización artificial con ANA en mezcla líquida. En efecto, esta es 24,3 % más cara que la realizada con ANA en polvo (diferencia de \$ 293.000/ha al año). Sin embargo, el peso medio de los racimos asperjados (ANA en mezcla líquida) fue 2,7 kg superior (19,4 % más pesados) al de los racimos espolvoreados (ANA en polvo). La diferencia es suficiente para favorecer el uso de ANA líquido, desde el punto de vista de la rentabilidad del negocio.

Estos resultados dan cabida a nuevas investigaciones, como considerar el efecto sobre llenado y peso de racimos de una y otra presentación del ANA. También se debe responder a la pregunta de si las eficiencias varían y en qué medida lo hacen, si la altura de los racimos es mayor, y si el comportamiento es similar en otros cultivares diferentes al estudiado.



## Cuarta parte



Foto: Caicedo, A. (2018).

Validación a escala comercial del punto óptimo de cosecha para el cultivar híbrido Cereté x Deli



## Introducción

Contrario a lo que ocurre con los cultivares *E. guineensis* para los que el color representa claramente el estado de madurez del racimo, y facilita reconocer el momento ideal para el corte durante la cosecha, en los cultivares OxG no solo es difícil percibir la diferencia de color en los racimos que están próximos al estado de madurez, sino que cada cruzamiento tiene características distintas (Rincón *et al.*, 2013; Amado *et al.*, 2017; Millán *et al.*, 2017). Con el fin de dar soluciones a esta situación, el Programa de Biología y Mejoramiento de Cenipalma realizó estudios sobre las características de maduración de los racimos de estos cultivares, que se estandarizaron con base en la escala BBCH (Forero *et al.*, 2012). Los resultados arrojaron que el punto óptimo de cosecha (POC) para los cruzamientos híbridos OxG ocurre a partir del estadio 807 en el que se alcanza el mayor peso medio de racimo y el mayor potencial de aceite.

Específicamente, para el cruzamiento Cereté x Deli indicaron que el estadio 807 ocurre alrededor de 174 días después de la polinización. En ese momento, el racimo tiene un desprendimiento de frutos que oscila entre 10 y 54, y alcanza un contenido potencial de aceite de 23,8 % (Caicedo *et al.*, 2018). Este resultado coincide con el reportado por Preciado *et al.* (2011), señalando que la mayor acumulación de aceite se da entre 170 y 180 días después de la polinización.

Una vez se inició con la aplicación del ANA en polvo para el cultivar Cereté x Deli, fue evidente la necesidad de llevar a cabo un trabajo de investigación para validar, a escala comercial, el efecto sobre la TEA de implementar el punto óptimo de cosecha y la polinización artificial en este.

## Metodología

**Ubicación.** El trabajo de investigación se llevó a cabo en la Estación Agropecuaria Experimental El Mira de Agrosavia, localizada en el municipio de San Andrés de Tumaco, Nariño. Allí predominan las condiciones de bosque húmedo tropical, con un promedio de precipitación anual de 3.000 mm, 25,5 °C de temperatura media, humedad relativa promedio del 88 % y 1.008 horas de brillo solar anual. La Estación cuenta con 100 ha sembradas con cultivares Cereté x Deli y Cereté x Yangambi, que ocupan el 70 % y 30 % del área total, respectivamente.

Se evaluó el estado de madurez de los racimos de 10 o más frutos desprendidos, que correspondía al criterio impartido por la plantación a los trabajadores antes de la im-

plementación del POC. Posteriormente, se analizó el estado de madurez de los racimos cortados según el POC definido para el cultivar Cereté x Deli. Con el fin de no entorpecer la logística de la plantación, se definió mantener el ciclo de corte en 21 días.

## Fases de la investigación

**Fase 1. Línea base.** Se realizó con racimos que en su estado de inflorescencia fueron polinizados de manera asistida. Estos se cortaron según el criterio de 10 o más frutos sueltos, de acuerdo con lo establecido por Agrosavia. Las evaluaciones de estado de madurez se hicieron en el lote y se examinaron los racimos cosechados por un cortador de fruta hasta completar una muestra de 180 racimos. Características como el desprendimiento natural de los frutos, porcentaje de cuarteamiento y opacidad de los frutos, fueron valorados según el estadio fenológico.

Posteriormente, los racimos de todo el lote se llevaron a la planta de beneficio de la empresa Palmeiras Colombia S.A. En la tolva de esta, se realizó la calificación de la conformación de los racimos utilizando la escala propuesta por el Comité de Plantas de Beneficio de la Zona Suroccidental (Figura 10) (García *et al.*, 2017). Finalmente, los racimos se procesaron en un bache, a partir del cual se logró determinar la TEA.

# Identifique los criterios de calidad en tolva para racimos de fruto de palma de aceite en cultivares híbridos O×G



Desarrollado por: Ingrid L. Cortés Barreto, Sílvia L. Cala Amaya, y Jesús A. García Núñez, y el Comité de Plantas de Beneficio de la Zona Suroccidental

Figura 10. Escala de calificación en tolva de la conformación del racimo

**Fase 2. Polinización asistida e implementación del POC de Cenipalma.** Los racimos evaluados en esta fase de la investigación habían recibido polinización asistida. Se modificó el criterio de corte de racimos según el POC propuesto por Cenipalma para Cereté x Deli. Esto se logró mediante instrucción al personal de cosecha para que lo implementara, para lo cual se marcó la base de las hojas de los racimos a cosechar. Se acompañó a los trabajadores hasta que se apropiaron de los criterios que incluían: más de 25 frutos sueltos, opacidad de los frutos y cuarteamiento de frutos superior al 5 %. Con el cumplimiento de dos de los tres criterios, se procedió a la marcación del racimo para posteriormente realizar el corte. En lo que concierne a las evaluaciones de los racimos en campo y su procesamiento en planta de beneficio para determinar el contenido de aceite, se siguió la misma metodología descrita en la Fase 1.

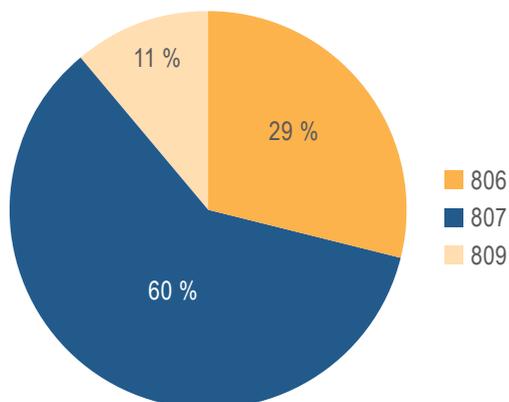
**Fase 3. Polinización artificial y punto óptimo de cosecha.** Se cosecharon racimos polinizados artificialmente con ANA en polvo en la antesis, siete días después de la antesis (dda) y 14 dda. Al igual que en la Fase 2, se implementó el corte de racimos siguiendo los criterios del POC para Cereté x Deli. En lo que concierne a la evaluación de la Fase 3, se realizó un muestreo sistemático que consistió en examinar un racimo cada cinco cosechados por el cortador. La frecuencia se definió considerando el número de racimos cosechados en el ciclo de corte anterior sobre el tamaño de la muestra. Las estimaciones de contenido de aceite en planta de beneficio se llevaron a cabo de la manera descrita en la Fase 1.

## Resultados

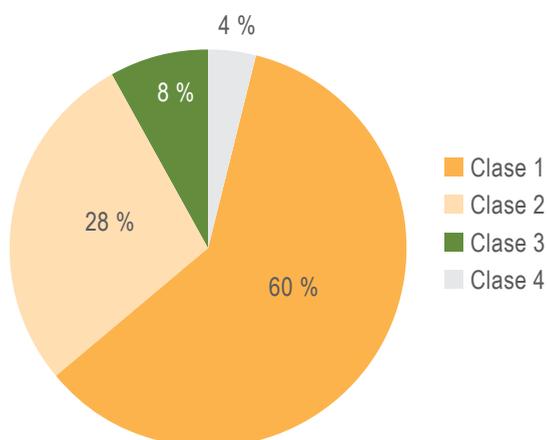
### Fase 1. Línea base

Al categorizar el estadio fenológico de los racimos cosechados bajo el criterio de cosecha de 10 frutos sueltos, se encontró que el 29,3 % correspondían a estadios inmaduros 805 y 806 (Figura 11a). Caicedo *et al.* (2018) determinaron que el potencial de aceite de los estadios inmaduros es menor al de los racimos en POC entre 45 % y 65 %. De otra parte, la calificación en tolva indicó que el 88 % de los racimos presentaron una buena conformación, con 60 % en Clase I y 28 % en Clase II (con más del 70 % de frutos formados), lo que evidencia que el proceso de polinización asistida fue adecuado (Figura 11b). En lo que concierne a la TEA, se obtuvo 17,28 %. Este resultado coincidió con el reportado por Ceballos *et al.* (2017) quienes alcanzaron una TEA del 16,8 %.

a)



b)



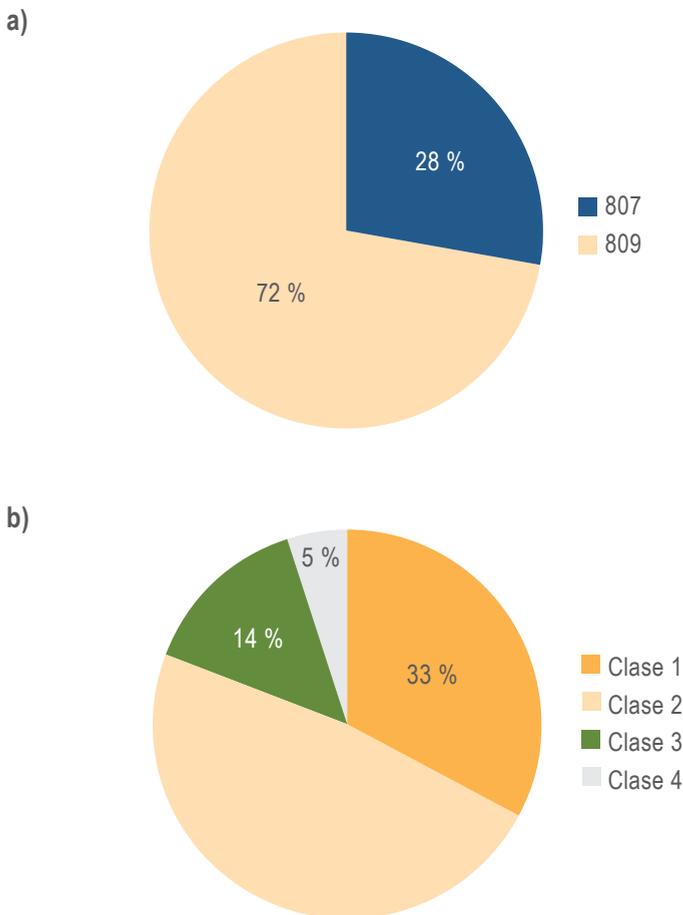
**Figura 11.** a) Categorización de estadios fenológicos en racimos cosechados con criterio de cosecha plantación  
b) Conformación de racimos

## Fase 2. Polinización asistida y punto óptimo de cosecha

Una vez implementado el criterio de cosecha para el corte de racimos recomendado por Cenipalma (estadios 807 y 809), se encontró que todos se cosecharon en punto óptimo. El 72 % estaba en el estadio 809 y el 28 % en el 807 (Figura 12a). El incremento en la proporción en el estadio 809 fue consecuencia de la duración del ciclo de cosecha que no se modificó (21 días), dejando racimos para el siguiente ciclo por presentar un desprendimiento menor a 25 frutos, pero que después de tres semanas se sobremaduraron. Este resultado indica que, para evitar la pérdida de aceite en frutos

sueltos, es necesario ajustar los ciclos de cosecha, lo cual estuvo fuera del alcance de esta investigación, pero que debe incorporarse en futuros estudios o en la práctica.

La evaluación de los racimos en la tolva de la planta beneficio arrojó que el 81 % correspondieron a las clases 1 y 2, aunque ciertamente disminuyó la participación de los de Clase 1 (Figura 12b). En lo que concierne a la TEA para la Fase 2, se notó un incremento de 2,95 % con respecto al de la Fase 1, pasando del 17,28 % al 20,23 %, incremento que se puede atribuir exclusivamente al cambio en el criterio de cosecha. Este resultado reafirma lo reportado por Romero (2018), en el sentido de que las plantaciones comerciales de Colombia que han establecido los criterios de POC han evidenciado incremento en la TEA.

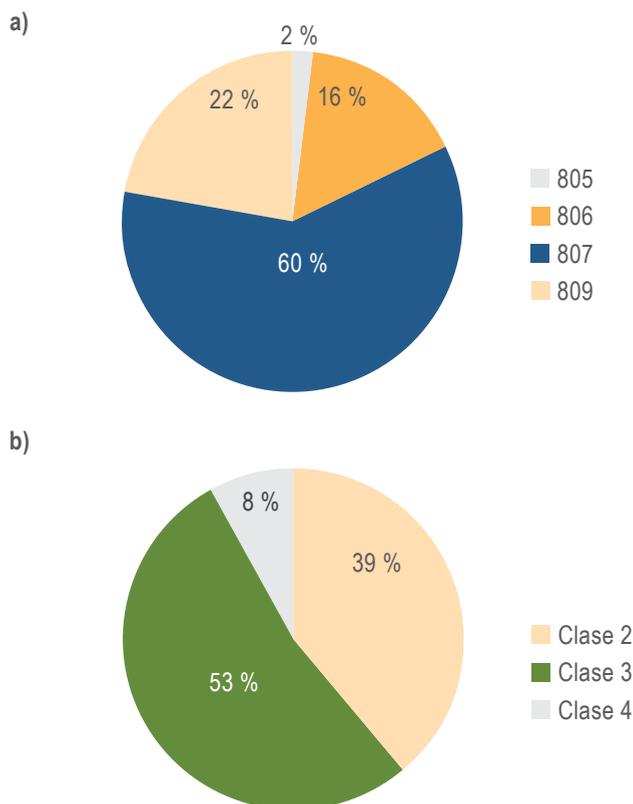


**Figura 12.** a) Categorización de estadios fenológicos en racimos cosechados con criterio de cosecha desarrollado por Cenipalma b) Conformación de racimos

### Fase 3. Polinización artificial y punto óptimo de cosecha

En la Fase 3 de la implementación de las tecnologías, los racimos cosechados fueron polinizados con ANA y se mantuvo el POC como criterio de corte. En las evaluaciones de campo se encontró que el 82 % se cosecharon en estadios óptimos de madurez (807 y 809) y el 18 % en estados inmaduros (Figura 13a). Esta situación se atribuye a lo manifestado por el personal de cosecha, quienes aseguraron que los racimos polinizados con ANA no desprenden el fruto de la misma manera que aquellos tratados con polinización asistida (polen). Esta afirmación abre un tema de investigación que amerita ser abordado.

En la evaluación de los racimos en tolva fue evidente la disminución de racimos Clase 1 (Figura 13b), lo que se explica por la curva de aprendizaje de este método de polinización. De hecho, cuando se realiza polinización artificial con ANA, si no hay contacto con la flor, no hay formación de fruto (Romero, 2018).



**Figura 13.** a) Categorización de estadios fenológicos en racimos polinizados con ANA y cosechados con criterio de cosecha desarrollado por Cenipalma b) Conformación de racimos

La TEA para el primer bache de racimos de la Fase 3 fue de 26,2 %, registrando un incremento de seis puntos porcentuales con respecto a la Fase 2 (20,2 %). Esta diferencia se atribuyó a la tecnología de polinización artificial ANA más el punto óptimo de cosecha (POC). Sin embargo, en evaluaciones subsecuentes, no se ha logrado superar 22 % en la TEA de racimos Cereté x Deli y Cereté x Yangambi (con polinización artificial + POC). En otras palabras, ha mejorado sustancialmente la posición de quienes sembraron cultivares Cereté x Deli y Cereté x Yangambi, pero no se ha estabilizado una TEA que compita con la de otros cultivares OxG. Romero *et al.* (2018) y Daza *et al.* (2016) habían reportado potencial de aceite superior al 28 % para racimos de cruzamientos híbridos OxG (Coari x La Mé) polinizados con ANA y cosechados en POC.

## Conclusiones

Los resultados presentados corresponden a una investigación realizada a escala comercial y las evaluaciones de contenido de aceite a TEA industrial y no a análisis de racimo en laboratorio. Así mismo, se destaca la importancia del corte de racimos en POC. No hacerlo, lleva a perder el esfuerzo de las etapas previas del proceso productivo (establecimiento, nutrición, manejo sanitario, polinización y mantenimiento del cultivo).

El presente trabajo permitió validar los resultados del Programa de Biología de Cenipalma, en lo que concierne a determinar el POC para el cruzamiento Cereté x Deli, y resaltar la importancia de realizar la cosecha de los racimos en su punto óptimo de maduración, ya que esto impacta positivamente en la TEA.

Se debe tener en cuenta que el POC está dado por más de un criterio, como son el desprendimiento, el cuarteamiento y la opacidad o falta de brillo. Al menos dos de estos tres deben cumplirse para que el cosechero proceda a cortar. Además, el punto óptimo de cosecha es único para cada cultivar OxG y no deben usarse indistintamente entre ellos. Es decir, es necesario que para cada uno se lleve a cabo este mismo ejercicio de validación.

Finalmente, los resultados son importantes para los palmicultores de pequeña escala de la Zona Suroccidental, quienes sembraron en mayor proporción el cultivar Cereté x Deli, y tenían dificultades para que sus racimos fueran aceptados en las plantas de beneficio debido a la TEA cercana a 10 % cuando no se polinizaba. Al incorporar polinización artificial y POC, resurge el interés de las plantas de beneficio por procesar este cruzamiento y, en consecuencia, restaura la viabilidad del negocio para esos pequeños productores que ya lo tienen sembrado.

## Quinta parte



Foto: Rojas, L. (2019).

Costos de producción en cultivos  
sembrados con cultivares  
híbridos OxG



## Introducción

Este estudio estimó los costos económicos de producir RFF a partir de cultivares OxG en Colombia. No consideró rubros asociados al pago de impuestos o tasas, y tampoco pagos por servicio de deudas en las que hubiesen podido incurrir los productores con el fin de adelantar sus inversiones. Se contemplaron costos fijos y variables directamente relacionados con la actividad productiva durante el 2019, de acuerdo con la metodología propuesta por Mosquera *et al.* (2014).

Se aclara que no se trata de una muestra estadísticamente representativa de los costos de producción en Colombia, porque la participación de las empresas fue voluntaria. Intervinieron siete plantaciones de las cuatro zonas palmeras, que corresponden a 12.985 ha (18 %) de un total de 70.000 ha sembradas a nivel nacional con cultivares híbridos interespecíficos OxG en 2019. Estas se reconocen en sus subzonas por haber implementado mejores prácticas de manejo de sus cultivos híbridos, lo que implica que la información aquí contenida se constituye en referente para los palmicultores o para potenciales inversionistas que quieran tener un negocio sostenible.

A continuación, se presentan los resultados de un estudio de costos, cuyo objetivo era determinar el valor por tonelada de racimos de fruta fresca para cultivares OxG.

## Metodología

El estudio de costos de producción de la agroindustria de la palma de aceite en Colombia estimó los costos unitarios en los que incurren las empresas para la producción de una tonelada de racimos de fruta fresca (t RFF). Este ejercicio calculó los costos en el largo plazo, es decir, consideró un periodo de 30 años que corresponde al ciclo de vida del cultivo, debido a que tiene diferentes etapas (improductiva, en desarrollo y adulta). La edad de las siembras fue una variable que se incluyó en el análisis de los costos de producción (Mosquera *et al.*, 2015).

El método que se empleó para la recolección de información fue a través de una encuesta que indagaba por las labores del cultivo. Para cada una se registraron datos acerca de la frecuencia, rendimiento e insumos requeridos para su ejecución. Asimismo, se consideró el valor de herramientas y maquinaria en 2019 y su vida útil.

Las encuestas fueron diligenciadas por los responsables de administrar los procesos del cultivo y los encargados de la contabilidad. Los resultados se validaron con el personal de cada empresa y, de ser necesario, se realizaron ajustes.

**Productividad.** El rendimiento a lo largo de un proyecto productivo en palma de aceite se estimó a partir de los datos que proveen los responsables del cultivo, en términos de tonelada de RFF por hectárea, desde el momento de la siembra de las palmas en el campo hasta que llegaran a su etapa de madurez. Los valores corresponden a las siembras que cada encuestado reportó en 2019 en su plantación y, a partir de ello, se calculó la curva de productividad para cada empresa en ese año (Mosquera *et al.*, 2015). Posteriormente, se ponderaron los datos de productividad por el área de cada empresa, para obtener el resultado por zona palmera y el nacional.

**Estimación de costos de establecimiento.** Son los gastos en los que incurrió el inversionista para sembrar la palma. Se contabilizó el valor de la eliminación de las palmas de la generación anterior (si se requería), y los gastos de preparar física y químicamente el suelo para que se constituya en el sustrato ideal para el desarrollo de las plantas, incluyendo la siembra de coberturas. Esta etapa también incorporó el diseño y montaje de la infraestructura de producción como vías, alcantarillas, puentes, canales de drenaje y sistema de riego. Finalmente se adicionaron los costos atinentes al material de siembra, es decir del vivero o, si es del caso, la compra de plántulas o plantas. Estos se llevaron a hectárea y a partir de la sumatoria de cada una de estas actividades se estimó el costo de establecimiento (Mosquera *et al.*, 2015). Para proceder a tener un valor de zona y nacional, se ponderaron los datos por el área de las empresas participantes en el estudio de costos de 2019.

**Estimación de costos de producción según etapa del cultivo.** Sintetiza los rubros en los que se incurrió para sostener una plantación. Es decir, mantenimiento del cultivo (podas, control de malezas), sanidad, nutrición, polinización (si es del caso), y cuidado de la infraestructura de la plantación (canales, vías) y de los animales que laboran en la misma (búfalos, mulas, caballos, bueyes, entre otros). Asimismo, estos valores incluyeron los costos de cosecha y transporte a la planta de beneficio. Los de planeación y supervisión de labores correspondieron a los pagos al personal que se encargó de la estrategia de las plantaciones y del seguimiento de labores, que se cuantificó como el 8 % de los costos variables del cultivo. La asistencia técnica se tasó a partir del pago por tonelada que recibió el personal encargado de realizar esta labor en las plantaciones propias o de proveedores de fruta, según fue el caso. Finalmente, el costo de la tierra se cuantificó a partir del valor de arrendar una hectárea para otras actividades económicas (ej: cultivos semestrales o ganadería), en el área de influencia de la empresa encuestada (Mosquera *et al.*, 2015).

Todos esos valores fueron llevados a costo por hectárea y por año. Para cada empresa se recolectaron los de cada año, desde el primero hasta el último de la etapa adulta (en el que se procede a la renovación). Los de zona resultaron de ponderar

los costos por hectárea, de acuerdo con el área de las plantaciones participantes. Con el fin de simplificar la entrega de la información, los costos de las etapas de palma improductiva (años uno, dos y tres) y de palma en desarrollo (años cuatro, cinco y seis), se obtuvieron de promediar los de los tres años. En el caso de la palma adulta correspondió al promedio de los costos de años siete a 30.

### **Estimación del costo unitario (t RFF)**

El costo de una tonelada de fruta en 2019 fue el resultado entre la sumatoria de los costos por hectárea, desde el establecimiento hasta el año 30 (\$/ha), y la sumatoria de las toneladas que se producen en una hectárea de palma (t RFF/ha). Esto arrojó el total en términos de pesos por tonelada de fruta (\$/t RFF) (Mosquera *et al.*, 2015). Al igual que para los indicadores anteriores, los resultados de cada empresa se ponderaron según su área, para obtener los indicadores a nivel de zona y nacional para el 2019.

## **Resultados**

**Productividad del híbrido OxG.** La Figura 14 presenta las cifras de productividad a lo largo de los primeros años del cultivo. Llama la atención que en el caso del híbrido OxG, se reportó que, en la mayoría de las empresas, la producción de racimos inició al tercer año de siembra, es decir, unos meses después que los cultivares *E. guineensis*. Sin embargo, el crecimiento de la producción de RFF por ha durante las primeras etapas del cultivo, fue más pronunciado que en el caso de las palmas *E. guineensis*.

El promedio nacional del rendimiento del híbrido OxG para el 2019, fue de 27,8 toneladas de racimos de fruta fresca por hectárea (t RFF/ha). Este valor coincide con el que reportaron las plantaciones de la Zona Oriental. En este caso, la Zona Norte está representada por la subzona del Urabá, con una productividad de 38 t RFF/ha (36,8 % superior al promedio nacional en 2019). En el Urabá, además de buen manejo agronómico, se cuenta con suelos y clima muy favorables para el desarrollo de los cultivos. Se destaca un régimen de lluvias que aporta entre 2.000 mm y 3.500 mm de precipitación al año (Castillo, 2016). Finalmente, las plantaciones *benchmark* de la Zona Suroccidental han venido incorporando de manera paulatina los aprendizajes y tecnologías atinentes al manejo del híbrido OxG, alcanzando en 2019 un promedio de 25,7 toneladas de fruto por hectárea (Figura 14). Debe recordarse que los empresarios de esta zona fueron pioneros en la siembra comercial de este cultivar, después de la epidemia de la PC de la década del 2000 (Ávila-Diazgranados *et al.*, 2016).

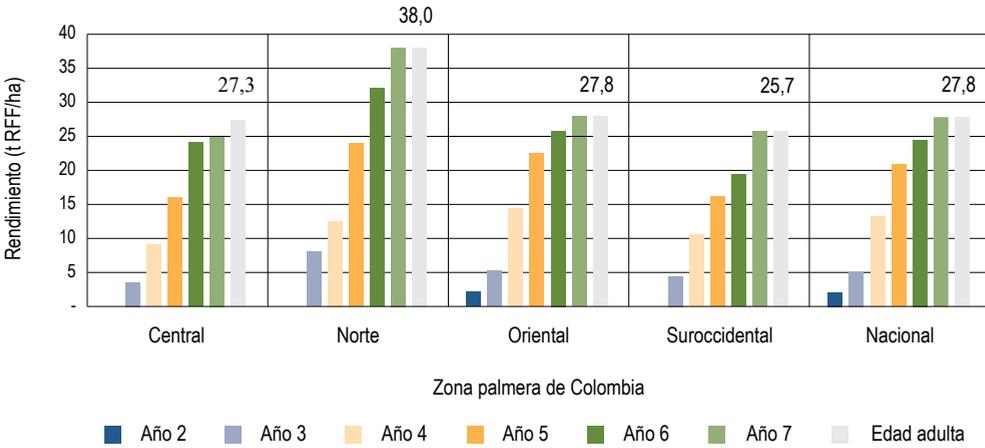


Figura 14. Comportamiento de la productividad de cultivares de híbrido OxG por edad y zona

## Estimación de costos por hectárea

### Costo de establecimiento del híbrido OxG (año 0)

En 2019, el promedio del costo de establecimiento fue de 10 millones de pesos (Tabla 16). Los valores que se reportaron más bajos fueron aquellos correspondientes a las empresas de la Zona Suroccidental, que son 22,2 % inferiores al promedio. Ello obedece a que, en esta, el régimen de lluvias del sur de la costa Pacífica colombiana permitió que las plantas tuvieran suficiente oferta hídrica con la precipitación, luego no se consideró invertir en sistemas de riego. Esto último, también ocurrió en el Urabá.

De otra parte, las empresas participantes de la Zona Central tuvieron los costos más altos (17,4 % superior al promedio), fundamentalmente por inversiones en canales de drenaje y en adecuación física del suelo (suelos arcillosos).

Con respecto a los rubros que tuvieron mayor participación en el costo promedio de establecimiento de cultivares OxG, se destacaron el vivero (17 %), implementación de sistemas de riego (16 %), drenajes y canales (14 %), y erradicación del cultivo anterior (12 %) (Tabla 16).

**Tabla 16.** Costos de establecimiento 2019 por zona palmera y por tipo de cultivar (en millones de pesos por hectárea)

Rubro	OxG				
	ZC	ZN	ZO	ZS	Nal
Eliminación de palma*	0.0	0.0	1.2	1.1	1.2
Diseño de plantación	0.0	0.2	0.1	0.1	0.1
Vivero	1.7	1.2	1.7	1.9	1.7
Preparación del terreno	2.2	1.7	0.8	0.1	0.7
Siembra de palma	1.0	0.4	0.3	0.7	0.4
Infraestructura (vías)	0.7	0.8	1.0	1.2	1.0
Drenajes y canales	4.6	2.0	1.3	0.0	1.4
Infraestructura de riego	0.0	0.0	1.7	0.0	1.7
Cobertura	0,1	0,1	0,2	0,2	0.2
Otros**	1.9	1.7	1.4	1.8	1.5
Total	12.2	8.1	9.7	7.1	9.9

ZC: Zona Central; ZN: Zona Norte; ZO: Zona Oriental; ZS: Zona Suroccidental; Nal: Nacional

\* Eliminación cultivo anterior

\*\* Mantenimiento de animales y de la infraestructura, repuestos y combustible

## Estimación de costos de producción según etapa del cultivo del híbrido OxG

La Tabla 17 presenta el promedio anual del costo por hectárea según la zona y la etapa del cultivo. El valor de las etapas improductiva (años uno a tres) y de palma en desarrollo (años tres a seis), promedia los costos de producción por hectárea de tres años. El dato de palma adulta corresponde al promedio de los gastos reportados del año siete en adelante. Los costos promedio anual a nivel nacional, según etapa, expresados en millones de pesos por hectárea, se estimaron en 3.98 durante la fase improductiva; 6.71 para la de palma en desarrollo y 7.16 en la adulta.

Al comparar los costos en palma adulta, se observa que los de la subzona del Urabá (Zona Norte) fueron superiores en 9,5 % a los del promedio nacional. Esto obedece al costo que tiene la nutrición, debido a la necesidad de reponer nutrientes, considerando los altos potenciales de producción de los híbridos en esta subzona.

**Tabla 17.** Costos de producción 2019 por hectárea. Valor por año según etapa del cultivo (en millones de pesos por hectárea)

Zona	OxG				
	ZC	ZN	ZO	ZS	Nal
Etapa improductiva (uno a tres años)	2.81	4.38	3.74	4.11	3.98
Etapa en desarrollo (cuatro a seis años)	5.66	7.55	6.72	6.46	6.71
Etapa adulta (mayor a seis años)	7.18	7.92	7.15	6.89	7.16

ZC: Zona Central; ZN: Zona Norte; ZO: Zona Oriental; ZS: Zona Suroccidental; Nal: Nacional

Como se mencionó previamente, la Tabla 18 presenta el detalle de los costos promedio en 2019 para cada año de las etapas consideradas. Para las empresas que cultivan OxG, los rubros que más participaron en el costo total de producción (30 años) fueron: cosecha y transporte de RFF a planta de beneficio (25 %), fertilización que incluye insumo y aplicación (19 %), polinización (19 %) y valor de la tierra (10,5 %).

**Tabla 18.** Detalle de los rubros de costo a nivel nacional en 2019. Valor por año según etapa del cultivo (en millones de pesos por hectárea)

Rubro	Etapa		
	EI	ED	A
Fertilización	0.94	1.19	1.46
Control de malezas	0.50	0.30	0.29
Podas	0.13	0.11	0.11
Control fitosanitario	0.18	0.18	0.18
Operación sistema de riego	0.16	0.16	0.16
Polinización	0.48	1,42	1.43
Cosecha	0.25	1.44	1.43
Transporte a planta de beneficio	0.03	0.35	0.51
Costo de oportunidad de la tierra	0.75	0.75	0.75
Planeación y supervisión	0.23	0.48	0.52
Asistencia técnica	0.14	0.14	0.14
Otros*	0.18	0.18	0.18
Total	3.97	6.7	7.16

EI: etapa improductiva; ED: etapa de desarrollo; A: palma adulta

\*Mantenimiento de la infraestructura y de animales, repuestos y combustible

## Estimación del costo unitario (t RFF)

### Costo por tonelada de racimos de fruta fresca (\$/t RFF)

El estudio presenta costos para todas las zonas, contrario a lo que ocurría en anteriores en los que solo se daba información de la Oriental. Esto, porque era la única zona con cultivos OxG con palma adulta. En consecuencia, en 2019 el informe es más completo en términos de información para dichos cultivos.

El costo promedio de las empresas que participaron en el ejercicio de referenciación competitiva en 2019, en lo que se refiere a cultivos OxG considerando todos los costos (Ej. establecimiento, etapa improductiva, etapa de desarrollo y valor de la tierra), fue de \$ 293.450/t RFF (Tabla 19). Sin embargo, se observa una diversidad de los resultados en las diferentes zonas. Se destaca el valor de las plantaciones del Urabá (Zona Norte), siendo el más bajo del país, con \$ 237.078/t RFF, lo que indica el potencial que tienen estos cultivos en términos de viabilidad del negocio.

**Tabla 19.** Costo por tonelada de fruta según cultivar y zona (pesos por tonelada de RFF)

Zona	Costo total (1)	Costo total, sin tierra (2)	Costo palma adulta (3)
Central	284.092	259.343	248.728
Norte	237.078	219.829	207.677
Oriental	289.908	262.799	256.337
Suroccidental	306.468	256.361	261.076
Nacional	293.450	261.536	255.916

(1) Incluye establecimiento, etapa improductiva, etapa de desarrollo y costo de oportunidad de la tierra

(2) Corresponde a establecimiento, etapa improductiva y etapa de desarrollo. No incluye el valor de la tierra

(3) Comprende los costos en los que se incurre cuando el cultivo es maduro (incluye tierra)

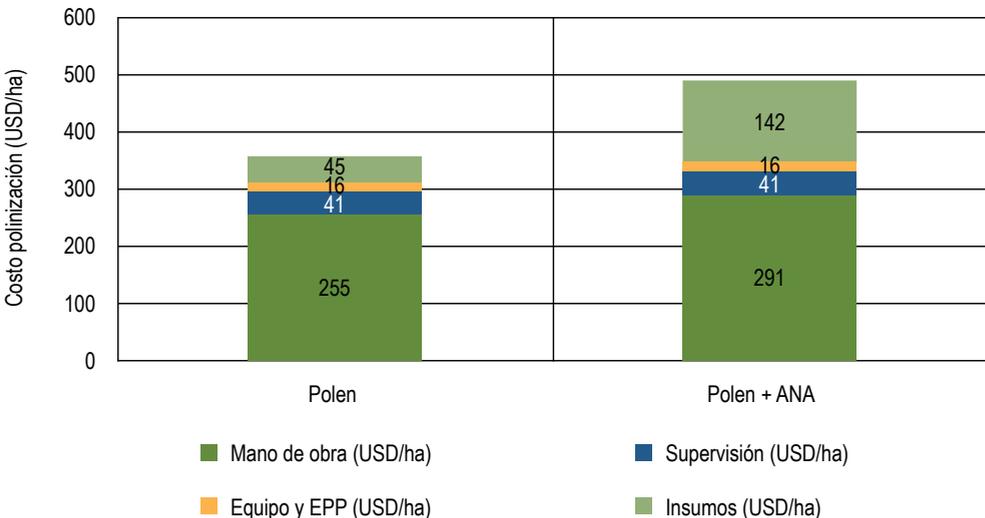
En lo que concierne al indicador de costos para palma adulta, el valor para los híbridos OxG de las empresas que participaron en el ejercicio de *benchmarking* de costos para 2019, fue de \$ 255.916/t RFF. De nuevo, el valor de este indicador para las plantaciones del Urabá fue el más bajo del país con \$ 207.677/t RFF, debido principalmente al alto rendimiento que se ha alcanzado en estas plantaciones.

## Impacto del ANA en el costo de producción

La polinización artificial ha implicado cambios en la logística y los costos de la polinización (Díaz, 2020). En 2018, el costo promedio anual de realizar la polinización asistida se estimó en \$ 1.2 millones por hectárea (Mosquera *et al.*, 2019). Se hace referencia a 2018 porque fue el último año en el que todas las empresas reportaron el uso de la polinización asistida. Las cifras de 2019 contienen una mezcla entre costos de polinización asistida y artificial.

Como se explicó en capítulos anteriores, la polinización asistida consiste en aplicar una mezcla de polen y talco (1:10) a inflorescencias en antesis (607), y dada la exigencia de suministrar el polen en ese estadio fenológico, precisa ingresar a un mismo lote tres veces por semana (Ruiz *et al.*, 2015). Con la aplicación de ANA, como complemento a la polinización asistida, se emplea polen en antesis y ANA en estadios de posantesis (7 dda y 14 dda).

La Figura 15 ilustra los costos de polinización asistida (polen) y los de polinización asistida complementada con ANA (polen + ANA). Emplear esta última implicó un costo superior en 37,2 % en comparación con el método polen. El incremento obedeció al aumento en el costo de la mano de obra en 14 %, resultante de la mayor disponibilidad de inflorescencias a polinizar. De otro lado, el valor de los insumos subió 187 %, ya que a las inflorescencias se les aplican tres veces.



**Figura 15.** Costos de polinización bajo dos métodos

Si bien incrementó el costo por hectárea, también creció la productividad en 12 %, por la mayor cantidad de frutos y racimos formados. Así, el ingreso del cultivador aumentó en 7,7 %. En otras palabras, utilizar el ANA es buen negocio para el productor de fruto.

## Conclusiones

Este trabajo planteó como objetivo estimar y comparar los costos de producción para empresas de la agroindustria colombiana de la palma de aceite, destacadas por implementar mejores prácticas en sus cultivos, y ser referentes en lo que concierne a la adopción de la tecnología disponible para el manejo de cultivares OxG. Los resultados presentados son mucho más completos que los de estudios de años anteriores, ya que se contó con información de cultivos adultos en las cuatro zonas palmeras, que permitieron tener una visión más amplia de las cifras económicas relacionadas con estos cultivares.

Vale la pena resaltar el hecho de que las plantaciones de OxG (Zona Norte), que corresponden a las del Urabá antioqueño, mostraron los costos más altos por hectárea y al mismo tiempo los más bajos por tonelada de fruta. Esto soporta la evidencia expuesta en investigaciones pasadas, con respecto a que, aunque la implementación de tecnologías conlleva una mayor inversión por unidad de área, la mayor productividad obtenida permite bajar el costo unitario (por tonelada de RFF).

## Comentarios finales

En este capítulo se hace una breve síntesis de las lecciones que quedan de las temáticas tratadas. Se abordaron trabajos de documentación de la polinización artificial con ANA en polvo a inflorescencias en antesis, ocho días después de antesis (dda) y 14 dda. Esta recomendación no siguió al pie de la letra la tecnología generada por Cenipalma, que consiste en realizar la polinización artificial con el ANA líquido, y el argumento se relacionó con la logística de mover agua en una plantación (alrededor de 14 litros por hectárea por jornada de aplicación). Sin embargo, se mantuvieron los principios biológicos de la tecnología, como la inducción de frutos partenocárpicos aceitosos e impactar en el mejoramiento de los racimos y la extracción de aceite. Los resultados de estos trabajos permitieron estimar el rendimiento de la labor, y determinar los factores que inciden en la eficiencia de la mano de obra que realiza la aplicación del ANA en polvo.

La polinización artificial presentó menor rendimiento de la mano de obra con respecto a la polinización asistida (solo polen), debido al mayor número de inflorescencias que deben ser polinizadas por entrada: cada una se trata tres veces y con intervalos de una semana. Es importante que la persona que planea la logística y el requerimiento de personal a contratar para llevar a cabo esta tarea tenga claridad de que la cobertura en área por jornal depende de varios factores. El primero es el rendimiento de la plantación y la estacionalidad de la producción, ambas representadas en el número de inflorescencias a polinizar. El segundo es la altura a la que se encuentran las inflorescencias, dado que entre más elevada no solo es más difícil la inspección, sino que también es más complicado administrar una mezcla en polvo que una mezcla líquida.

El trabajo de comparación de la polinización artificial de ANA líquido con respecto al ANA en polvo, dejó claro que operativamente es más fácil la aplicación de este último y que, por ende, el operario de polinización puede abarcar una mayor área que la del operario que suministra ANA líquido. Sin embargo, existe evidencia acerca de que los botones florales que no entran en contacto directo con el ANA no logran formar un fruto. Esto explicaría por qué el peso medio de racimo fue superior en los tratados con ANA líquido, en más de dos kilogramos, comparados con aquellos en los que se aplicó ANA sólido. Esta diferencia redundaría en mayor ingreso para el palmicultor y en una mayor cantidad de aceite.

Asimismo, debe considerarse que, contra el argumento de la logística de transportar el agua, ya se conocen experiencias incipientes con el uso de métodos de aplicación con ultra bajo volumen, los cuales son muy promisorios en el mediano plazo, ya que reducirían hasta en una tercera parte el agua requerida por inflorescencia (en promedio 4,7 litros por hectárea).

A continuación, se hizo referencia a los trabajos a escala comercial, orientados a validar el uso del punto óptimo de cosecha para el corte de fruto. El objetivo de la cosecha es maximizar la cantidad de aceite a ser entregada a la planta de beneficio, razón por la que los RFF deben cortarse en el momento en el que expresan el mayor potencial de aceite, es decir en POC. Se presentaron los resultados de cortar racimos en POC para los cultivares Cereté x Deli, y se compararon las TEA obtenidas utilizando el criterio de corte de RFF de la plantación (línea base) que fue del 17,2 %, con respecto al criterio modificado según el POC que fue del 20,2 %. Finalmente, se evaluó la inclusión de la polinización artificial y del POC, alcanzando un promedio de 22 % de TEA, con un máximo observado de 26 %. Esto demuestra el impacto positivo que se logra en el ingreso de la agroindustria, con modificaciones a los procesos de cosecha y de polinización, que no implican grandes inversiones.

Por último, se expusieron las conclusiones del estudio de estimación de costos para el híbrido OxG, que tuvo lugar en 2020 y que evaluaba los costos de 2019. Se destacó que la plantación más productiva exhibió los costos más altos por hectárea y los más bajos por tonelada de racimos de fruta fresca. Esto soporta la evidencia de investigaciones anteriores de que la implementación de tecnologías conlleva una inversión superior por unidad de área. Sin embargo, la mayor productividad lograda permite obtener costos unitarios más bajos y, por ende, genera una mejor rentabilidad del negocio.

## Bibliografía

- Alvarado, A., Bulgarelli, J., & Moya, B. (2000). Germinación del polen en poblaciones derivadas de un híbrido entre *Elaeis guineensis* Jacq. y *E. oleifera* HBK, Cortes. *ASD Oil Palm Papers*, 20, 35–36.
- Alvarado, A., Escobar, R., & Henry, J. (2013). El híbrido OxG Amazon: una alternativa para regiones afectadas por Pudrición del cogollo en palma de aceite. *The Hybrid Ox GAmazon. Palmas*, 34(Especial, Tomo I), 305–314.
- Amado, A., Pardo A., & Romero, H. (2017). Avances en la validación de la escala BBCH en híbridos interespecíficos OxG en Tumaco y su uso en la determinación del punto óptimo de cosecha. *Ceniavances*, 185, 1-8.
- Ávila-Diazgranados, R., Daza, E., Navia, E., & Romero, H. (2016). Response of various oil palm materials (*Elaeis guineensis* and *Elaeis oleifera* × *Elaeis guineensis* interspecific hybrids) to bud rot disease in the southwestern oil palm-growing area of Colombia. *Agronomía Colombiana*, 34(1), 74–81. <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v34n1.53760>
- Ayala, I.M., & Romero, H.M. (2019). Cultivares híbridos OxG y la reactivación productiva de zonas con problemáticas de PC. XV Reunión Técnica Nacional de Palma de Aceite.
- Ben-Cheikh, W., Perez-Botella, J., Tadeo, F. R., Talon, M., & Primo-Millo, E. (1997). Pollination Increases Gibberellin Levels in Developing Ovaries of Seeded Varieties of Citrus. *Plant Physiology*, 114(2), 557–564. <https://doi.org/10.1104/pp.114.2.557>
- Caicedo, A., Urrego, A., Ruiz, R., & Romero, H. (2018). Punto óptimo de cosecha en los híbridos Cereté x Deli y Manaos x Compacta. Póster XIX Conferencia sobre palma de aceite, Cartagena, Colombia.
- Camperos, J. E., Pulido, N., Munévar, D. E., Torrecilla, E., Requena, J., Arias, H., & Mosquera, M. (2020). Estudio de tiempos y movimientos para la polinización artificial: estudio de caso en una plantación de la Zona Central. *Palmas*, 41(3), 11-23.
- Castillo, O. (2016). Palma de aceite en el Urabá antioqueño mejores prácticas en híbrido OxG. Presentación en XIII Reunión Técnica Nacional de Palma de Aceite, Medellín, Colombia.
- Ceballos, D., Castilla, C., Bastidas, S. & Reyes, R. (2017). Resultados de investigación y desarrollo del híbrido OxG El Mira 2015-2017. Memorias XIV Reunión Técnica Nacional de Palma de Aceite, Bogotá, Colombia.
- Cenipalma. (2020). Informe de Labores 2019.
- Corredor, J. E. & Bolívar, A. L. (2019). Principales efectos de la polinización artificial (ANA), en el híbrido OxG en Palmeiras Colombia. Presentación oral en la XV Reunión Técnica Nacional en Palma de Aceite, Bucaramanga, Colombia.

- Daza, E., Pardo, A., Urrego, N., Ayala, I., Ruiz, R. y Romero, H. M. (2016). Evaluación del uso de hormonas sobre la formación de frutos partenocárpicos en el híbrido interespecífico OxG. Póster XIII Reunión Técnica Nacional de Palma de Aceite, Bogotá, Colombia.
- Díaz, D. (2020). Comparación de estructura de costos con aplicación de hormonas en la conformación de racimos de palma de aceite comercial (var. IHRO Cabaña) en la Plantación Agropecuaria Macolla S.A.S. Universidad de Los Llanos, Escuela de Ingeniería en Ciencias Agrícolas, Villavicencio.
- Fontanilla, C. A., Rincón, V., Mesa, E., Mariño, D., Barrera, E., & Mosquera, M. (2016). Estimación del rendimiento de la mano de obra en labores de cultivo de palma de aceite: caso polinización asistida. *Revista Palmas*, 37(2), 21–35.
- Forero, D., Hormaza, P., Moreno, L. & Ruiz, R. (2012). Generalidades sobre la morfología y fenología de la palma de aceite. Cenipalma, Bogotá D.C., Colombia, 150 p.
- García, J. A. Cortés, I. Caballero, K. & Ramírez, N. (2017). Challenges in processing fresh fruit bunches from interspecific hybrid cultivars (OxG) in conventional palm oils mills in Colombia. Presentación, International Palm Oil Congress and Exhibition (PIPOC), Kuala Lumpur, Malasia.
- García, A., Ibagué, D., Munévar, D., Hernández, J. S., Mosquera, M. (2020). Polinización artificial: ¿ANA líquido o ANA sólido? *Palmas*, 41 (4). En imprenta
- Genty, P. & Ujueta, M. (2013). *Relatos sobre el híbrido interespecífico de palma de aceite OxG Coari x La Mé: esperanza para el trópico*. Bogotá, Colombia: Fedepalma.
- Guataquira, S., Mesa, E., Ruiz, R., & Romero, H. M. (2019). Evaluación de la viabilidad y germinabilidad del polen durante la labor de polinización asistida en campo. *Palmas*, 40(1), 13-20.
- Hernández, D., Rodríguez, J., Daza, E., Lemus, L., & Mosquera, M. (2020). Implementación del punto óptimo de cosecha sobre racimos del híbrido interespecífico OxG (Coari x La Mé) asperjados con reguladores de crecimiento en la plantación oleaginosas San Marcos (Zona Oriental). *El Palmicultor*, 580, 16-17.
- Hormaza, P., Forero, D., Ruiz, R., & Romero, H. M. (2010). *Fenología de la palma de aceite africana (Elaeis guineensis Jacq.) y del híbrido interespecífico (Elaeis oleifera x Elaeis guineensis)*. Bogotá, Colombia: Cenipalma.
- Lietzow, C. D., Zhu, H. Y., Pandey, S., Havey, M. J. & Weng, Y. Q. (2016). QTL mapping of parthenocarpic fruit set in North American processing cucumber. *Theoretical and applied genetics*, 129, 2.387-2.401.
- López, A. (1978). Efecto de la polinización asistida en la producción de aceite en los cultivares de palma híbrida de Coldesa. Conferencia sobre palma de aceite, Santa Marta, Colombia.

- Martínez, C. (2012). Estadística y muestreo (13 ed.). Bogotá, Colombia: Ecoe Ediciones.
- Martínez, G., Sanz J. I., Torres. G., Sarria. G., Vélez. D., Zúñiga. F., Mestizo. Y. & Varón F. (2018). The integrated management of bud rot disease and *Phytophthora palmivora* in oil palm. En: A. Rival (Ed). *Achieving sustainable cultivation of oil palm*. Londres, Inglaterra: Burleigh Dodds Science Publishing.
- Martínez, G., Corredor, A. & Silva, Á. (2008). Problemática de la Pudrición del cogollo en Tumaco e instrumentos para su manejo y la renovación del cultivo. *Palmas*, 29(3), 11-16.
- Millán, E., Ruiz, R., & Romero, H. (2017). Criterios de cosecha en cultivares híbrido: Características que evalúan el punto óptimo de cosecha en palma de aceite. Guía de bolsillo, 35 p.
- Mosquera, M., López, D., Ruiz, E., Valderrama, M., & Castro, L. (2019). Mano de obra en cultivos de palma aceitera de Colombia. Labor Force in Colombian Oil Palm Crops: Share in Production. *Palmas*, 40(1), 46–53.
- Mosquera, M., Ruiz, E., Fontanilla, C., Beltrán, J., & Arias, N. (2014). Manual para el registro de costos en plantaciones de palmicultores de pequeña y mediana escala. Bogotá, Colombia: Cenipalma.
- Mosquera, M., Ruiz, E., Valderrama, M., Fontanilla, C., López, D., & Castro, L. (2016). Costos de producción para el cultivo de la palma de aceite en Colombia. En: *Mejores Prácticas Agroindustriales del Cultivo de la Palma de Aceite en Colombia*, p. 401.
- Mosquera, M., Valderrama, M., Fontanilla, C., Ruiz, E., Uñate, M., & Rincón, F. (2015). Costos de producción de la agroindustria de la palma de aceite en Colombia en 2014. *Palmas*, 37(2), 37-52.
- Mosquera, M., Valderrama, M., Ruiz, E., López, D. & Castro, L. (2017). Costos de producción para el fruto de palma de aceite y el aceite de palma en 2015: estimación de un grupo de productores colombianos. *Palmas*, 38(2), 11-27.
- Mosquera, M., Ruiz, E., Castro, L., López, D., & Munévar, D. (2019). Estimación del costo de producción, en el periodo 2017-2018, para productores de palma de aceite de Colombia que han adoptado buenas prácticas agrícolas. *Palmas*, 40(2), 3–17.
- Mosquera, M., Valderrama, M., Ruiz, E., López, D., Castro, L., & González, M. (2018). Costos económicos de producción para el fruto de palma aceitera y el aceite de palma en 2016: estimación para un grupo de productores colombianos. *Palmas*, 39(2), 13-26.
- Mosquera, M. & García, E. (2005). Estudios de tiempos y movimientos para la agroindustria colombiana de la palma de aceite. *Cenivances*, 129, 1–4.
- Mosquera, M. & Ruiz, E. (2019). Mano de obra en cultivos de palma aceitera de Colombia. XV Reunión Técnica Nacional de Palma de Aceite, Bucaramanga, Colombia.

- Mosquera, M., Fontanilla, C. A., & Alarcón, W. H. (2008). Comparación entre cosecha individual y en grupo en una plantación colombiana de palma de aceite. *Palmas*, 29(2), 11–16.
- Niebel, B. W., & Freivalds, A. (2014). *Ingeniería industrial: métodos, estándares y diseño del trabajo*. México D. F.: McGraw-Hill.
- Peláez, E., Ramírez, D., & Cayón, G. (2010). Fisiología comparada de palmas africanas (*Elaeis guineensis* Jacq.), Americana (*Elaeis oleifera* HBK Cortes) en Hacienda La Cabaña. *Palmas*, 31(2), 29-38.
- Prada, F., & Romero, H.M. (2012). *Muestreo y análisis de racimos en el cultivo de la palma de aceite*. Bogotá, Colombia: Cenipalma.
- Preciado, C., Bastidas, S., Betancourth, C., Peña, E., & Reyes, R. (2011). Predicción y control de la cosecha en el híbrido interespecífico *Elaeis oleifera* x *Elaeis guineensis* en la zona palmera occidental de Colombia I. I. Determinación del periodo de madurez para obtener racimos con alto contenido de aceite. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 12(1), 5-12.
- Qian, C., Ren, N., Wang, J; Xu, Q., Chen, X., & Qi, X. (2018). Effects of exogenous application of CPPU, NAA and GA on parthenocarpy and fruit quality in cucumber (*Cucumis sativus* L.). *Food Chemistry*, 243, 410-413.
- Rincón, S. M., Hormaza, P. A., Moreno, L. P., Prada, F., Portillo, D. J., García, J. A., & Romero, H. M. (2013). Uso de las etapas fenológicas de los frutos y características fisicoquímicas del aceite para determinar el momento de cosecha óptimo en híbridos interespecíficos de palma OxG. *Palmas*, 34(2), 21–33.
- Rincón, V., Molina, A., & Torres, J. L. (2015). *Elaboración de formularios móviles digitales para el registro de datos en plantaciones de palma de aceite (Principios básicos)*. Bogotá, Colombia: Cenipalma.
- Romero, H. M. (2018). Polinización artificial de híbridos OxG para la obtención de frutos partenocárpicos y la producción de aceite (*Elaeis oleifera* Cortes x *Elaeis guineensis* Jacq.). *El Palmicultor*, 558, 15-18.
- Romero, H. M., Daza, E., Urrego, N., Rivera, Y., & Ayala, I. (2018). La polinización artificial con reguladores de crecimiento incrementa la producción de aceite en híbridos interespecíficos OxG. Memorias XIX Conferencia sobre palma de aceite, Cartagena, Colombia.
- Rosero, G., & Santacruz, L. (2014). Efecto de la polinización asistida en medio líquido en la conformación del racimo en material híbrido OxG en la plantación Guaicaramo S.A. *Palmas*, 35 (4), 13–21.
- Ruiz, E., Fontanilla, C., Mesa, E., Mosquera, M., Molina, D., & 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.

- Sánchez, A., Daza, E., Ruiz, R., Romero, H. M. (2011). *Polinización asistida en palma de aceite. Tecnologías para la agroindustria de la palma de aceite: guía de facilitadores (1 ed.)*. Bogotá, Colombia: Cenipalma.
- Sánchez, A., Fontanilla, C., & Mosquera, M. (2010). Métodos para el desarrollo de estudios de tiempos movimientos para labores de cultivo en palma de aceite. *Tecnologías para la agroindustria de la palma de aceite: Guía para facilitadores (1 ed.)*. Bogotá, Colombia: Cenipalma.
- Sánchez, A., Fontanilla, C., Mosquera, M., & Pachón, S. (2009). Comparación de tres sistemas mecanizados de transporte interno de fruto de palma de aceite. *Palmas*, 30(4), 65–78.
- Sánchez, R., Daza, E., Ruiz, R., & Romero, H. M. (2011). Polinización asistida en palma de aceite. *Tecnología para la agroindustria de la palma de aceite: Guía para facilitadores*. Bogotá, Colombia: Cenipalma.
- Sanz, J. (2016). Pudrición del cogollo: enfrentamiento integral contra un enemigo letal, *P. palmivora*. *Palmas*, 37(Especial Tomo I), 109–114.
- Scheaffer, R. L. (2000). *Elementos de muestreo*. México: Grupo Editorial Iberoamericano. M
- Sinisterra, K., Caicedo, A., Castilla, C., Ceballos, D., Palacio, M., Cortés, I., Camperos, J., Ayala, I., & Mosquera, M. (2019). Validación del punto óptimo de cosecha para los cultivares Cereté x Delí y Cereté x Yangambi. *Ceniavances*, 189.
- Socha, J., Cayón, D., Ligarreto, G., & Chaves, G. (2019). Effect of pollen doses on fruit formation and oil production in two hybrid palm genotypes (*Elaeis oleifera* H.B.K. Cortes x *Elaeis guineensis* Jacq.). *Agronomía Colombiana*, 37 (1), 12-17.
- Taiz, L., & Zeiger, E. (2006). *Fisiología Vegetal (2ª ed.)*. Universitat Jaume I de Castellón. Traducción de *Plant physiology* 3ª edición en inglés.
- Taiz, L., Murphy, A., Monshausen, G., & Peer, W. (2017). Sinais e Transdução de Sinal. En L. Taiz, E. Zeiger, I. M. Moller, & A. Murphy, *Fisiología e desenvolvimento vegetal (6ª ed., pp. 407-445)*. Porto Alegre: Artmed.
- Ussa, I., Cayón, D., Contreras, A., Rodríguez, D., & Zúñiga, E. (2013). Efecto de giberelinas y auxinas en el desarrollo de racimos y producción de aceite en híbrido (O×G) en Oleaginosas las Brisas. XI Reunión Técnica Nacional de Palma de Aceite.