

2

Investigación

- Programa de Biología y Mejoramiento de la Palma
- Programa de Plagas y Enfermedades
- Programa de Agronomía
- Programa de Procesamiento
- Proyecto especial: Usos y beneficios del aceite de palma y sus productos
- Unidad de Validación

Investigación

Programa de Biología y Mejoramiento de la Palma

Proyecto: Conformación de colecciones biológicas de palma de aceite

Objetivo

Establecer, manejar, conservar, caracterizar y evaluar las colecciones biológicas de *E. guineensis* y *E. oleifera* en los campos experimentales de Cenipalma.

Principales actividades desarrolladas en 2018

Mantenimiento, conservación e introducción de accesiones de las especies *E. guineensis* y *E. oleifera*

Durante el 2018, se realizó la colecta de semilla de *E. oleifera* en 58 nichos identificados en las regiones Caribe y Andina de Colombia, que abarcaron 11 departamentos. Se determinó que estos pertenecen a cuatro zonas de vida en las que prevalece el clima semiárido cálido, seguido del semihúmedo y húmedo cálido, y solo un sitio catalogado como seco cálido. Los paisajes predominantes fueron planicies aluviales, humedales, pantanos y humedales lacustres. También se registraron colinas suaves. Los datos de elevación indican que el hábitat de esta especie va de 0 a 500 metros sobre el nivel del mar. En la mayoría de los sitios prevalecieron suelos de texturas francas a franco arenosas, con algunas franco arcillosas y arcillosas, ambas características propias de suelos de origen aluvial y áreas con periodos de anegación e inundación prolongados, tal como se visualiza en la descripción del paisaje.

Se realizaron análisis de racimo a palmas provenientes de 43 sitios, y se observó que se caracterizan por presentar un alto contenido de aceite en el mesocarpio seco, tanto en frutos normales como en frutos partenocárpicos (frutos sin semilla). El porcentaje promedio del mesocarpio a fruto fue de 35,5 %, con un máximo de 59,3 % y un mínimo de 27,6 %.

Con respecto al contenido de aceite, se reportó un promedio de 8,8 %, en un rango de 1,3 a 20 %, lo que refleja una alta variabilidad para esta característica. Se seleccionaron de manera preliminar, 19 palmas con valores por encima del 10 % en aceite a racimo, las que se consideran de gran valor para el programa de mejoramiento.

Con respecto al perfil de ácidos grasos se identificaron diferencias marcadas entre los sitios seleccionados. Para todos los racimos analizados, los valores de ácido palmítico se mantienen por debajo del 30 %, lo que significa que se obtienen aceites con un elevado porcentaje de ácidos grasos insaturados, predominando un aceite de calidad de alto oleico. Los valores de vitamina E fueron en promedio de 363,9 (mg/kg) y los de carotenos de 669,7 (mg/kg) (Tabla 1).



TABLA 1. Parámetros estadísticos del análisis de racimo, perfil de ácidos grasos y contenido de vitaminas y carotenos

Parámetros estadísticos	Peso racimo con frutos sueltos (kg)	AMSfn (%)	AMSfp (%)	AR (%)	MF (%)	CF (%)	AF (%)	Ácido palmítico (C16:0) (%)	Ácido oleico (C18:1n7c) (%)	Ácido Inoleico (C18:2n6c) (%)	Saturados totales (%)	Insaturados totales (%)	Vitamina E (mg/kg)	Carotenos (mg/kg)
Promedio	10,0	42,0	41,2	8,8	35,5	47,0	17,5	19,6	56,7	16,4	21,4	78,6	363,9	669,7
Valor máximo	20,6	57,4	62,4	20,7	59,3	53,8	27,4	26,5	69,5	21,8	28,7	83,9	1381,4	1846,2
Valor mínimo	3,1	18,0	9,2	1,3	27,6	31,0	7,2	14,9	47,6	8,4	16,1	71,3	0,0	0,0
Desviación estándar	4,0	7,8	9,5	3,5	5,5	4,8	3,5	2,1	3,9	2,7	2,3	2,3	289,1	440,6

Evaluación de las colecciones biológicas *E. guineensis* procedentes de Camerún

Dentro del proceso sistemático de manejo para las colecciones biológicas de palma de aceite se cumplen tres fases: i) introducción y conservación, ii) evaluación y iii) selección, que determinan si la colección es útil para lograr la identificación de familias e individuos promisorios.

La colección biológica de Camerún fue sembrada en 2010 y 2011. A partir de 2014 se iniciaron los registros de producción, y durante el 2018 se realizaron los primeros análisis de racimo.

Esta colección procede de palmas silvestres de polinización abierta, donde es posible encontrar palmas tipo *dura*, *tenera* y en menor proporción *pisifera*. Los resultados de mesocarpio a fruto (M/F) para las palmas *dura* mostraron que en promedio fue del 45 %, con un valor máximo del 75 %, y para las *tenera* de 70 %, con un valor máximo de 94 % (Figura 6).

Para el parámetro de aceite a racimo (A/R), en las palmas tipo *dura* el promedio fue de 15 % con un valor máximo de 28 %, y para las *tenera* fue de 22 % con un valor máximo de 38 %. Se identificaron familias y palmas de alto interés por su contenido de aceite y buena formación de racimos. Adicionalmente, la colección se evalúa para buscar fuentes de resistencia en genotipos *E. guineensis* a la Pudrición del cogollo (PC), tarea estratégica para mantener la sostenibilidad del cultivo.

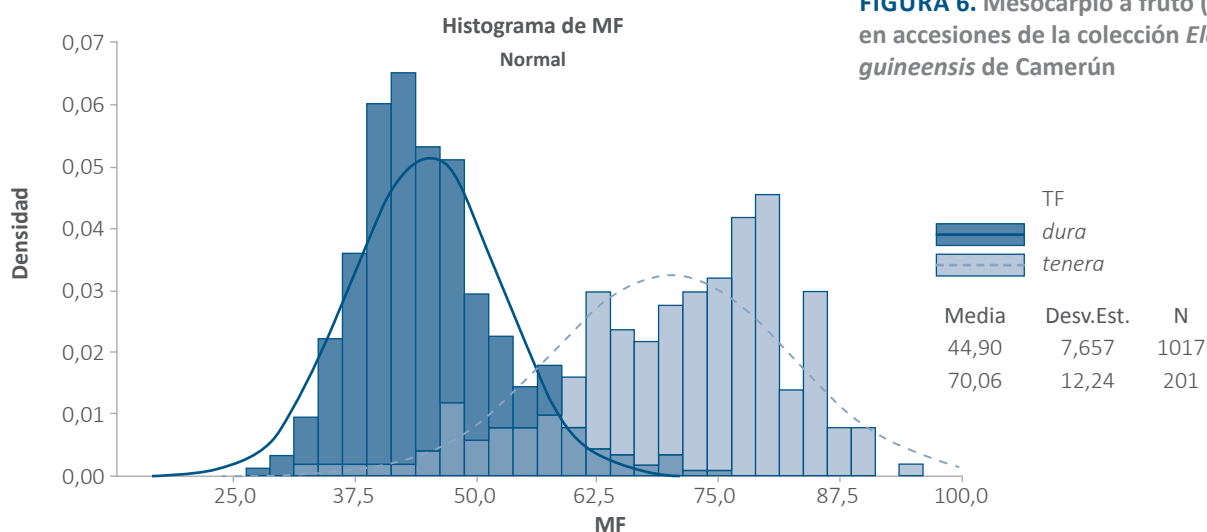


FIGURA 6. Mesocarpio a fruto (%) en accesiones de la colección *Elaeis guineensis* de Camerún

Proyecto: Determinación de mecanismos de adaptación de la palma de aceite a las condiciones limitantes del cultivo en Colombia

Objetivo

Estudiar la fisiología de la palma de aceite bajo diferentes condiciones agronómicas, edáficas y climáticas, para establecer mecanismos de adaptación a las condiciones limitantes del cultivo en Colombia.

Principales actividades desarrolladas en 2018

Potencial de inductores de resistencia para el manejo de enfermedades de la palma de aceite

Se probaron reguladores de crecimiento para el manejo de la PC, como putrescina y ácido 2,6-dicloro-isonicotínico (INA), en diferentes localidades.

Para el caso de los ensayos con putrescina se observa que, si bien existe una recuperación espontánea de la enfermedad, hubo una reducción gradual de la incidencia y severidad de PC en las palmas tratadas con putrescina Sigma-Aldrich® o Ark Pharm®, donde la presión de inóculo es elevada. Las palmas que recibieron la poliamina emitieron nuevas flechas sanas o con menores grados de afectación. Además, la aplicación resultó más efectiva para la recuperación de palmas, a medida que el grado de severidad de PC disminuye. La putrescina Sigma® estimuló una mayor recuperación de palmas enfermas entre grado uno y cuatro, mientras la Ark Pharm® acusó el mismo comportamiento para palmas mayormente afectadas (grados cinco y seis). El índice de severidad es un 30 % inferior al de las palmas que no recibieron la poliamina desde el sexto mes, después de la primera aplicación.

En los ensayos con el inductor ácido 2,6-dicloro-isonicotínico (INA), en cuatro de las siete parcelas, se observa una respuesta positiva, con alguna variación según el inductor que se use INA-Sigma o INA-Ark. Tres de ellas tuvieron un comportamiento diferente, probablemente relacionado con la ubicación del lote y manejo de la PC en la plantación, que no permite observar diferencias entre los tratamientos.

Se hace necesario continuar con la aplicación de refuerzos y seguimiento de la enfermedad para tener suficiente evidencia, que permita concluir si efectivamente el inductor de resistencia ayuda al control de la enfermedad.

Respuesta ecofisiológica y la variación en la actividad bioquímica en materiales comerciales de palma de aceite bajo condiciones de estrés biótico (PC) o abiótico (aluminio, estrés hídrico)

Como parte de la búsqueda de materiales tolerantes al estrés hídrico y al aluminio, fueron evaluadas 12 progenies de la colección Angola, 32 de la Camerún y tres cultivares comerciales IRHO (7001, 1001 y 2501). Los ensayos se dividieron en dos épocas del año, evaluando 22 progenies más tres testigos que se repitieron en cada valoración, para un total de 50 progenies evaluadas para cada característica.



El comportamiento de las palmas bajo condiciones de estrés hídrico mostró que, si bien la respuesta obtenida por los cultivares comerciales usados como testigos fue la esperada, el 7001 mitigó las condiciones de sequía más eficazmente que el cultivar 1001, durante las fases iniciales de desarrollo. Del conjunto de progenies evaluadas, tres materiales sobresalen por su buena respuesta ante un episodio de déficit hídrico, basados en una mejor fotosíntesis, con valores superiores al control comercial.

En la evaluación de la respuesta a aluminio, se encontraron tres progenies que, a pesar de estar sometidas a estas condiciones limitantes, minimizan el efecto, tratando de mantener una cantidad de puntas similar a la reportada en el control comercial. Entre tanto, se encontraron también tres progenies con menor reducción de longitud de raíz respecto a su control. Al tener una mayor longitud de raíz, es decir más superficie de absorción, la planta puede utilizar más eficientemente los nutrimentos y presentará mejor acumulación de biomasa total, a pesar de estar sometida a una toxicidad por aluminio.

Determinación de los cambios fisiológicos y bioquímicos durante las diferentes etapas del desarrollo reproductivo del híbrido interespecífico OxG y de materiales *E. guineensis*

Se llevó a cabo la evaluación y seguimiento a la madurez de los racimos de dos cultivares híbridos Manaos x Compacta (en Zona Suroccidental) y Coari x La Mé (en Zona Central).

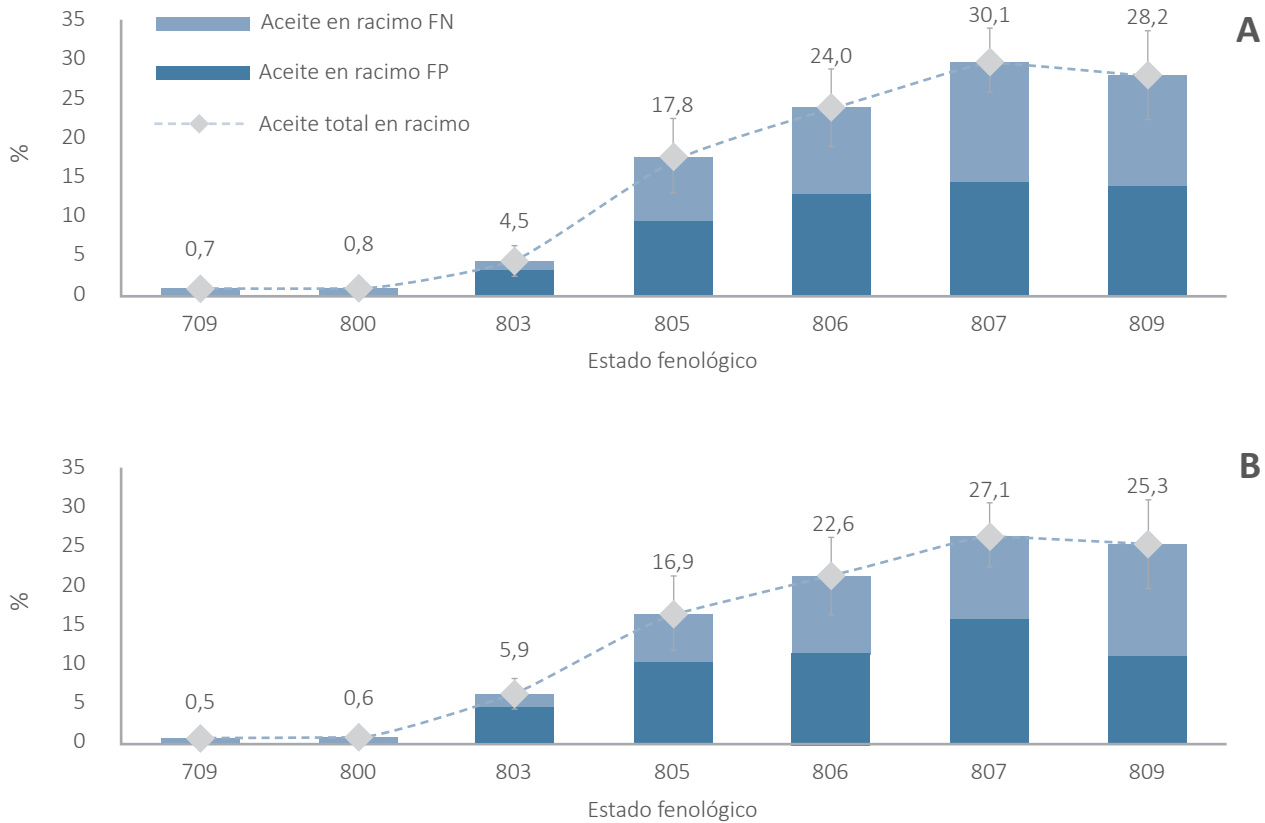
Los resultados de los diferentes parámetros evaluados en el cultivar Manaos x Compacta sugieren que el momento oportuno de cosecha es en el estadio 807, a los 194 días después de antesis. Realizar la cosecha en la etapa fenológica 806 podría generar pérdidas, debido a que los frutos y el racimo no han alcanzado el peso máximo ni el punto más alto de acumulación de aceite. En el estadio fenológico 807 se obtuvo un potencial de aceite de 28,2 % en promedio, para ambas épocas evaluadas, sin afectar la calidad del aceite, ya que el porcentaje de ácidos grasos libres no supera el límite establecido en las plantas de beneficio de 3 % (Figura 7).

Es muy importante saber diferenciar los racimos entre 806 y 807. El cambio de color en el fruto en estas dos etapas, no es un parámetro confiable debido a que los valores de la escala RGB varían principalmente dentro del rango de color naranja. Sin embargo, puede percibirse un brillo más pronunciado en el exocarpio de los frutos en estadio 806, y más opacos en 807 y 809. Por otro lado, el 807 presenta un desprendimiento de frutos, entre cinco a 30 de forma natural, y un porcentaje de cuarteamiento de 40 a 60 %.

Para el cultivar Coari x La Mé, el mejor momento para realizar la cosecha del racimo es a partir del estadio fenológico 807, en donde han transcurrido $171,3 \pm 10,5$ días después de antesis. La coloración del exocarpio es rojo anaranjado intenso y los frutos tienen poco brillo. Además, presenta un cuarteamiento del 30 % en promedio y un desprendimiento de frutos de $3,6 \pm 3,7$ de forma natural. Realizar la cosecha en estadio fenológico 809 puede generar un aumento en el número de frutos desprendidos a $19 \pm 12,3$ frutos, siendo necesaria la recolección de estos.

El híbrido interespecífico OxG es un cultivar promisorio por su alta productividad, calidad de aceite y resistencia parcial a la Pudrición del cogollo. No obstante, requiere de polinización asistida, para lograr mejores tasas de extracción. La producción de aceite en el racimo del híbrido OxG depende, tanto de la formación de frutos normales como partenocárpicos, de modo que es de gran interés estimular la formación de estos últimos, sin necesidad de realizar polinización asistida.

FIGURA 7. Porcentajes de aceite total a racimo durante la maduración de frutos de híbrido Manaos x Compacta A) Época seca. B) Época húmeda



Esto se logró mediante la aplicación de 1.200 ppm de ácido naftalenacético (ANA), alcanzando un llenado total del racimo con mayor acumulación de aceite y calidad similar a la obtenida con polinización. Para evaluar el producto, fue necesario determinar el método de aplicación que optimiza la formación de los racimos y la cobertura de la inflorescencia, para lo que se evaluaron cuatro equipos y seis concentraciones del producto.

Con base en los resultados, se descartaron los tratamientos que incluían los menores y mayores volúmenes de aplicación, y las bombas a motor y Martignani, pues esta última presentó algunas desventajas que dificultaron su manipulación y operación a nivel comercial. Se sugiere el uso de la bomba manual y volúmenes de aplicación de 100 o 150 ml, valores y metodologías que se validarán a escala comercial.

Proyecto: Biotecnología aplicada a palma de aceite

Objetivo

Desarrollar herramientas de biología molecular, genómica funcional y proteómica, para el apoyo y avance de la investigación en sanidad, genética y mejoramiento, y biología de la palma de aceite y microorganismos asociados.



Principales actividades desarrolladas en 2018

Búsqueda del agente causal de la Marchitez letal (ML)

Para la búsqueda del agente causal de la Marchitez Letal se realizó la colecta del material vegetal (foliolo del tercio medio, inflorescencia, tejido adyacente al meristemo, base del estípite y tejido de raíz), en plantaciones de la Zona Oriental (de 17 plantas enfermas y tres sanas como control). Al tejido colectado se le extrajo el ADN para su posterior análisis mediante la metodología denominada metagenómica, y en paralelo se hicieron nuevas pruebas de detección molecular para identificar fitoplasmas. También se recibieron 1.016 muestras del insecto *H. crudus* expuesto a palmas con ML.

Las muestras de ADN, tanto del tejido vegetal como de insectos, fueron enviadas para su análisis a la empresa LGC Genomics (Berlín-Alemania). Los principales resultados bioinformáticos del metagenoma evidencian poblaciones microbianas en ambos organismos, pero no se puede hacer una asociación directa con su presencia en tejido enfermo o insectos portadores.

En conclusión, no fue posible reportar un único microorganismo o grupo asociado a las palmas afectadas, o no, por la Marchitez letal. Con base en este resultado, se realizará una estrategia metagenómica que comprenda la secuenciación de los genomas completos de los microorganismos presentes en palmas sanas y enfermas, para encontrar el agente causal de la ML.

Estudio de genes asociados a las enfermedades y la interacción planta-patógeno

A partir del análisis filogenético de los aislamientos de hongos asociados a la Pudrición basal del estípite (PBE), suministrados por el Programa de Plagas y Enfermedades, los estudios de la región ITS, mostraron agrupaciones de aislamientos colombianos que corresponden a la especie *Ganoderma zonatum* y otras diferentes al género *Ganoderma* sp., asociados a la PBE (aún no se tienen evidencias que corroboren que sea el agente causal). El análisis de diversidad genética con marcadores moleculares de tipo microsatélites mostró que los aislamientos son muy similares en lo referente a esta.

En el estudio de interacción planta-patógeno para *P. palmivora*, se realizaron inoculaciones en dos materiales vegetales de origen clonal con dos aislamientos de *P. palmivora*, para iniciar el proceso de cuantificación del patógeno mediante la evaluación de la expresión relativa de genes del mismo.

Se hizo la validación de 15 genes asociados a respuesta de defensa de la palma contra *P. palmivora* y 10 al sistema de ataque de este patógeno. Se seleccionaron nueve genes como los más importantes, que se clasificaron en tres categorías según su función biológica. Se determinó que lo más relevante para el material susceptible es la activación temprana del gen MLO, que codifica una proteína de membrana que facilita la colonización del patógeno en la planta. En cuanto a la respuesta al ataque se definieron tres genes importantes. En el caso de *E. guineensis*, el material de código 35 sobresalió en su perfil de expresión para los tres genes respecto a los otros materiales.

Se cuenta con un protocolo operativo estandarizado, mejorado, para lograr la expresión transitoria de proteínas de virulencia (efectores) en palma de aceite mediante biobalística, y 16 nuevos genes candidatos de proteínas de virulencia de *P. palmivora* identificados en proceso de insertarlos mediante biobalística y reconocer la respuesta de resistencia o susceptibilidad.

Fase B del Oil Palm Genome Project, OPGP

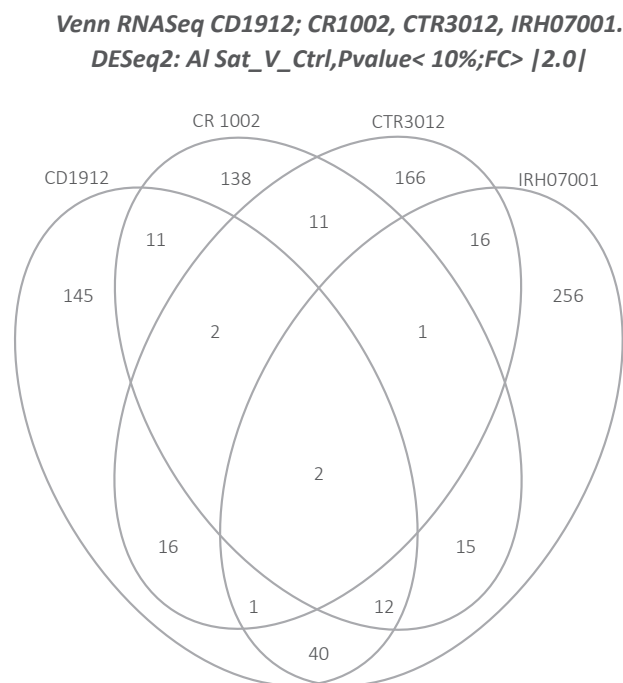
Para el proyecto OPGP, que busca generar herramientas genómicas para acelerar el mejoramiento de la palma de aceite, se tiene el registro de variables de producción representados en 795 análisis de racimo, que corresponden a: 91 palmas OxG, 272 palmas *E. oleifera* y 432 palmas *E. guineensis*. Además, se realizaron todas las determinaciones del perfil de ácidos grasos de las palmas del proyecto. En genotipos de *E. guineensis* silvestres (no mejorados) el porcentaje promedio de aceite a racimo es del 17,0 %, para *E. oleifera* de 8,9 % y para el híbrido OxG de 22,7 %.

Con metodologías de análisis de genómica funcional, a partir de los resultados del proyecto OPGP-B, se tiene un listado de 105 genes (secuencias) identificados y asociados a caracteres de producción en el fruto: 27 a síntesis de ácidos grasos, nueve para auxinas, nueve para desarrollo floral, 22 correspondientes a factores de transcripción, dos para síntesis de licopenos, dos para tocoferoles, tres para carotenos y 31 en la síntesis/acumulación de aceite en el fruto.

A partir del ensayo en casa de malla para identificar genotipos de la colección biológica de origen Camerún, tolerantes a la toxicidad con aluminio, se realizó la metodología RNA-Seq con las muestras de cuatro genotipos y el subsecuente análisis de expresión diferencial de genes. Se identificaron 705 genes únicos entre los cuatro genotipos, sin embargo, el IRHO7001 se destaca por tener un patrón claramente diferenciado (256 genes) (Figura 8).

Además de Cenipalma, participan en este proyecto, diferentes instituciones científicas de Francia, España, Indonesia, Brasil, Malasia y Suiza.

FIGURA 8. Diagrama de Venn con la proporción de genes únicos y comunes entre los cuatro genotipos evaluados por su respuesta a la toxicidad con aluminio





Proyecto: Desarrollo y estandarización de metodologías de cultivo de tejidos *in vitro* de palma de aceite

Objetivo

Desarrollar e implementar tecnologías de cultivo de tejidos vegetales *in vitro* para la clonación, propagación y eventual transformación genética de la palma de aceite.

Principales actividades desarrolladas en 2018

Introducción al programa de clonación de materiales de interés para la palmicultura nacional

Se logró la introducción de 10 nuevas palmas al proceso de clonación, con características de interés agronómico y aparente resistencia a la Pudrición del cogollo.

En la búsqueda de mejoras en la metodología de clonación, un total de 18 palmas fueron introducidas para la estandarización del procedimiento de micropropagación a partir de inflorescencias (Figura 9). Se obtuvieron resultados positivos y se observó el desarrollo de embrioides.

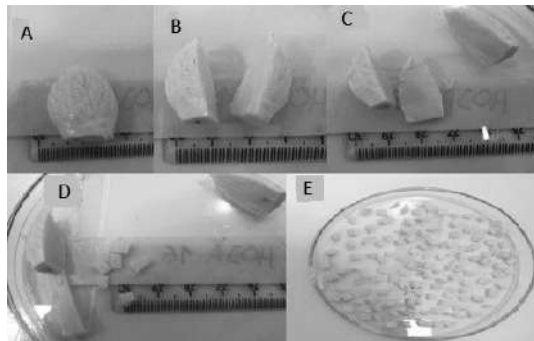


FIGURA 9. Cortes de una inflorescencia inmadura para iniciar el proceso de clonación A) Inflorescencia desnuda B) y C) Cortes transversales D) Corte de segmentos a introducir E) Cortes finales de explantes (2-4 mm)

Durante el 2018 se generaron 73 nuevas líneas embrionarias, 1.600 callos provenientes de años anteriores y hay en proceso de desarrollo 200 brotes de plántulas. A partir de las introducciones de este año, se obtuvieron 217 callos de tipo embriogénico y de estos se espera la proliferación de embrioides y las respectivas líneas embrionarias.

Aclimatación, adaptación y siembra de plántulas obtenidas mediante cultivo de tejidos vegetales *in vitro* en las diferentes zonas palmeras

Al finalizar 2018, se tienen en fase de aclimatación 1.000 plántulas en proceso de endurecimiento, es decir en fase de previvero, y 1.500 en vivero, para mantenimiento y posterior siembra en sitio definitivo.

Se registró la producción de 683 palmas, obtenidas mediante cultivo de tejidos vegetales *in vitro*, sembradas en campo en Zona Central (Campo Experimental Palmar de La Vizcaína). Además, se realizó la

evaluación periódica con el registro de medidas de intercambio de gases y de cosecha, y el censo periódico para la identificación de síntomas asociados a Pudrición del cogollo, en palmas clonadas sembradas en Tumaco y en la Zona Central.

Proyecto: Producción de variedades mejoradas de palma de aceite

Objetivo

Generar materiales de palma de aceite de buena producción y calidad de aceite, resistentes a plagas y enfermedades, y adaptados a las condiciones agroclimáticas colombianas.

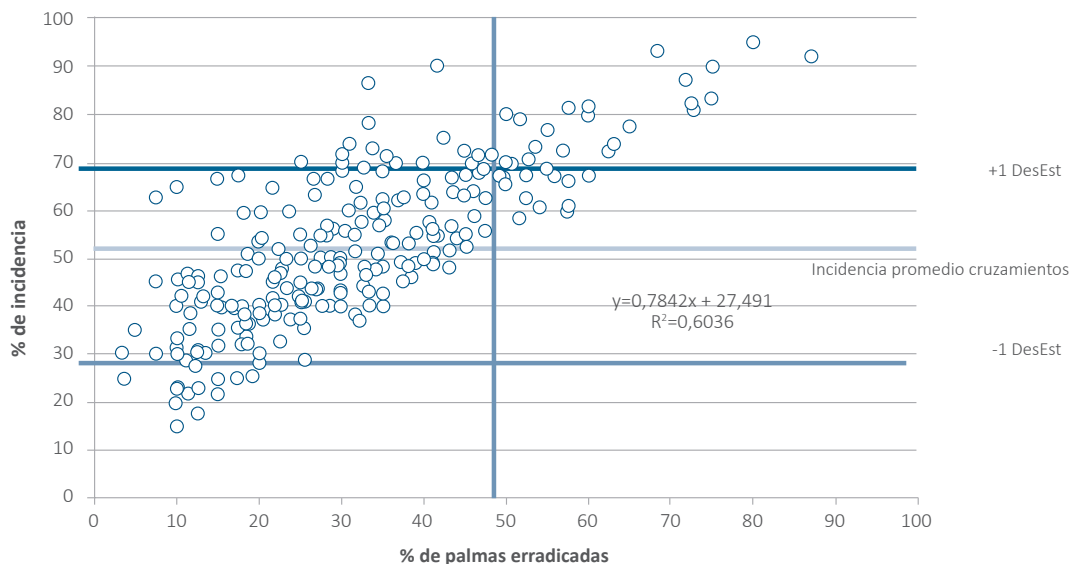
Principales actividades desarrolladas en 2018

Búsqueda de fuentes de resistencia a la PC en *Elaeis guineensis*

En las zonas Central y Suroccidental se evaluaron cruzamientos Angola x Tester y Camerún x Tester, con el objeto de identificar fuentes de resistencia a la PC, ya sea por su baja incidencia o su baja severidad. Los resultados, en palmas de vivero en condiciones de umbráculo (humedad relativa mayor a 80 % y temperaturas por debajo de los 35 °C), mostraron que es posible discriminar los cruzamientos altamente susceptibles por su incidencia y severidad al ser inoculados con *P. palmivora*. No obstante, se continuará estandarizando una metodología temprana de selección.

Por otro lado, en condiciones de campo se continuó con la evaluación de 242 cruzamientos Angola x Tester, con incidencia del experimento que hasta diciembre de 2018 superó el 50 % en estados naturales de la enfermedad. Sin embargo, los resultados permiten evidenciar que es posible identificar cruzamientos con menor susceptibilidad, promisorios por sus bajas incidencias y severidades (Figura 10).

FIGURA 10. Porcentajes de incidencia y de palmas erradicadas en cruzamientos Angola x Tester, evaluados 21 meses después de la siembra en una zona con alta incidencia de PC (cada círculo representa un cruzamiento)





Mejoramiento de *Elaeis oleifera* y generación de híbridos interespecíficos OxG

El mejoramiento de la especie *Elaeis oleifera* es fundamental para obtener nuevas generaciones de palmas con características deseables y superiores a las que actualmente se utilizan para la producción de híbridos OxG. Durante el 2018, se continuó desarrollando el plan de cruzamientos de OxO y OxG; algunos se realizaron con accesiones procedentes de diferentes orígenes, que presentan características deseables como: aceite a racimo, aceite a mesocarpio, número de frutos a racimo, entre otros. Adicionalmente, la generación de dichos cruzamientos permite evaluar cómo se complementan los caracteres introgressados, o si existe un efecto materno en algunos de ellos.

En el mejoramiento de los híbridos OxG, se completaron más de 50 cruzamientos utilizando las mejores familias e individuos femeninos de la colección de trabajo de *Elaeis oleifera* (altas tasas de extracción de aceite y bajas incidencias de PC), cruzadas con polen *pisifera* de palmas sobresalientes. Los cruzamientos OxG generados, serán evaluados en pruebas de progenie en las áreas agroecológicas representativas de las zonas palmeras.

Resultados e impacto del programa

Se continuó trabajando en el mantenimiento y la conservación de las colecciones biológicas, dando especial énfasis al manejo nutricional y de enfermedades que podrían poner en riesgo de erosión genética (pérdida de accesiones que reducen la variabilidad genética de las colecciones).

Se realizaron introducciones a la colección de *E. oleifera* de nuevas accesiones con características sobresalientes de aceite y ácidos grasos insaturados.

En 2018, se destacan los resultados de determinación del momento óptimo de cosecha en diferentes híbridos, y la formación de frutos partenocárpicos en el híbrido a través de la polinización artificial, tecnologías que aumentan la producción de cinco a siete puntos de extracción.

Para determinar el potencial del cultivo de palma de aceite como sumidero de carbono, usando el método de flujos turbulentos conocido como Eddy Covariance, se concluyó que el cultivo de palma de aceite puede desempeñar un papel importante debido a sus condiciones de grandes extensiones, su característica de “perenne” y su capacidad de alta producción. Para el caso específico de la Zona Central se ha encontrado que el agroecosistema de palma de aceite presenta un valor promedio de evapotranspiración de 5 mm, y una tasa de fijación de carbono de 19,42 kg C ha⁻¹d⁻¹, lo que permite categorizar este cultivo como un potencial sumidero de carbono.

Se realizaron cruzamientos con palmas de bajo porte (lento crecimiento o palmas enanas) y un comportamiento sobresaliente en producción de RFF con altas tasas de extracción de aceite, para ser evaluadas en pruebas de progenie.

Se identificaron cruzamientos promisorios por su respuesta a la PC en condiciones de campo en una zona de alta presión de inóculo, donde a pesar de esto presentaron bajas incidencias y severidades.

Programa de Plagas y Enfermedades

Área de Fitopatología: investigación en enfermedades de la palma de aceite

Objetivo

Identificar las enfermedades de la palma de aceite en Colombia y establecer estrategias de manejo integrado de ellas, para promover la sostenibilidad del cultivo e incrementar su productividad.

Principales actividades desarrolladas en 2018

Pudrición del cogollo (PC)

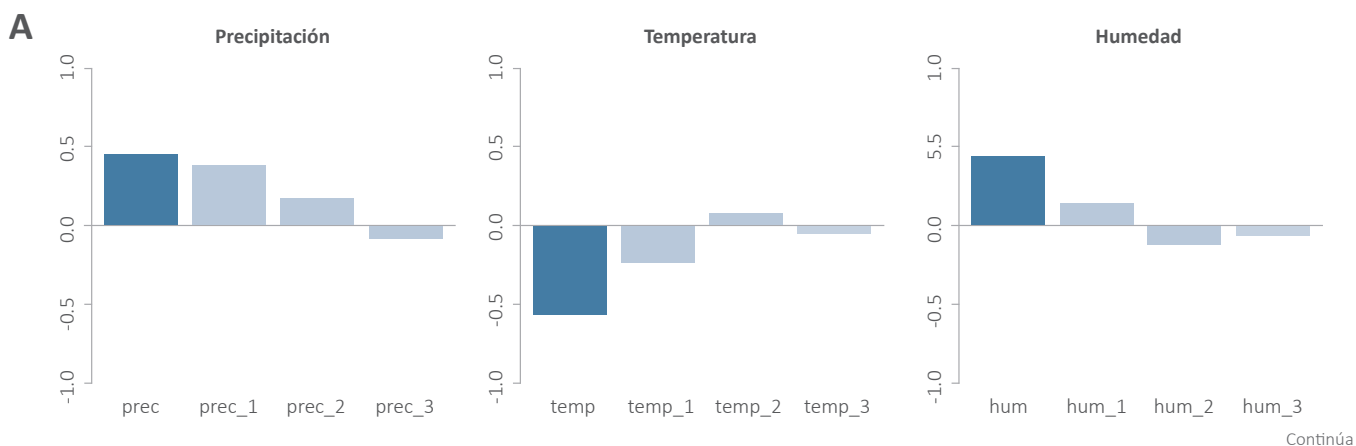
Relación de nuevas áreas con Pudrición del cogollo

Se estandarizó una metodología de detección de *Phytophthora palmivora* en tejidos afectados por la PC, usando cebadores específicos para este patógeno en palma de aceite, diseñados por el Área de Fitopatología de Cenipalma. Se visitaron siete plantaciones de la Zona Oriental y se tomaron 28 muestras de tejido con áreas de avance de la enfermedad. En 14 de estas se lograron detectar bandas positivas que fueron secuenciadas. Los resultados permitieron confirmar a *P. palmivora* en 12 muestras, y su presencia en todas las plantaciones de la Zona Oriental muestreadas.

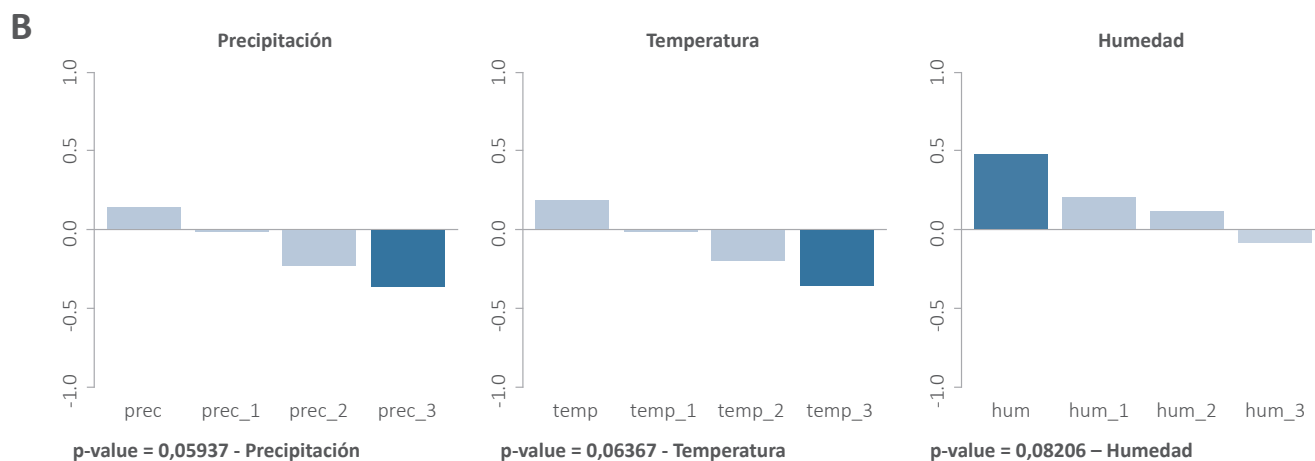
Evaluación de las condiciones ambientales que favorecen el desarrollo de la PC

El seguimiento de la PC y las condiciones climáticas que la favorecen indican que en la Zona Oriental existe correlación positiva y directamente proporcional, entre la precipitación y la humedad relativa con el número de casos nuevos. En cambio, las temperaturas tienen una correlación negativa e inversamente proporcional. En la Zona Suroccidental, el número de casos de PC se relaciona con la humedad relativa, mientras que para las variables de temperatura y precipitación, la correlación no es tan evidente (Figura 11).

FIGURA 11. Correlaciones entre casos nuevos de PC en periodos mensuales y variables climáticas: precipitación, temperatura, humedad A) Zona Oriental B) Zona Suroccidental



Continúa



Estos resultados ayudan a entender el desarrollo de la enfermedad.

Nuevas alternativas de manejo y control de la PC de la palma de aceite en Colombia

Durante 2018, mediante un convenio suscrito con Adama, se evaluaron dos productos para el control de la PC bajo condiciones semicontroladas (humedad relativa y temperatura), en plantas de palmas inoculadas con *P. palmivora*. Se encontraron incidencias de la enfermedad del 36,7 al 40 % y de 35 al 41,7 % en los dos productos, comparado con el testigo sin tratamiento. El área de lesión generada por *P. palmivora* fue mayor en el testigo, que en los tratamientos con fungicida. Se plantea evaluar las dos moléculas promisorias para el control de la PC.

En la búsqueda de reguladores biológicos de *P. palmivora* en la Zona Central, en convenio con Agroince, se obtuvieron ocho bacterias nativas nuevas, con potenciales de inhibición del patógeno hasta del 54,6 %, y un aislamiento nativo de *Trichoderma* que presentó capacidad inhibitoria por metabolitos del 92 % sobre *P. palmivora*.

Con el fin de evaluar otras alternativas de control de la PC en plantaciones, se establecieron dos ensayos para determinar el efecto de reguladores biológicos sobre la incidencia de la enfermedad. Las palmas afectadas por la PC se intervienen mediante cirugía y se ejecuta el programa establecido por Cenipalma. Este consiste en que los residuos son picados y retirados del lote en bolsas selladas y luego carbonizados; se realiza la aplicación de aspersiones químicas a las flechas con un nuevo programa de rondas (productos curativos), y los platos se asperjan con un litro por palma de una suspensión de conidias de *Trichoderma* sp., siendo este último la fuente de variación entre los tratamientos bajo una misma dosis del regulador. En la Zona Central, se logró incidencia acumulada por tratamientos de 33 %, 34 %, 31 % y 20 %, mientras el testigo finalizó con un 30 %. En la Zona Norte, una incidencia acumulada de 48 % frente al testigo con un 90 %.

Marchitez letal (ML)

Adquisición del agente causal de la Marchitez letal por adultos de *Haplaxius crudus*

Se obtuvieron 12.303 adultos de *H. crudus* de la cría masiva de este insecto en el Campo Experimental Palmar de Las Corocoras, destinados a la realización de 38 pruebas de adquisición. Por 19 días en promedio,

permanecieron en el follaje de palmas enfermas. De estos, se recuperaron el 21,6 % (2.660 individuos) que se enviaron al laboratorio de Biología Molecular, para la extracción de ADN y posterior análisis a través de secuenciación genética del insecto.

Determinación de palmas enfermas con ML mediante termógrafos de luz

Se realizaron cuatro muestreos en el experimento que se adelanta con las áreas de Fisiología y Geomática. Se observó que las palmas que expresaron síntomas de ML, presentaron diferencias de temperatura significativas, en comparación con la de las palmas sanas (-3,9 °C en promedio). En la última evaluación, se registraron siete con ML, indicando que en los muestreos dos y tres las plantas ya se encontraban infectadas con ML pero eran asintomáticas.

Otras enfermedades

Seguimiento e identificación de síntomas asociados a otras enfermedades de la palma de aceite

En la Zona Central, en el municipio de San Pablo (Sur de Bolívar), se hizo un seguimiento a palmas que mostraban secamiento de las hojas, entorchándose en los bordes y presentando un color rojizo con borde clorótico. También, secamiento de raíces con coloración rojiza y en los racimos inflorescencias que se pudren. En la fase de diagnóstico de laboratorio no se obtuvo algún microorganismo asociado a los tejidos afectados.

Se evaluó la presencia de flagelados, mediante observación directa de los fluidos de la raíz y por amplificación del ADN con sondas específicas para flagelados, y no se encontraron. Se verificó que la Marchitez presente en San Pablo Sur de Bolívar, no es de tipo sorpresiva, por lo que se inició la búsqueda del agente causal con herramientas moleculares.

Pudrición basal del estípite (PBE)

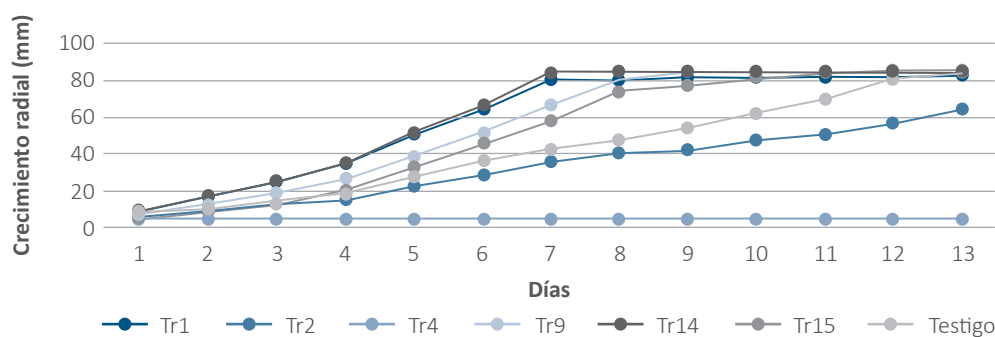
Se obtuvieron aislamientos de *Ganoderma* asociados a la Pudrición basal del estípite y se confirmó su patogenicidad. Cinco de estos se reprodujeron, y se organizó un estudio para realizar pruebas de patogenicidad usando plántulas sanas de palma de aceite, con el fin de identificar la especie predominante de PBE en Colombia. Como resultado se destaca que los aislamientos fueron patogénicos a plantas de palma, logrando en esta forma cumplir los postulados de Koch. Este es un paso muy importante para la identificación del agente causal de la PBE en el país.

En cuanto a alternativas de manejo para la PBE, se evaluaron a nivel *in vitro*, ingredientes activos para el control de *Ganoderma*. Se encontró que el Difenconazol con 1 ppm inhibió su crecimiento en 94,1 %, y que en las concentraciones de 10 y 100 ppm, el Epoxiconazol y el Difenconazol, lo lograron en un 100 %.

En la búsqueda de opciones biológicas, en pruebas *in vitro*, se evaluaron seis cepas de *Trichoderma* y se encontró que el aislamiento Tr4 inhibió el 100 % del crecimiento de *Ganoderma* (Figura 12).



FIGURA 12. Crecimiento radial de *Ganoderma* (CPBsZN35) bajo el efecto de metabolitos volátiles de seis aislamientos de *Trichoderma* spp.



Evaluación de alternativas químicas para el manejo de *Uwemyces elaeidis*

En otras enfermedades, como la mancha foliar causada por *Uwemyces elaeidis* que afecta principalmente al híbrido, se realizaron evaluaciones a nivel *in vitro* de fungicidas para su manejo. Se encontró que los ingredientes activos Tebuconazole, Propiconazole y Ciproconazol, registraron inhibición en el crecimiento superiores al 70 % en la dosis más baja (1 ppm), y superiores al 80 % en 10 y 100 ppm.

Área de Entomología: investigación en plagas de la palma de aceite

Objetivo

Identificar las plagas más importantes de la palma de aceite en Colombia y establecer estrategias para su manejo y control, como uno de los elementos necesarios para la sostenibilidad del cultivo.

Principales actividades desarrolladas en 2018

Colección de artrópodos plagas y organismos benéficos del cultivo de la palma de aceite

Las colecciones de artrópodos plagas y organismos benéficos en las cuatro zonas palmeras, se enriquecieron con el ingreso de diversos especímenes, tanto de plagas como de sus controladores biológicos. En relación con los microorganismos entomopatógenos se lograron 48 aislamientos de hongos, llegando a un total de 216 viables, conservados en el Laboratorio de Microorganismos Entomopatógenos de Cenipalma, LMEC. Así mismo, se obtuvieron dos nuevas especies de nematodos de la familia *Steinernematidae* para un total de 12 provenientes de las zonas palmeras, que se conservan *in vivo*. Estos microorganismos entomopatógenos son el insumo primordial para la selección de controladores biológicos de las principales plagas del cultivo de la palma de aceite.

Determinación de la eficacia de hongos y nematodos entomopatógenos en el control de plagas de la palma de aceite

Los experimentos de campo realizados en plantaciones de la Zona Norte, mostraron que *Metarhizium anisopliae* causó una mortalidad del 49 % y 49,5 % en adultos de *Cephaloleia vagelineata*.

En pruebas con nematodos entomopatógenos, se logró determinar que el *Heterorhabditis* sp., asperjado en el paquete de flechas de las palmas, ocasiona 83 % de mortalidad en las larvas de *C. vagelineata*, después de 19 días de aplicado. Las larvas afectadas cambiaron su coloración blanca a rojiza, color característico de la infección por nematodos de la familia *Heterorhabditidae* (Figura 13).

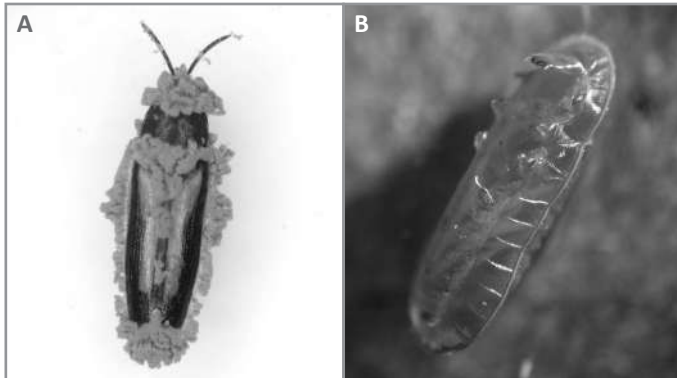
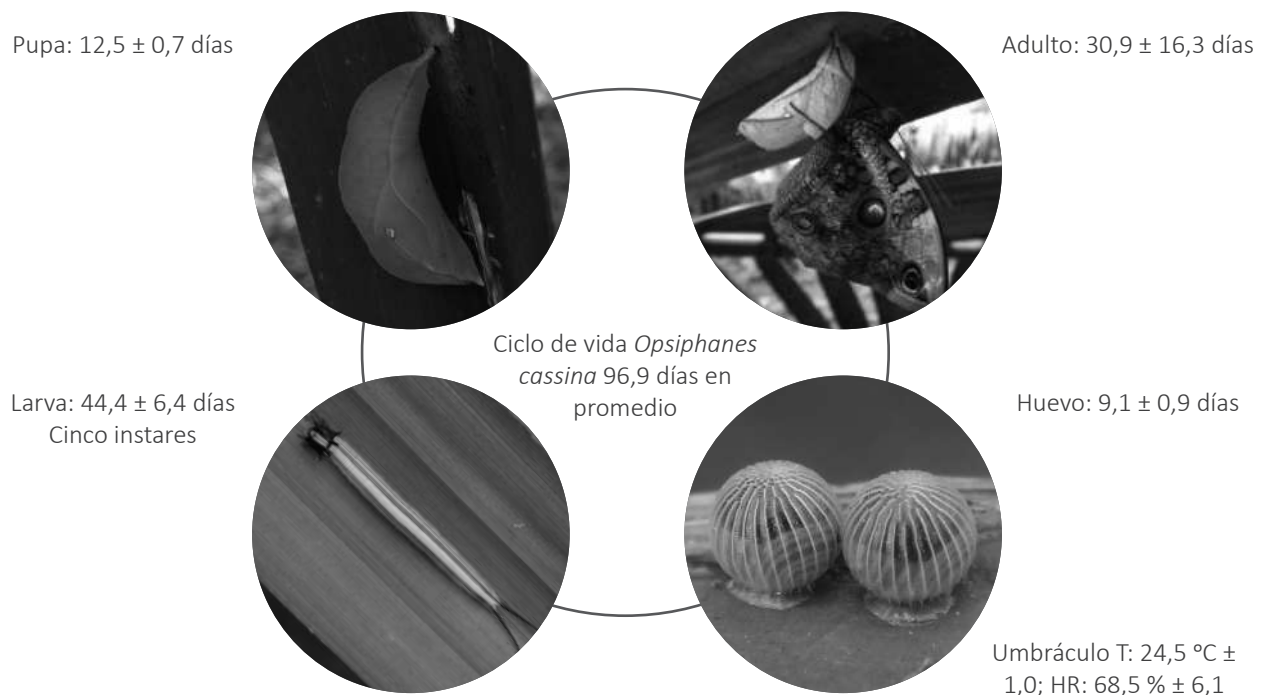


FIGURA 13. Control biológico de *Cephaloleia vagelineata* A) Adulto esporulado con el hongo entomopatógeno *Metarhizium anisopliae*. B) Larva infectada por el nematodo *Heterorhabditis* sp.

Fluctuación de poblaciones de defoliadores, biología y enemigos nativos

Los estudios de biología de *Opsiphanes cassina*, realizados en las zonas Norte y Suroccidental, mostraron que la duración del ciclo de vida varió, debido a las diferencias en las condiciones ambientales de los sitios de estudio. Las larvas pasan por cinco instares (Figura 14) y el ciclo de huevo a adulto lo completan entre 52 y 66 días.

FIGURA 14. Estados de *Opsiphanes cassina* y su duración en la Zona Suroccidental (temperatura 24,5 °C ± 1,0; humedad relativa: 68,5 % ± 6,1 %).





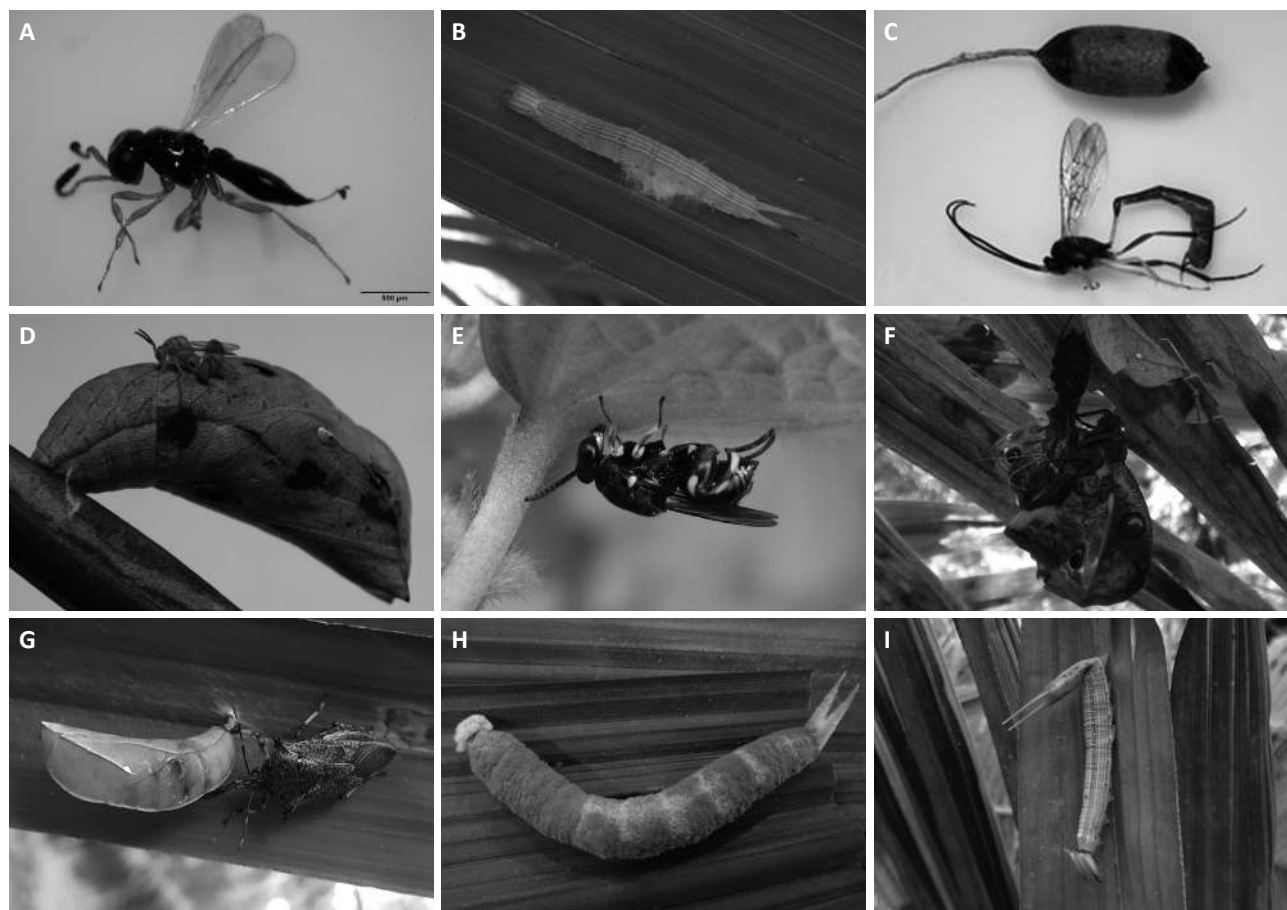
Las larvas de este defoliador consumen en promedio 322 cm² de área foliar durante su vida. El V instar fue el más voraz, con el 71 % del total del área consumida (228,6 cm²).

La gran diversidad de fauna benéfica en el agroecosistema de la palma de aceite contribuye a mantener bajas sus poblaciones, ya que encuentran alimento y resguardo en las plantas nectaríferas. Estos controladores biológicos, contribuyen con el 37 % de la regulación de la población de *O. cassina*.

Se detectaron los parasitoides *Telenomus* sp. (controlan huevos de *O. cassina*), *Cotesia* sp. y *Casinaria* sp. (controlan larvas), y *Spilochalcis* sp. y *Brachymeria* sp. (parasitan pupas), así como depredadores de la familia *Reduviidae*, *Chrysopidae* y *Alcaeorhynchus grandis* (Figura 15). También se encontraron larvas infectadas con *Metarhizium anisopliae* y se colectaron dos con síntomas de infección viral.

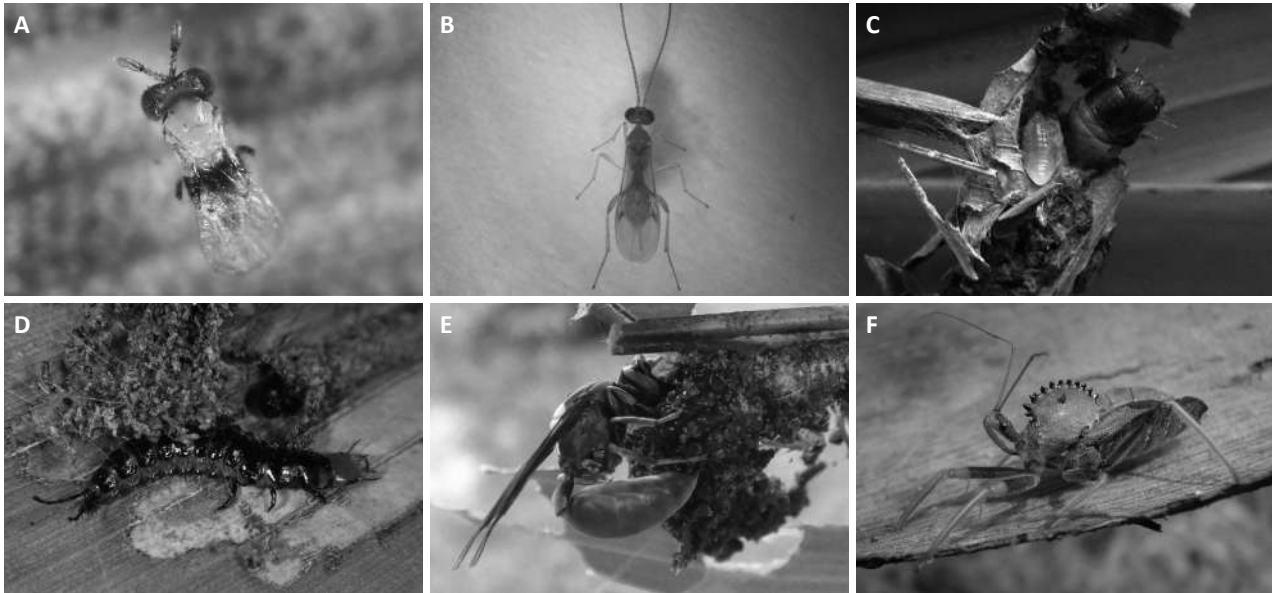
La evaluación de dinámica poblacional de *Loxotoma elegans* se desarrolló en el Campo Experimental Palmar de Las Corocoras. Su ciclo de vida es de aproximadamente 90 días, presentando cuatro generaciones durante el año. El estado de huevo evidenció un parasitismo alto por *Trichogramma* sp., mayor al 80 %, que contribuyó a reducir la población de la plaga. El principal control natural fue ejercido por parasitoides

FIGURA 15. Controladores biológicos de *Opsiphanes cassina* A) *Telenomus* sp., parasitoide de huevos; B) Larva parasitada por *Cotesia* sp.; C) *Casinaria* sp., parasitoide de larvas; D) Adulto de *Spilochalcis* sp., parasitoide de pupas; E) Adulto de *Brachymeria* sp., parasitoide de pupas; F) Adulto de *Reduviidae*, depredador de larvas y adultos; G) Ninfas de *Alcaeorhynchus grandis*, depredador de larvas; H) Larva infectada por *Metarhizium anisopliae*; I) Larva infectada con virus.



y depredadores entre los instares III a VII. De los parasitoides se destacan *Rhysipolis* sp. y varias especies de *Braconidae*, y de los depredadores, los carábidos y las arañas. Los instares VII y X fueron depredados por avispas de la familia *Vespidae* y *Reduviidae*, y los instares XI y XII parasitados por un *Braconidae* (Figura 16).

FIGURA 16. Controladores biológicos de *Loxotoma elegans* A) *Trichogramma* sp.; B) *Rhysipolis* sp.; C) Larva parasitada por *Braconidae*; D) Larva de *Carabidae*; E) *Polybia* sp.; f) *Arilus* sp.



Se observó que estos controladores biológicos de *L. elegans* visitaron 12 especies de plantas nectaríferas, establecidas en el borde del lote experimental, atraídos por azúcares o refugio para su supervivencia.

Biología, supervivencia, presencia y control de *Haplaxius crudus*

El ciclo de vida de *H. crudus* tuvo una duración de 83,2 días. El huevo duró $15,4 \pm 0,90$ días y tuvo una fertilidad del 74 %; el estado ninfal duró 48,3 días y el adulto $19,5 \pm 11,3$ días.

Se evaluó la oviposición de hembras alimentadas en diferentes cultivares de palma de aceite. La mayor se encontró en el Deli x La Mé 1001 ($13,8 \pm 14,5$ huevos/hembra), seguido de coco ($13,5 \pm 18,9$ huevos/hembra); mientras que en el híbrido Coari x La Mé no se registró oviposición (Tabla 2).

TABLA 2. Oviposición de hembras de *Haplaxius crudus* alimentadas en diferentes cultivares de palma de aceite (T: $26,1^\circ\text{C} \pm 3,0^\circ\text{C}$; HR: $87,6\% \pm 17,4\%$)

Cultivar	Hembras que ovipositaron	Cantidad de huevos		Supervivencia (días)	
		Promedio huevos/hembra	Total	Hembras	Machos
Deli x La Mé 1001 (<i>E. guineensis</i>)	70 %	$13,8 \pm 14,5$	275	$9,9 \pm 3,7$	$8,2 \pm 2,7$
Coari x La Mé (OxG)	-	-	-	$6,9 \pm 2,8$	$6,2 \pm 3,7$
Coco amarillo enano	50 %	$13,5 \pm 18,9$	270	$25,2 \pm 12,3$	$16,5 \pm 13,3$



En relación con la supervivencia de los adultos de *H. crudus* en cultivares *E. guineensis* e híbridos OxG, se observó que la menor ocurrió en el Coari x La Mé (Fortuna 0076L). Esta información es importante porque indica que si en este cultivar los adultos no ovipositan y no sobreviven, lo convierte en un material en el que la ML no se presentaría.

También se evaluó la supervivencia de adultos de *H. crudus* en *Veitchia merrillii* (Palma de navidad), que se registra en la literatura como un hospedero natural de *Haplaxius crudus*. El resultado fue de $30,6 \pm 14,8$ días (T: $27,1^{\circ}\text{C} \pm 4,2^{\circ}\text{C}$; HR: $86,3 \% \pm 19,1 \%$), indicando que esta palma ornamental, que se encuentra ampliamente en las zonas palmeras de Colombia, es un hospedero favorable para los adultos de *H. crudus* y puede jugar un papel importante en la diseminación de la ML.

Se consolidó la información sobre la presencia de *H. crudus* en todas las zonas palmeras, encontrando que el insecto está ampliamente distribuido en las plantaciones de palma de aceite con diferentes cultivares y edades: en la Zona Norte está presente en nueve municipios; en la Zona Central en siete y en la Zona Oriental en 22. En la Zona Suroccidental aún no se registra su presencia.

En la búsqueda de control de *H. crudus*, en el Campo Experimental Palmar de Las Corocoras, se evaluaron cuatro insecticidas con actividad sistémica (permitidos por la norma RSPO) que actúan en el insecto por contacto e ingestión, afectando su sistema nervioso.

Se seleccionaron Clothianidin y Dinotefuran para evaluar su eficacia en tres dosis (108, 215 y 322 g/ha), que ocasionaron una mortalidad superior al 90 % tres días después de la aspersión. Sin embargo, se encontró que la dosis más alta (322 g/ha), que fue la más eficaz en el control de adultos de *H. crudus*, redujo su efectividad a los 15 días de la aplicación.

En cuanto al control biológico, los experimentos realizados en la Zona Oriental mostraron reducción del 78 % en el número de adultos, 30 días después de la aplicación de *Metarhizium anisopliae*. Estos resultados confirman la información previa sobre la eficacia de *M. anisopliae*. Es importante resaltar que el control de adultos con este hongo, se debe complementar con otras medidas como erradicación de gramíneas y establecimiento de plantas de hoja ancha, para así eliminar el hospedero de los estados inmaduros del insecto.

Resultados e impactos del programa

Se diseñó a nivel molecular un par de cebadores específicos para *Phytophthora palmivora*, capaces de detectar el patógeno en tejidos de palma, lo que se traduce en una herramienta en los casos en los que no se puede lograr el aislamiento. Se detectó *Phytophthora palmivora* en palmas afectadas con Pudrición del cogollo en la Zona Oriental, lo que confirma la presencia de este patógeno en la región. Se avanzó en la generación de alternativas de regulación biológica de *P. palmivora*, con la obtención de cuatro microorganismos antagónicos nuevos, evaluados *in vitro*, presentando inhibiciones de *P. palmivora* por encima del 50 %. Se identificaron dos moléculas químicas a nivel *in vitro* e *in vivo* en condiciones controladas como promisorias, para incluir dentro del plan de manejo integrado de la Pudrición del cogollo.

Se logró, por primera vez, la patogenicidad de aislamientos de *Ganoderma* sobre plantas de palma de aceite, lo que confirma que este aislamiento es el agente causal de la PBE en Colombia. Se dieron avances para la generación de alternativas de control biológico para el manejo de la Pudrición basal del estípite, mediante la evaluación de seis cepas de *Trichoderma in vitro*, probadas sobre el aislamiento capaz de causar la enfermedad; estas presentaron una inhibición del patógeno superior al 80 %.

Por otra parte, el área de Fitopatología dictó 13 cursos de capacitación en las cuatro zonas palmeras del país, donde se presentaron los avances de investigación en torno a la PC; cuatro en la Zona Oriental, donde se expusieron los logros en la ML, y nueve más sobre otras enfermedades.

Los estudios acerca de la dinámica poblacional de los defoliadores, han proporcionado conocimientos sobre la biología, enemigos nativos y la interacción con las plantas nectaríferas de *Loxotoma elegans*, *Stenoma cecropia*, *Euprosterna elaeasa* y *Opsiphanes cassina*, lo que permite realizar las siguientes recomendaciones:

- No aplicar insecticidas de síntesis química. Solo acudir a estos cuando por descuido en los monitoreos, las poblaciones alcancen niveles difíciles de detener.
- Fomentar la presencia de la fauna benéfica a través de plantas nectaríferas en las coberturas.
- Realizar recorridos continuos para detectar el daño de defoliadores e identificar los focos iniciales de la plaga, o hacerlo a través de trampas de bolsas con atrayentes para adultos, como es el caso de *Opsiphanes cassina*.
- Colectar, en los recorridos, larvas enfermas con síntomas de virosis, para procesarlas y diseminar el virus en las áreas afectadas.
- Aplicar *Bacillus thuringiensis* comercial (Dipel), si las poblaciones se incrementan, y preferiblemente cuando el insecto se encuentre entre el I y III instar. Las dosis varían de acuerdo con el desarrollo de la palma entre 500 g a 1.000 g/hectárea.
- Tener personal especializado en labores de aspersión, que puedan calibrar equipos y hacer una correcta aplicación, depositando en cada palma el volumen apropiado del producto para lograr un control eficaz de la plaga.

El uso de coberturas vegetales con tusas, hojas de la poda y la aplicación de nematodos al plato de la palma, permiten reducir el daño de *Sagalassa valida*.

En 25 especies de plantas nectaríferas se encontró una gran biodiversidad de insectos benéficos alimentándose de ellas, que contribuyen en el control de las plagas de la palma.

Programa de Agronomía

Proyecto: Manejo integrado de suelos y aguas

Objetivo

Investigar la relación suelo-agua-planta e integrar las labores de adecuación de tierras para la siembra y la renovación, nutrición y sistemas de riego y drenaje, que mejoren la productividad y sostenibilidad de la producción de aceite de palma con tecnologías económicamente viables, ambientalmente sostenibles y socialmente aceptables.



Principales actividades desarrolladas en 2018

Determinación de los requerimientos nutricionales de la palma (énfasis en el híbrido OxG)

En el 2018, se documentaron los rendimientos correspondientes al quinto año de producción en los ensayos iniciados en el 2011 en la Zona Oriental, en dos plantaciones comerciales, sobre terrenos contrastantes: uno proveniente de un cultivo de arroz y otro de renovación del cultivo de palma. En cada uno se sembraron plántulas híbridas Coari x La Mé y Oleífera x Mongana provenientes de las mismas plantaciones.

Durante el tiempo de la investigación, se aplicaron dosis altas de nitrógeno (N) combinadas con los restantes nutrientes (200 % N + PKBMg). Se alcanzaron rendimientos anuales de RFF cercanos a 30 t/ha, en el quinto año de producción del cultivo, en los dos cultivares híbridos evaluados. Los rendimientos presentaron menores valores, cuando no se aplicó N (0 % N + PKBMg), especialmente en el cultivar OxMo, donde este tratamiento se diferenció estadísticamente de las restantes dosis aplicadas del nutrimento (Figura 17).

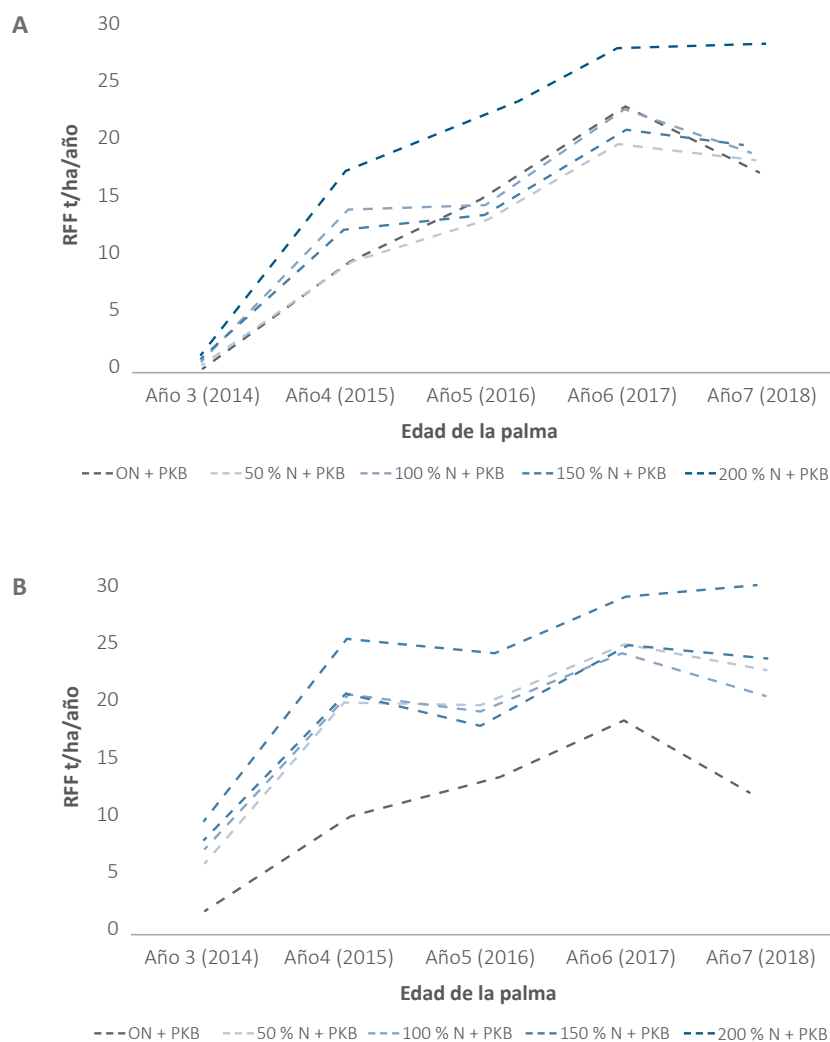


FIGURA 17. Rendimientos anuales de RFF alcanzados en ensayo en la Zona Oriental con los cultivares Coari x La Mé (A) y OxMo (B)

Con relación al potasio (K), las respuestas positivas a las aplicaciones de las diferentes dosis fueron claras hasta el cuarto año de producción, con rendimientos cercanos a 30 t/ha de RFF (200 % K + NPBMg). En el quinto año, cayeron a 23 t/ha, disminuyendo la diferencia en producción con el alcanzado en las palmas que no recibieron este nutriente (0 % K + NPBMg).

Contrario a lo sucedido con las aplicaciones de N y K, se presentó un efecto negativo sobre los rendimientos anuales de fruto al incrementar la dosis de boro (B). Se pasó de 22 t/ha en el quinto año de producción sin suministro de B (0 % B + NPKMg), a 16 t/ha con la aplicación de la dosis alta del nutriente.

Los rendimientos anuales de RFF se correlacionaron positivamente, de manera significativa y altamente significativa con las variables vegetativas, y no se correlacionaron con el contenido foliar de nutrientes. Se reafirma así lo expresado en la literatura, en el sentido que el buen desarrollo de las palmas en la fase vegetativa del cultivo, permite alcanzar altos rendimientos de RFF durante los primeros años de producción.

El análisis económico de los datos del ensayo 2012-2017 en el cultivar Coari x La Mé siembra 2007, donde se evaluaron tres dosis de nitrógeno (N1= 50 %, N2=100 % y N3= 150 % de lo aplicado a *E. guineensis*); dos dosis de fósforo (P1= 100 % y P2= 150 % de lo aplicado a *E. guineensis*) y tres dosis de potasio (K1= 50 %, K2=100 % y K3= 150 % de lo aplicado a *E. guineensis*), se realizó mediante la técnica de la dominancia estocástica. El resultado mostró que los mayores beneficios netos, obtenidos al relacionar los costos totales con los ingresos brutos, se alcanzaron en los tratamientos en los que se aplicaron dosis altas de nitrógeno (N3), acompañadas con los otros nutrientes. Los resultados reafirman la importancia del nitrógeno en el plan de fertilización de cultivares híbridos.

Los análisis foliares del experimento en Zona Central evidenciaron que las dosis crecientes de potasio influyen en el incremento lineal de los contenidos de este elemento, tanto en los folíolos como en el raquis de la hoja. Esto indicaría que el híbrido puede tener reservorios de potasio en estructuras diferentes al folíolo, que sería necesario considerar en los cálculos de eficiencia de la fertilización, debido a que hacen parte del nutriente absorbido por el cultivo para sus funciones fisiológicas.

Por otra parte, el cálculo de las eficiencias nutricionales (Tabla 3) mostró balances parciales de nutrientes (BPN) menores a 100, indicativo de bajas eficiencias de uso y que presentan oportunidades de mejora en las reservas de nutrientes en el suelo.

TABLA 3. Eficiencias nutricionales en palma híbrida en etapa productiva – Zona Central

Nitrógeno					
Dosis (%)	Producción	BPN (*100)	FPP	ER (*100)	EA
Referencia		70-90	40-90	40-65	15-30
0	7,67	-	-	-	-
50	12,62	69,14	236,79	27,08	92,73
100	13,02	35,67	122,15	14,64	50,12
150	14,44	26,42	90,47	12,37	42,38
200	6,74	9,24	31,65	-1,28	-4,37

Continúa



Fósforo					
Referencia		70-90	100-250	15-25	15-40
0	10,68	-	-	-	-
50	14,19	92,49	2.101,94	22,87	519,85
100	12,42	40,47	919,78	5,66	93,59
150	12,86	28,08	638,27	4,76	108,18
200	12,10	19,80	449,92	2,33	52,87
Potasio					
Referencia		70-90	75-200	30-50	8-20
0	11,24	-	-	-	-
50	14,81	69,17	195,95	16,67	47,22
100	12,43	28,64	82,28	2,80	7,92
150	12,25	18,95	53,67	1,58	4,49
200	11,97	13,98	39,62	0,86	2,43
Boro					
Referencia		70-90	75-200	30-50	8-20
0	8,53	-	-	-	-
50	13,37	4,21	20,52	1,52	7,43
100	12,57	1,98	9,65	0,64	3,10
150	13,68	1,44	7,00	0,54	2,64
200	10,73	0,84	4,12	0,17	0,84

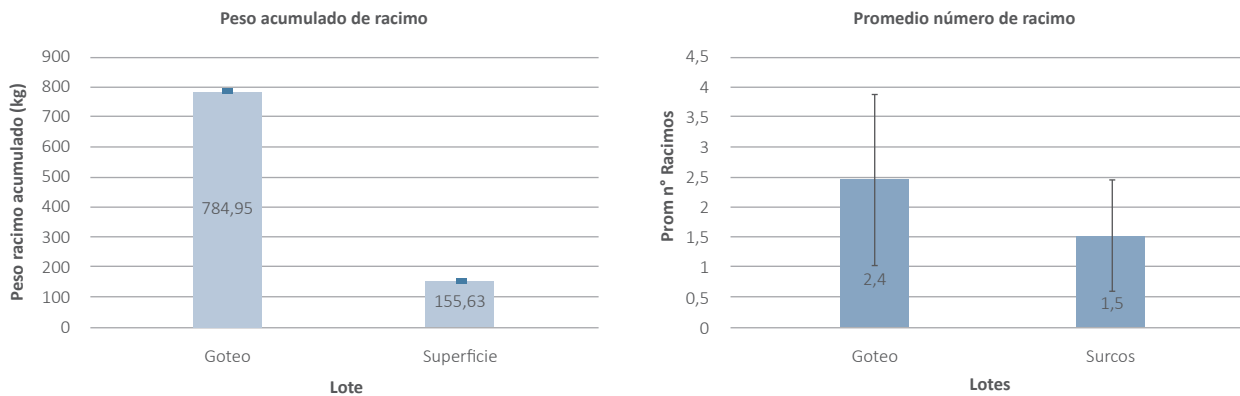
Los factores parciales de productividad (FPP) son indicativos de altas tasas de aplicación de nutrientes cuando las dosis superan el 150 %, generando consumos de lujo por el cultivo. Se encontró además que la eficiencia de recuperación de nutrientes (ER) en la cosecha, es baja en comparación con la eficiencia agronómica (EA), indicando que los nutrientes pueden estar siendo almacenados en estructuras diferentes al racimo, que es necesario considerar en los cálculos de la eficiencia nutricional.

Manejo del recurso hídrico

En el Campo Experimental Palmar de La Sierra, CEPS, Zona Norte, se evalúa el funcionamiento hidráulico de tres sistemas de riego, dos de ellos presurizados (aspersión y goteo de alto caudal) y el otro por superficie (compuertas), en áreas establecidas con los cultivares Deli x Avros y Deli x La Mé.

Para el 2018, los mejores resultados en producción son para el sistema de riego por goteo, esto con respecto a las variables de peso acumulado de racimo y número de racimos (en los cuatro primeros meses de cosecha). En la Figura 18, se aprecia que los valores están por encima de los resultados que se dieron en surcos y con el sistema de compuertas.

FIGURA 18. Variables de rendimiento del cultivar Deli x Ghana bajo los sistemas de riego por goteo y superficie



Se evidencian los impactos positivos de la aplicación de agua sobre los componentes de la producción, y en este caso, explicados en parte por las mayores eficiencias logradas con el sistema de riego por goteo de alto caudal.

En 2018, en el ejercicio de diagnóstico del desempeño hidráulico de los sistemas de riego por superficie y aspersion, se evaluaron lotes de una plantación con riego presurizado acondicionado con tapones; riego por surcos y aspersion en el CEPS; riego por aspersion en una plantación, y riego por surcos en dos plantaciones de la subzona Codazzi.

Con la determinación de las condiciones de suelo de los lotes evaluados, se calcularon las necesidades del riego y eficiencias de los diferentes sistemas, planteando inconvenientes y mejoras para cada uno de ellos. Las recomendaciones para el mejoramiento apuntan al manejo eficiente del agua, la reducción de la huella hídrica y la disminución de los costos, además de la validación de metodologías aplicables para el contexto de la palma.

Para medir el impacto de la profundidad del nivel freático en el desarrollo y producción de la palma de aceite, se estableció una prueba en el Campo Experimental Palmar de La Vizcaína (Zona Central), desde el 2014. Consiste en seis tratamientos que involucran diferentes distancias entre canales de drenaje (cada dos, tres, cuatro y seis líneas de palma), comparándolos con la tecnología de bancales y un tratamiento testigo sin drenaje.

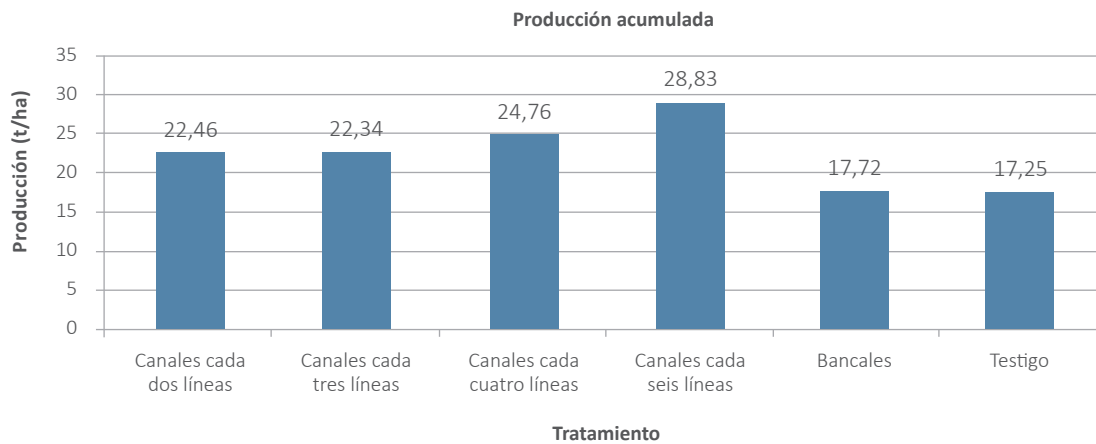
El nivel freático, con implementación de distintas distancias entre drenajes, presenta diferencias entre 10 y 20 cm en profundidad, con respecto al tratamiento testigo sin drenajes y al de bancales. Dichas diferencias influyeron positivamente en la producción, reportando incrementos que oscilan entre 5 y 11 t/ha, en los tres años de registro de la cosecha (Figura 19).

Los drenajes cada seis líneas de palma presentaron también los mayores valores de las variables vegetativas (peso seco y área foliar, y altura de la palma). De esta manera, se puede constatar que la profundidad del nivel freático lograda con este tratamiento, ofrece las mejores condiciones de equilibrio entre el drenaje de los excesos de agua del cultivo y la disponibilidad hídrica en épocas secas. En los análisis foliares, se observó que los contenidos de hierro (Fe) y manganeso (Mn), variaron dependiendo de las condiciones de drenaje. Los tratamientos con menor intensidad de drenaje presentaron los menores índices de estos elementos en las hojas. Los resultados permiten inferir que en el cultivo pueden ser nocivas, tanto



las condiciones de mal drenaje como los excesos de este; y que para el caso de los micronutrientes, las deficientes condiciones de drenaje pueden aumentar su disponibilidad, especialmente en el caso del Mn, pero sin incrementar su capacidad de absorción por el cultivo, como se ha aceptado en los últimos años.

FIGURA 19. Producción de racimos de fruta fresca en el experimento sobre impacto de drenajes Zona Central



Caracterización del malogro de racimos en cultivar híbrido OxG en la Zona Suroccidental

Durante un año, se realizó el seguimiento en una plantación de la Zona Suroccidental, con el objetivo de caracterizar el malogro de racimos en un cultivar híbrido OxG, en dos paisajes representativos (planicie y lomerío).

La línea base mostró que las pérdidas de racimos, a causa de malogro, tanto en lomerío como en planicie, se encontraban en 36,9 y 38,7 %, respectivamente. El 80 % de los racimos malogrados no presentaban señal de polinización asistida (marcación de la hoja). Se consideró como punto importante esta labor, por lo que se optó por mejorar la práctica partiendo de un 9,7 % de eficiencia y alcanzando una superior al 90 %, al final del periodo de evaluación (Figura 20).

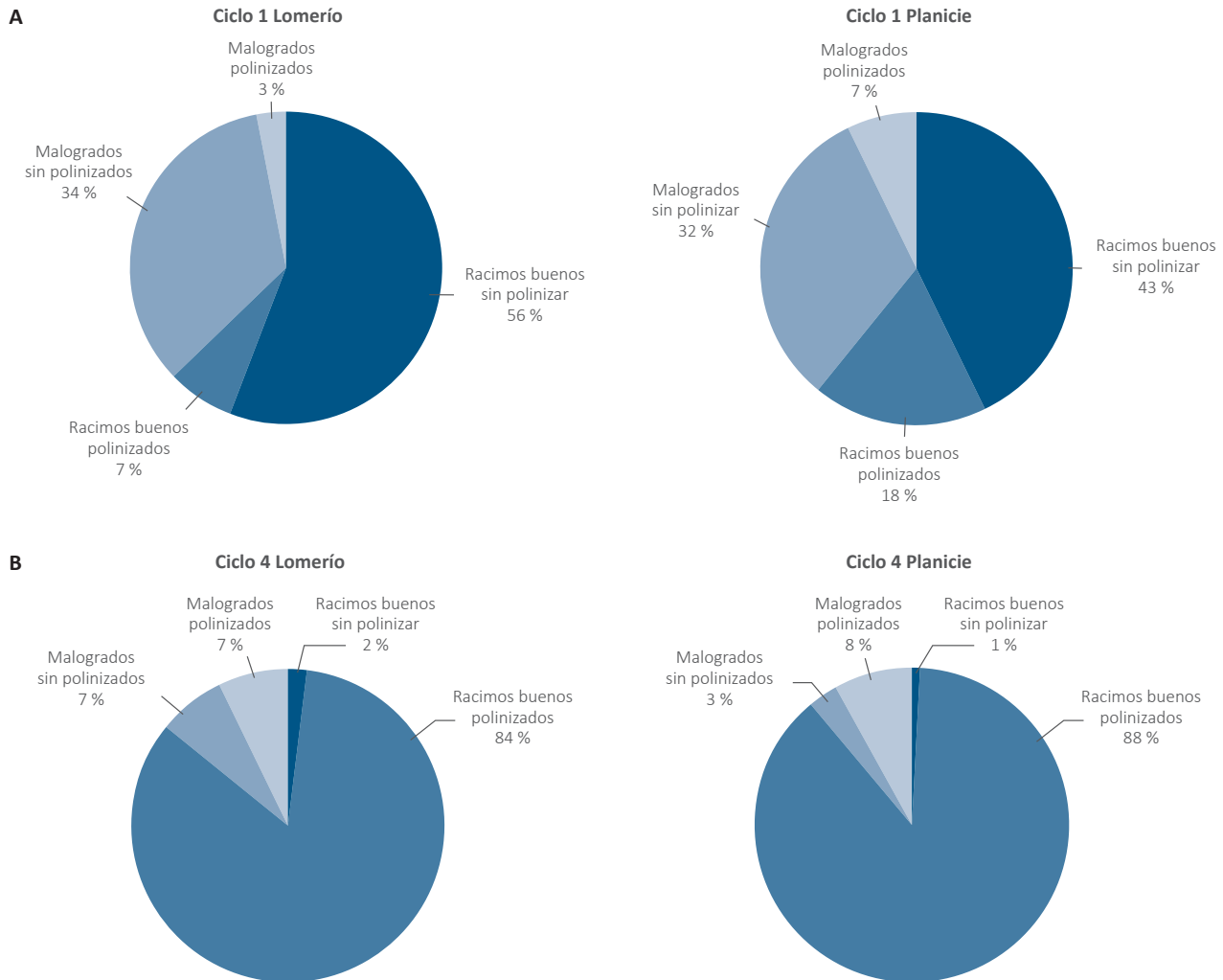
Se observó que el aumento en la eficiencia de la labor de la polinización asistida, acompañada de prácticas adecuadas de cultivo tales como mantenimiento, poda de hojas, aplicación de tusa y fertilización, disminuyó los porcentajes de malogro de racimos. Esto, a niveles de valores cercanos al 40 %, 13,3 % y 10,8 % para la zona de lomerío y planicie, respectivamente. En general se logró disminuir el malogro de racimos y es necesario incrementar la eficiencia de la polinización.

Proyecto: Mecanización agrícola

Objetivo

Implementar y evaluar prácticas mecanizadas e integrales en sistemas de adecuación de tierras para la siembra, mantenimiento, transporte interno de racimos, manejo y aplicación de los fertilizantes, polinización y renovación del cultivo.

FIGURA 20. Evaluación malgrado de racimos Zona Suroccidental. A) Línea base con eficiencias de polinización 10 % en lomerío y 25 % en planicie; B) Ciclo 4 de producción con eficiencias de polinización de 91 % en lomerío y 96 % en planicie



Principales actividades desarrolladas en 2018

Evaluación y validación de tecnologías de mecanización en plantaciones

Se evaluó en el departamento del Meta, la voleadora de fertilizantes Verion, dotada de sensores para aplicar las dosificaciones deseadas y con equipo de posicionamiento satelital (GPS). Se realizaron dos pruebas: con 0 % y 50 % de traslape, que es como lo realiza la plantación, a una velocidad media de operación del tractor de 6,6 km/h.

En la primera prueba, se evidenció que la calle por la que transita el tractor es la franja en donde se esparce la mayor parte del fertilizante. Muchas de las bandejas dispuestas para evaluar la cobertura en los extremos, no capturaron fertilizante, a pesar de que el ancho teórico de trabajo del equipo es de 36 m. En la segunda configuración analizada (cada 18 metros), que es como normalmente lo hace la plantación, se aprecia una mejor distribución del fertilizante.



En el Campo Experimental Palmar de Las Corocoras, se está evaluando el sitio óptimo de colocación de fertilizantes en el híbrido interespecífico OxG, con tres tratamientos (aplicación tradicional en zona de cajón, fertilizante incorporado en ocho huecos en el área del plato y aplicado al voleo en la calle de no tráfico).

También se examina el efecto del laboreo en suelos compactos sobre el establecimiento del cultivo de palma de aceite. Se midió la resistencia a la penetración, previo a la labranza del suelo y posterior a esta, encontrando que el Cenitandem (T3 - Cenitandem en línea de siembra y cincel rígido en el resto del área, consecutivos, y T4 - Cenitandem un año después en el resto del área) presentó los menores valores promedio, inferiores a 10 kg-f/cm² hasta los 30 cm de profundidad, y entre 10 y 20 kg-f/cm² entre 35 y 45 cm de profundidad, siendo esta una condición favorable para la zona de raíces.

Proyecto: Tecnologías y procesos agronómicos

Objetivo

Evaluar e implementar tecnologías y procesos para la ejecución de labores en el cultivo de la palma de aceite, por su impacto en los componentes de sostenibilidad de la agroindustria en Colombia.

Principales actividades desarrolladas en 2018

Evaluación técnica y económica del proceso de la cosecha mecanizada

En una plantación de la Zona Central, se realizó la caracterización morfológica y física de los suelos en cuatro lotes, para conocer el efecto del paso repetitivo del implemento de cosecha Grabber sobre las propiedades físicas de dichos suelos. Además se hizo seguimiento al Grabber para determinar la dinámica de la recolección y transporte de los racimos de fruto fresco (RFF) al interior de la plantación.

Se encontró una capa levemente endurecida en la calle de cosecha para uno de los lotes, pero en el otro, el efecto no fue evidente. El seguimiento al proceso de la cosecha mecanizada con el equipo Grabber, permitió observar el trayecto que sigue y su distribución; los sitios donde el carro está lleno y donde inicia nuevamente la recolección. Los recorridos fueron uniformes en dos lotes (en los que la altura de la vegetación en las calles de palera impide la visibilidad del operario, obligándolo a hacer el recorrido completo) e irregulares en los otros dos. El estudio continuará.

Evaluación de tecnologías y procesos para el manejo de artrópodos plaga y patógenos de la palma de aceite

Tradicionalmente para realizar las evaluaciones de calidad de aplicación, se trabaja con láminas de papel hidrosensible o papel propalcote, que presenta inconvenientes por su alta sensibilidad a la humedad y por la dificultad para ubicarlos en la palma.

Durante el 2018, se trabajó en el desarrollo de la metodología alternativa con base en el uso de una sustancia fluorescente llamada Tinopal CBS-X, que permite evaluar la aplicación directamente sobre el foliolo de la palma, empleando luz UV. Adicionalmente, se puede tomar una fotografía del foliolo y mediante técnicas de procesamiento de imágenes (por ejemplo, con el *software* libre ImageJ), se estiman los parámetros deseados para medir la calidad de la aplicación.

Se documentó también, durante el 2018, la eficacia de la aplicación de cuatro equipos para el control de artrópodos plaga: el VMA (controladores digitales diseñados para mediciones y aplicaciones de Volumen de Aire Variable), dron, máquina Sthil SR 450 y la semiestacionaria arrastrada por el tractor. La evaluación preliminar de criterios incluyó: tamaño de partículas, porcentaje de área cubierta y densidad de gotas (gotas/cm²), logrando en esta última entre 1,7 hasta 41,9, en los diferentes niveles foliares, con los distintos equipos. Según la FAO, la cobertura mínima para insecticidas y fungicidas debe ser alrededor de 20 y 50 gotas/cm². Sin embargo, es importante resaltar que la densidad de cobertura precisa se debe definir en función del complejo biológico-químico entre la plaga y el ingrediente activo. El ensayo continuará.

Evaluación técnica de metodologías eficientes para la polinización asistida

En el 2018, se realizó la documentación del proceso de supervisión de la polinización asistida en híbridos OxG, en tres plantaciones de la Zona Central, y se determinaron cuatro indicadores:

- **Eficiencia de la polinización:** este índice establece el porcentaje de inflorescencias polinizadas con relación a las inflorescencias en antesis reportadas por el supervisor. Así, si el operario está realizando su labor de manera correcta, el porcentaje debe ser superior al 97 %.

$$\text{Eficiencia de polinización} = \left[\frac{\Sigma \text{Inflorescencias polinizadas}}{\Sigma \text{Inflorescencias en antesis}} \right] * 100$$

- **Calidad de aplicación:** permite determinar si el trabajo se está realizando de forma adecuada. Para ello se relacionan evidencias de la apertura de la bráctea, marcación de la hoja y aplicación de polen. Se considera una aplicación de buena calidad cuando se obtiene un puntaje superior al 97 %.

$$\text{Calidad de la aplicación} = \left[\frac{\Sigma \text{Puntaje obtenido}}{\Sigma \text{Puntaje máximo para las tres prácticas}} \right] * 100$$

- **Índice de confianza:** en este se relacionan únicamente las inflorescencias polinizadas. Representa el porcentaje de las reportadas por el operario en relación con las registradas por el supervisor

$$\text{Índice de confianza} = \left[\frac{\Sigma \text{Inflorescencias polinizadas reportadas por operario}}{\Sigma \text{Inflorescencias polinizadas reportadas por el supervisor}} \right] * 100$$

- **Indicador de área cubierta:** evalúa el rendimiento espacial de la labor realizada por los polinizadores, para obtener el porcentaje de área trabajada respecto a la asignada por el supervisor. La información aportada por este indicador permite evaluar si el personal dedicado a la polinización es suficiente para cubrir la zona de la plantación que requiere de esta labor, y además, si el área asignada a cada polinizador es la adecuada.

$$\text{Indicador de área cubierta} = \left[\frac{\text{Área asignada al polinizador}}{\text{Área real recorrida por el polinizador}} \right] * 100$$



Se hicieron algunas pruebas para validar la metodología, y se documentó la propuesta de supervisión de polinización asistida, que permitirá tomar medidas para corregir posibles fallas que se estén cometiendo durante la realización de la tarea e incrementar así la productividad.

Proyecto: Herramientas geomáticas para el manejo del sistema productivo de la palma de aceite

Objetivo

Desarrollar o adaptar tecnologías que provean herramientas informáticas y datos georreferenciados para observar, entender, medir y analizar fenómenos asociados al sistema productivo de la palma de aceite, con el objeto de apoyar la toma de decisiones en el mejoramiento del cultivo.

Principales actividades desarrolladas en 2018

Evaluación de técnicas de sensores remotos que permitan desarrollar herramientas para la identificación y mitigación de condiciones limitantes en el cultivo. Casos Marchitez letal y *Ganoderma*

Con el propósito de identificar y describir el comportamiento de las variables espectrales afectadas con Marchitez letal, se obtuvieron las curvas derivadas de las 60 palmas seleccionadas para la investigación versus las de las palmas reportadas con la enfermedad. El comportamiento de la derivada de las curvas espectrales de ambas es muy similar a lo largo de todas las longitudes de onda, percibiendo algunas diferencias en posición y magnitud entre las regiones del verde y rojo.

Otro de los propósitos de esta investigación consiste en determinar si a través de un análisis multitemporal, es posible identificar algún valor o relación que permita detectar la presencia de la ML, antes de que las palmas manifiesten los síntomas visibles de la enfermedad.

Hasta la fecha, no existe una tendencia o patrón generalizado de la respuesta espectral de las palmas enfermas. De hecho, en algunos de los casos, el comportamiento de las palmas en el primer muestreo sugiere mayor afectación que en el último, tomando como referencia los valores *Red Edge* determinados para ambos grupos. Además, existen diferencias importantes para cada uno de los periodos, en términos de la intensidad de la reflectancia, que posiblemente estén dados por las condiciones particulares del entorno y de la planta en el momento de la medida.

En un primer intento por identificar y describir las asociaciones generadas entre las variables fisiológicas y espectrales, en una plantación se llevaron a cabo diferentes vuelos con sensores aerotransportados y se obtuvieron 2.915 imágenes multiespectrales (omitiendo aquellas que no estuvieron a la altura de vuelo deseado de 100 metros, como en el despegue y aterrizaje). Para realizar un análisis inicial de los perfiles y de los índices espectrales de vegetación, se seleccionaron seis palmas sanas y seis reportadas con síntomas de ML en el lote experimental (Figura 21).

El proyecto continúa, buscando tener más datos y vuelos multiespectrales que permitan identificar cambios entre una palma sana y otra infectada con ML, aún sin síntomas visibles.

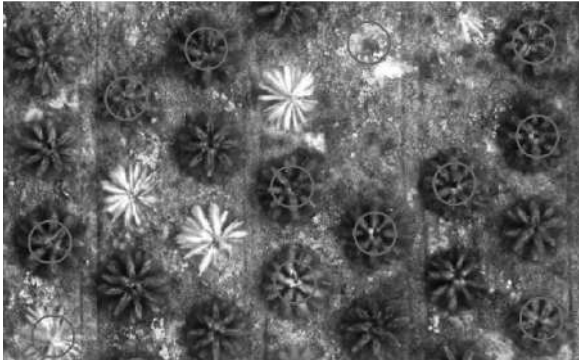


FIGURA 21. Composición RGB de color verdadero y palmas seleccionadas para la evaluación

Para el caso de *Ganoderma*, se realizaron siete jornadas de medición en las palmas en vivero inoculadas con aislamientos de esta, y se recopilaron 36.224 archivos crudos de respuesta espectral. A partir de los datos espectrales medidos en campo, se obtienen las medianas para cada una de las palmas que después se suavizan generando la firma definitiva.

Para la identificación y descripción del comportamiento de las características espectrales de palmas afectadas vs. sanas, se calcularon las gráficas de la primera derivada para los datos de las 350 palmas del proyecto. Se encontró que el punto de inflexión en el *Red Edge* para las palmas que expresan afectación, generalmente corresponde a valores entre los 719 y 721 nm y para las sanas entre los 713 y 718 nm.

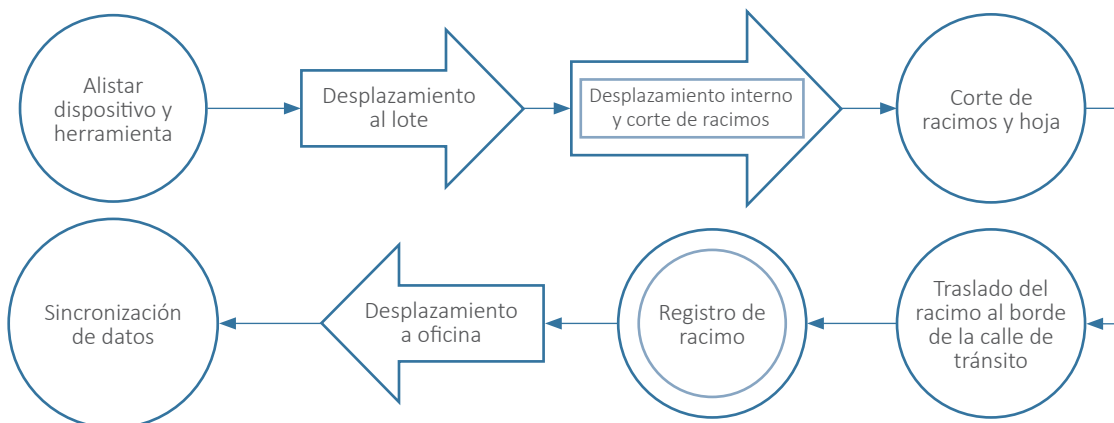
No obstante, hay algunas palmas (cerca al 5 %) que, sin expresar afectación en ninguna de las escalas, también presentan aumento de la reflectancia en el infrarrojo. Esta situación deberá confirmarse con un posterior análisis de laboratorio, para definir si corresponden a palmas asintomáticas.

Propuesta metodológica para el cálculo de la ruta óptima en la labor de cosecha de racimos de palma de aceite

Con la propuesta se busca incorporar el registro georreferenciado a la metodología de identificación anticipada de racimos para cosecha, y adicionalmente, hacer una evaluación costo-beneficio.

Para la metodología, se definió el diagrama de proceso de la labor de marcación de racimos modificada (Figura 22).

FIGURA 22. Diagrama de proceso de la labor





En promedio, se encontró que la distancia recorrida por el cortador se reduce en un 25 % cuando se optimiza su recorrido. No obstante, dicha optimización se reduce en función de la densidad de fruto en el lote.

Plantear la incorporación del registro digital de datos dentro de la metodología de marcación de racimos para la cosecha, no impacta de manera significativa el flujo normal de esta. El ajuste en el proceso, agregando el registro digital de datos y el uso de orientación por medio de tecnología GPS, incide en una reducción del 10 % de los costos en registro y el 20 % en corte. Sin embargo, un beneficio que no fue estimado es el valor agregado que se da a la toma de decisiones, a partir de la información que se colecta con los procesos modificados.

Base de datos actualizada con catastro formado a escala de lotes

Para la recopilación y actualización de datos se utilizaron las siguientes estrategias:

- Fotointerpretación, utilizando imágenes de satélite Landsat de finales del 2017 y de alta resolución disponibles en los servicios de Google y Bing, realizada con el acompañamiento de personal de los núcleos para la delimitación de los lotes.
- Levantamiento en campo de los linderos, con los lotes que no presentan posibilidad de delimitación a través de la fotointerpretación, utilizando un dispositivo GPS.
- Información de terceros, datos geográficos generados comúnmente en formatos CAD, *Shapefiles* o GPX, que son sometidos a un proceso de estructuración y revisión de calidad.

La información actualizada del catastro incluye 566.732 ha con 215.695 ha con información verificada (Tabla 4)

TABLA 4. Resultados catastro palmero a nivel nacional.

Zona	Catastro físico (ha)	Catastro agronómico (ha)	Relación
Central	168.209	83.620	49,71 %
Norte	111.234	42.413	38,12 %
Oriental	263.543	77.813	29,52 %
Suroccidental	12.092	11.849	97,99 %
Total	555.078	215.695	38,07 %

Los datos registrados han sido compartidos con los palmicultores y sirve de base para el manejo de la información fitosanitaria, especialmente para los temas de Marchitez letal y Pudrición del cogollo.

Resultados e impacto del programa

La determinación de los requerimientos nutricionales de los cultivares OxG y su impacto técnico y económico, son la base para el mejoramiento de la eficiencia del manejo nutricional como una de las

alternativas viables para la continuidad de la palmicultura en Colombia. Sumado a esto, el aumento de la efectividad de la polinización asistida, a través de la implementación de las Mejores Prácticas Agronómicas y la supervisión por medio de indicadores, se constituyen en estrategias validadas para el mejoramiento de la productividad.

Por otra parte, establecer zonas de revisión de enfermedades con mayor precisión, contribuye a la reducción de tiempos de recorrido en campo y consecuentemente disminución en costos de mano de obra asociada. También, el proyecto de ruta óptima para cosecha está orientado al establecimiento de un cambio en la labor. La identificación oportuna de racimos, bajo la premisa de optimizar el tiempo de búsqueda por parte del cosechero y asegurar la condición de punto óptimo de cosecha, son elementos claves. Este proyecto impacta directamente la productividad e ingresos de la plantación, pues el tiempo dedicado a la localización de los racimos maduros es un factor determinante en el rendimiento de la cosecha. Adicionalmente, la selección de racimos en el punto óptimo de madurez, tiene alta incidencia en la Tasa de Extracción de Aceite (TEA). Este cambio en el proceso puede llevar a una reducción del tiempo tomado por el cortador en un 29,54 % del total del proceso en la búsqueda y localización de racimos, y evitar que se pierda calidad en aceite por racimos verdes o sobremaduros.

Programa de Procesamiento

Proyecto: Productividad competitiva y sostenible en el procesamiento del fruto de palma de aceite

Objetivo

Generar tecnologías y prácticas para mejorar la productividad en las plantas de beneficio, teniendo en cuenta la incidencia de la materia prima, la generación y seguimiento de indicadores de gestión, la integración del uso racional de los servicios industriales y el mantenimiento.

Principales actividades desarrolladas en 2018

Evaluación de tecnologías en línea para determinar el potencial industrial de aceite (PIA) (Fase III)

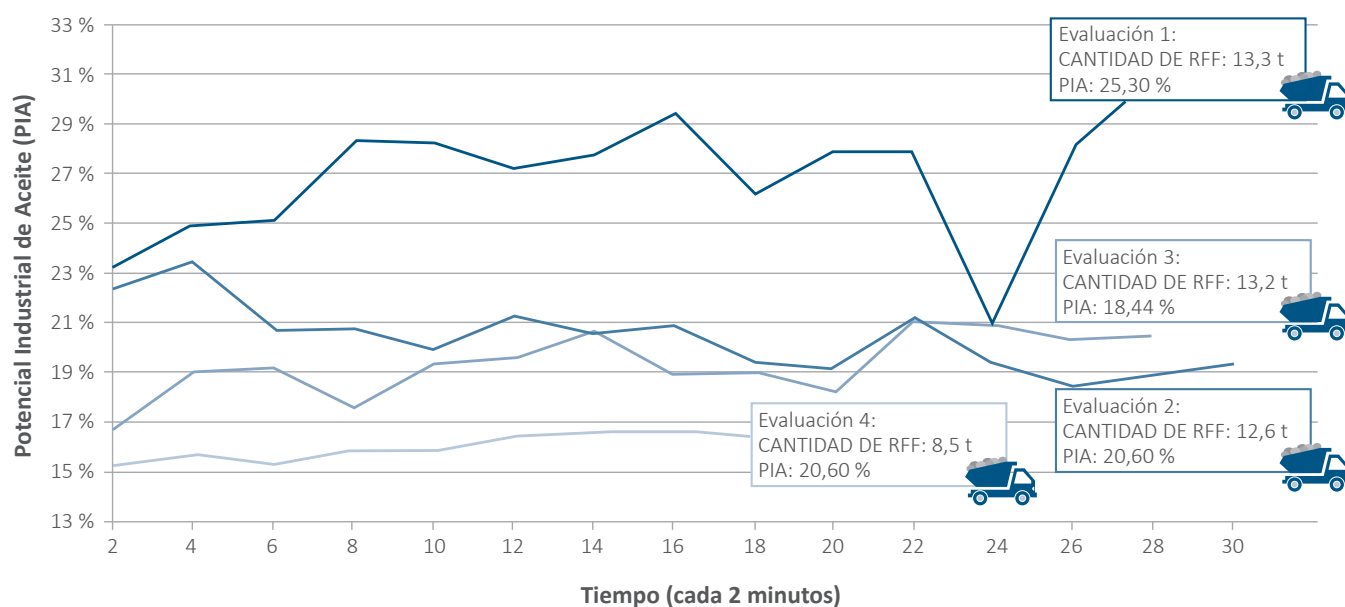
Esta metodología tiene como objetivo determinar el potencial industrial de aceite (PIA) de los racimos de fruta fresca (RFF) que entran a la planta de beneficio. Se trabajaron dos frentes: un método semiautomatizado denominado sistema canal abierto, y una optimización usando tecnología NIR (infrarrojo cercano) para volverla automatizada.

El sistema semiautomatizado permite evaluar proveedores con capacidad mínima de ocho toneladas de RFF, dadas las restricciones de digestión y prensado (Figura 23).

Una de las ventajas de esta metodología radica en la cantidad de evaluaciones de proveedores al día: tres con más de 15 toneladas de RFF cada uno y cuatro entre ocho a 12 toneladas de RFF cada uno.



FIGURA 23. Evaluaciones de un mismo proveedor en diversas ocasiones y con tamaños de cargamento distintos



El sistema registra cada cinco segundos todos los parámetros, excepto el % aceite en licor de prensa (composición), el cual se muestra cada dos minutos de forma manual por análisis volumétrico en laboratorio.

En el sistema automatizado para determinar el potencial industrial de aceite, se migra de la determinación manual volumétrica cada dos minutos, a respuestas en composición de aceite y de agua cada cuatro segundos.

Metodologías de laboratorio usando equipos NIR

En conjunto con el Laboratorio de Bioquímica y el Área de Mejoramiento, se construyeron los modelos de pronóstico a partir de fruto en diversas condiciones físicas, con el fin de determinar su potencial de aceite. Para establecerlos, se realizaron análisis espectrales sobre fruto intacto, mesocarpio picado, mesocarpio licuado, mesocarpio seco, almendra seca y cuesco seco, generando modelos de aceite y humedad para bases sin secar, y solo aceite para bases secas, en cultivares *E. oleifera*, híbrido y *E. guineensis*. Se encontró una alta coincidencia en el comportamiento de frutos híbrido y *E. guineensis*, y diferencias drásticas entre fruto de *E. oleifera* y los demás materiales analizados.

Estos modelos preliminares podrán utilizarse como punto de partida para la conformación de otros de pronóstico más robustos, con los que sea posible, por ejemplo, determinar la cantidad de aceite de palma crudo y aceite de palmiste a través del análisis del fruto, información generada en cuestión de segundos por el equipo automatizado.

Evaluación de metodología masa que pasa al digestor (Fase II)

Junto con la metodología de medición del PIA en línea (sistemas semiautomatizado y automatizado usando NIR-Online), existe otra alternativa que se está estudiando con el fin de determinarlo de forma manual. Su beneficio es caracterizar la composición de racimos de muestra en frutos normales, partenocárpicos, abortados e impurezas.

La metodología masa que pasa por el digestor (MPD), se basa en la toma de muestras de frutos esterilizados (antes de que llegue al digestor) para hacer un análisis por componente de fruto (normales, partenocárpicos, abortados e impurezas), y así determinar la cantidad de aceite presente en la muestra.

Uno de los principales logros alcanzados fue dilucidar la mejor manera de estimar la pérdida de humedad en la esterilización, cuya determinación es clave para poder llegar a la cuantificación de la cantidad de aceite en racimo. Se demostró que la disminución de peso de 10 racimos, antes y después de la esterilización, es una buena forma de determinarla.

El estudio de la composición de los RFF de cultivares híbridos (Coari x La Mé, Brasil x Djongo y Cereté x Deli), recibidos en tres plantas de beneficio en la Zona Suroccidental, mostró un contenido de fruto entre 58 y 67 % y tusa entre 20 y 28 %. La pérdida de humedad está en rango de 13 a 18 % por método total MPD, y del 13 a 17 % para humedad estimada con racimos esterilizados (la medición de estos debe hacerse después de tres horas, hasta que alcancen peso constante). Se encontró que los racimos híbridos están conformados por 60 a 70 % de fruto que aporta un potencial de aceite entre 19,4 y 25,3 % ac/RFF. Este valor depende del cultivar genético y de la proporción de fruto normal y partenocárpico.

Estadísticamente se demostró que no hay diferencias entre el MPD y el potencial de proceso de extracción que obtiene la planta de beneficio. Esto indica que el MPD sirve como metodología de predicción de la tasa de extracción de aceite (TEA). Por otro lado, para futuras investigaciones, se deben concentrar los esfuerzos del MPD en la determinación de ecuaciones que permitan disminuir los tiempos y movimiento, a través de modelos matemáticos.

Determinación de calidad de fruto en tolva para materiales híbridos OxG

Se ha venido trabajando en una propuesta para determinar la calidad de los racimos provenientes de cultivares OxG en la tolva de las plantas de beneficio. Esta ha sido discutida y concertada con los miembros del Comité de plantas de beneficio de la Zona Suroccidental, y con los distintos grupos de trabajo de Ceni-palma. Los criterios de maduración para calificación de fruto fueron retroalimentados con características descritas en estadios fenológicos de la escala BBCH.




Es así como los criterios de calidad se agrupan en tres grupos:

- Maduración: racimos inmaduros, maduros, sobremaduros, podridos y tusas vacías (Figura 24).

FIGURA 24. Criterios de maduración

Racimos sin desprendimiento y sin cuarteamiento. Pueden tener frutos normales tanto maduros como inmaduros. Los frutos partenocarpicos no presentan una coloración uniforme.

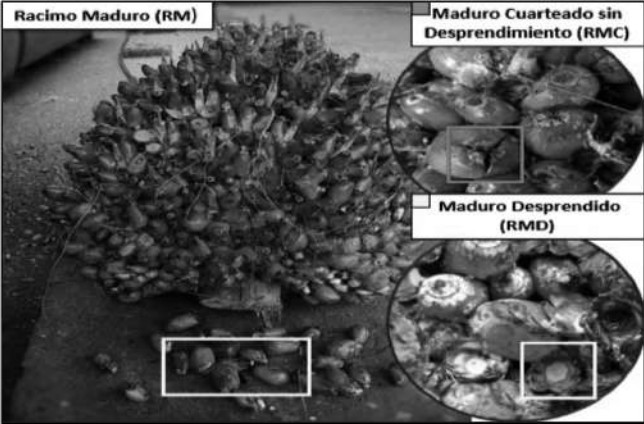
Racimo Inmaduro (RI)



Racimo Maduro (RM)

Maduro Cuarteado sin Desprendimiento (RMC)

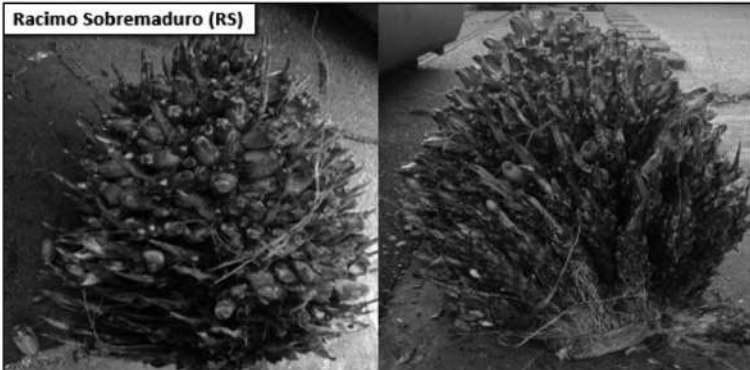
Maduro Desprendido (RMD)



Racimos con desprendimiento de más de 10 frutos sueltos, hasta el 25 % de la capa externa, y que presentan o no cuarteamiento. Tanto los frutos normales como los partenocarpicos, se encuentran en estado de madurez (uniformidad en el color). En la mayoría de los cultivares se presenta cuarteamiento.

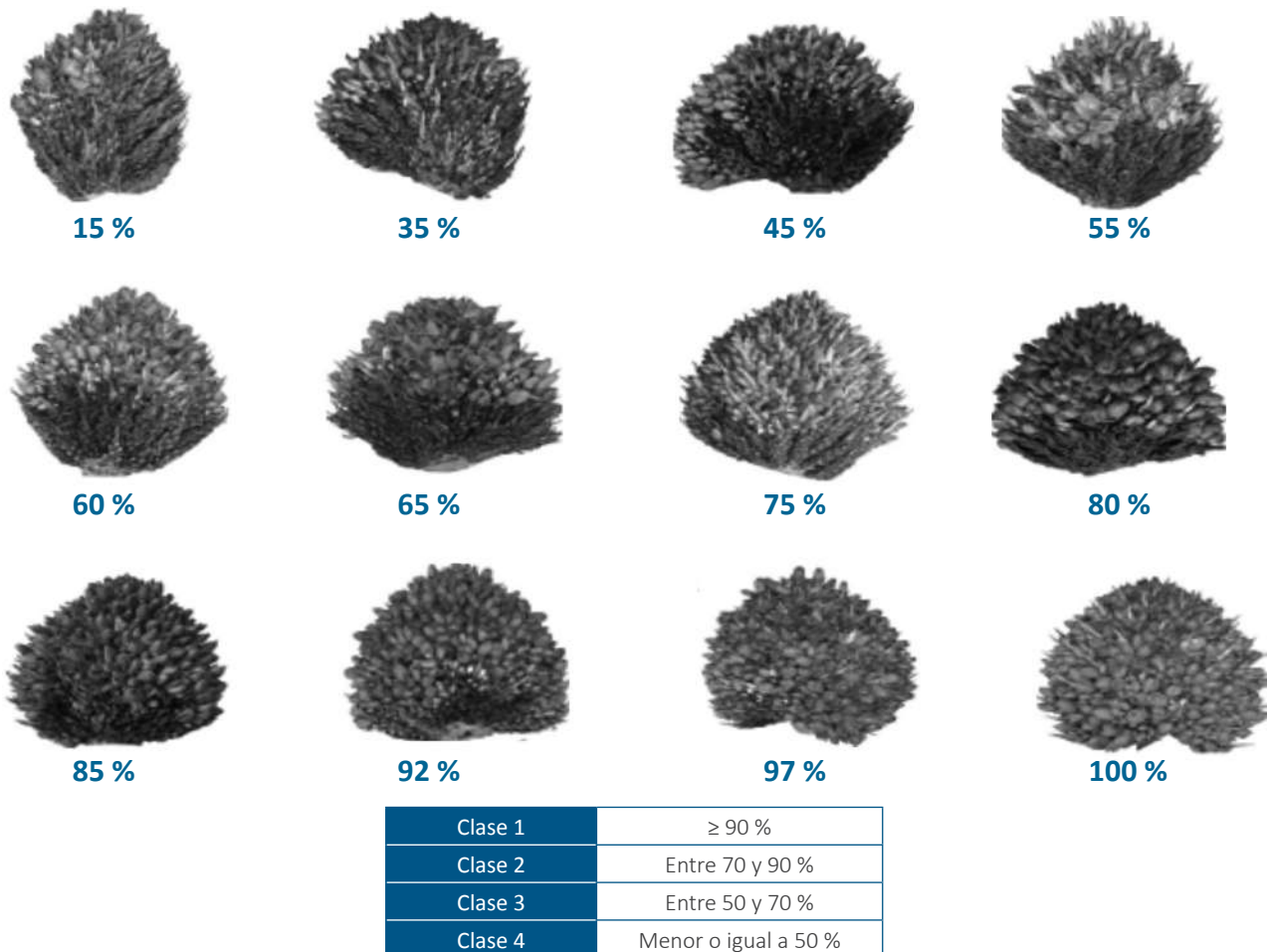
Racimos que han desprendido de forma natural más del 25 % de frutos de su capa externa.

Racimo Sobremaduro (RS)



- Clases de racimos: C1-C2-C3-C4 (Figura 25).

FIGURA 25. Clases de racimos



- Externos: racimos con pedúnculo largo, impurezas.

Metodología de mejoramiento continuo, Plan de Excelencia Industrial (Fase IV)

El Plan de Excelencia Industrial (PEI), es una alternativa en desarrollo cuyo fin es proponer planes de acción para mejoramiento industrial. Inicia con el diagnóstico detallado en relación con la utilización del tiempo, condición de activos y mantenimiento (equipos), proporción entre calidad y pérdidas dentro de los procesos. En dos plantas de beneficio se realizó el análisis de causa raíz, para demarcar la ruta de trabajo e implementar los planes de acción.

En la evaluación, a partir del análisis de distribución de tiempo de acuerdo con paradas y fallas de mantenimiento, se encontró que estos equivalen a 951 horas (48 % del total) y que el tiempo efectivo de producción es de 1.015 horas (52 % del total programado). Los eventos con mayor participación en el tiempo de paradas y fallas fueron: calibración de máquinas, problemas operacionales con equipos de energía



eléctrica, arranque de proceso (no estandarizado), atascamiento por objetos extraños, problemas de calidad de RFF, limpieza de planta y mantenimiento programado.

A partir de los datos, se inicia el desarrollo de una herramienta inteligente utilizando redes neuronales (*machine learning*) para el pronóstico de escenarios de costos y fallas de mantenimiento. Esta permitirá a la gerencia de planta, estimar con mayor precisión el desempeño industrial para los siguientes años, con el análisis de parámetros operacionales y de costos para la gestión de producción y de mantenimiento, en conjunto con el comportamiento estacional de la oferta de fruto.

Caracterización de uso de la energía (eléctrica y térmica) en plantas de beneficio

Con respecto a la evaluación de la eficiencia de energía en la planta de beneficio, se cubrieron dos frentes de trabajo: una metodología para medir la efectividad de la utilización de esta (en la que se han completado los balances de masas y energía), y un estimativo a nivel nacional del potencial de generación de energía eléctrica del sector palmero colombiano, valorando diferentes escenarios.

Se determina la eficiencia de utilización de energía térmica para una planta de beneficio de 54 %, y con un diagrama de Pareto se identifican las áreas que ceden gran cantidad de calor, siendo la de esterilización la de mayor pérdida de energía.

Por medio de la evaluación de la utilización de motores eléctricos de alta eficiencia, se logra demostrar que es una práctica que reduce el consumo de energía. Se hacen mediciones y se comparan con una línea base desarrollada en estudios anteriores, verificando que existe un ahorro energético de alrededor del 40 %.

El análisis de las corrientes que pueden intercambiar calor en la planta de beneficio, permite concluir que es posible aprovechar calor residual de las corrientes para el caso de estudio realizado.

Proyecto: Biorrefinería y sostenibilidad

Objetivo

Ayudar al sector palmero colombiano en la implementación de diferentes alternativas de uso de su biomasa residual, que se manifiesten en mejoras no solo económicas sino también en beneficio ambiental y sostenible.

Principales actividades desarrolladas en 2018

Generación o adaptación de alternativas de aprovechamiento de biomasa

Con respecto a la generación de energía verde, se realizaron los estudios de ingeniería básica sobre el uso de biomasa en sistemas de trigeneración y se encontró que es posible implementar este tipo de tecnología, de acuerdo con las características de la planta y sus requerimientos de enfriamiento (Figura 26).

En relación con los fitonutrientes, se analizó el contenido de vitamina E y carotenos en muestras de biomasa, determinando que depende del cultivar. Los rangos de vitamina E y carotenos fueron: 54,5 a 323,7 ppm y 167,7 a 1.942,10, respectivamente (Figura 27).

FIGURA 26. Diagrama de proceso ciclo de absorción amoniaco/agua con precalentadores para un sistema de trigeneración

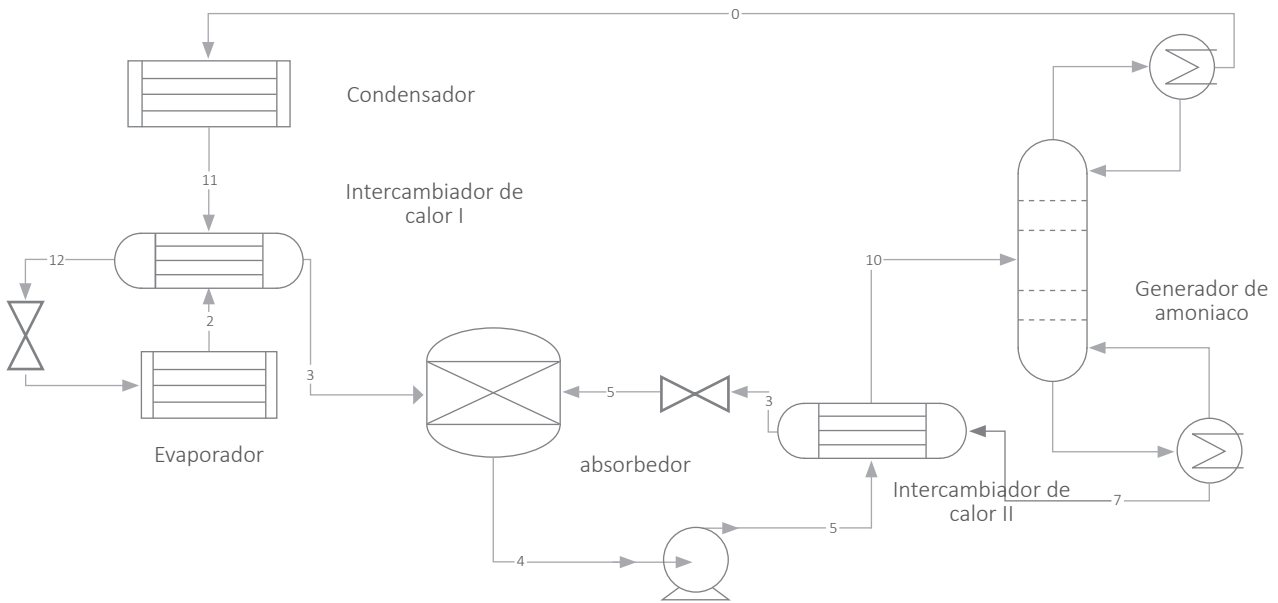
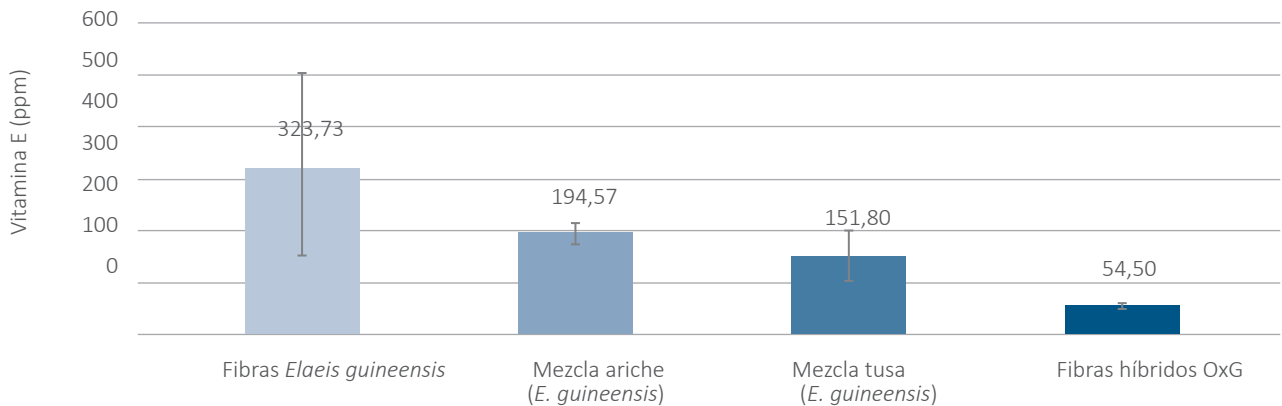


FIGURA 27. Contenido de vitamina E (ppm) en aceites recuperados de biomasa del beneficio de la palma



Evaluación de tecnologías que aporten a la sostenibilidad ambiental

Como parte de la definición de indicadores de sostenibilidad ambiental para aplicación por zonas palmeras, se desarrolló la calculadora de carbono versión web. Esta cuenta con los módulos de plantación, planta de beneficio, compost y sistema de tratamiento de aguas residuales (STAR). Una vez validada la herramienta, lograda con el apoyo del Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF, por sus siglas en inglés), permitirá hacer una evaluación ambiental de la cadena de suministro de aceite de palma enfocada en las tecnologías de aprovechamiento de biomasa y disminución de gases efecto invernadero, GEI.



En el 2018 se visitaron 28 plantas de beneficio, que producen el 87 % del total de aceite de palma, para coleccionar información sobre el balance de emisiones de GEI y el desempeño económico de la producción de aceite de palma en Colombia, información que será publicada próximamente.

Se hizo el levantamiento de la línea base del estado tecnológico y los requerimientos ambientales de 10 plantas de beneficio a nivel nacional, con el fin de iniciar una aproximación para establecer el índice de sostenibilidad (línea base que será complementada con información de las demás plantas de beneficio).

Se evaluaron dos tecnologías para el tratamiento de efluentes, buchones y cal hidratada, encontrando que se puede cumplir satisfactoriamente la normatividad ambiental vigente y se realizaron las capacitaciones sobre operación de sistemas de tratamiento de efluentes.

Proyecto: Calidad y usos del aceite

Objetivo

Generar o adaptar tecnologías y prácticas enfocadas al incremento de la calidad del aceite en las plantas de beneficio, e impulsar nuevos usos del aceite crudo de palma y de palmiste, para abrir nuevos mercados.

Principales actividades desarrolladas en 2018

Metodología analítica para la determinación y cuantificación de iones cloruro solubles en matrices oleosas

Los iones de cloruro solubles son los implicados directos en la síntesis de precursores de moléculas organocloradas como los cloropropanoles.

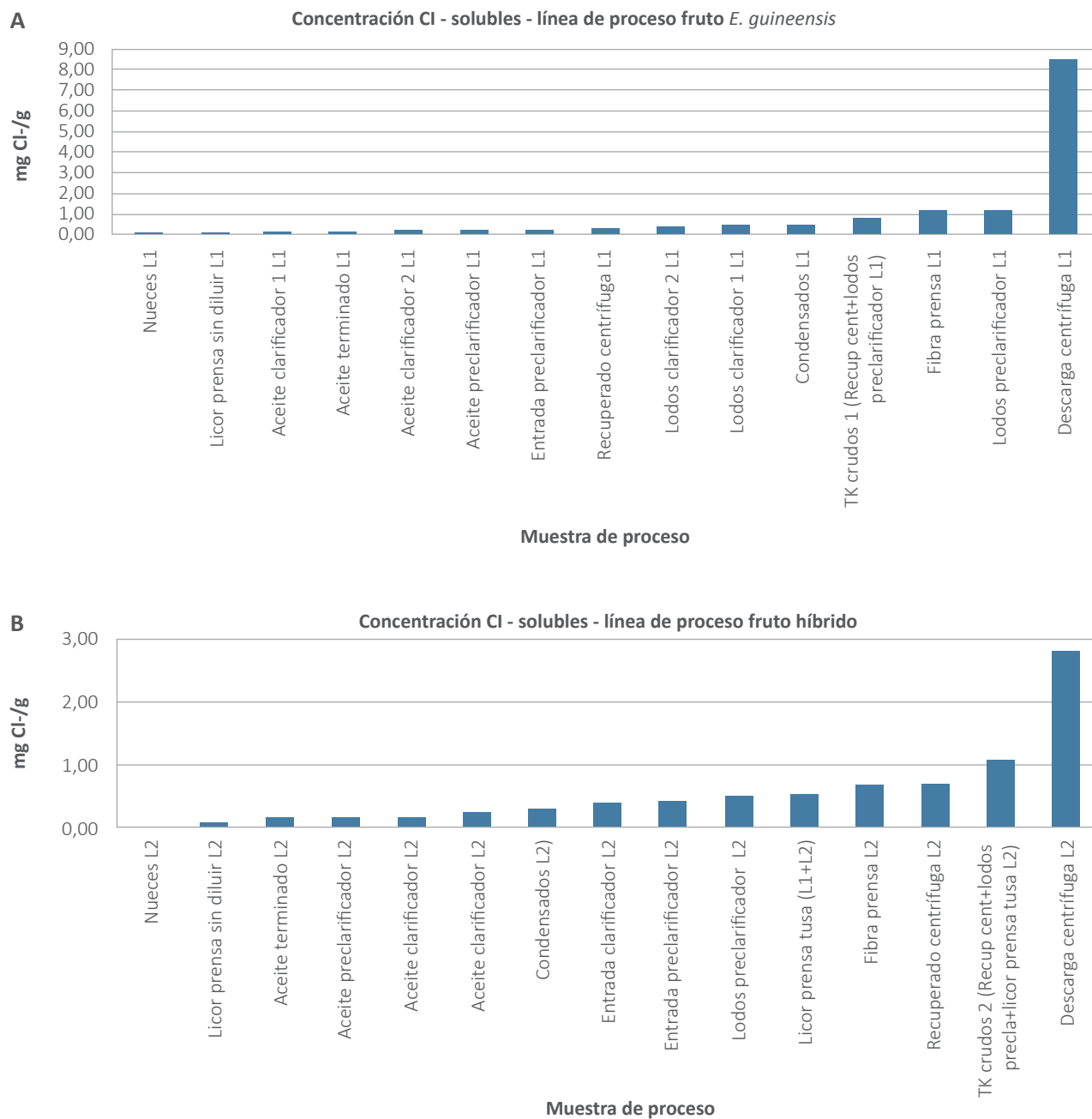
En el estudio preliminar, se encontraron valores de cloruros solubles con rangos entre 1,9-8,3 mg Cl/g en algunos puntos del procesamiento de racimos de fruta fresca de *Elaeis guineensis*, y de 1,8-6,8 mg Cl/g en el beneficio de frutos híbridos (Figura 28).

Se recopiló la información sobre las tecnologías para la remoción de cloruros, antes y durante el procesamiento de aceite de palma, para la mitigación de estos iones precursores de contaminantes. En la etapa del proceso se presentaron alternativas que involucran cambios en las características fisicoquímicas para los sistemas de esterilización. Además, algunas metodologías para el lavado de aceites crudos con solventes polares (agua, etanol); disposiciones sobre el reciclo de aceites y utilización de corrientes de recuperados (licores de prensa de tusa, condensados de esterilización, aceites recuperados de centrífuga, etc.); y cambios en algunos procesos térmicos y físicos de refinación (desgomado, neutralización, blanqueo y desodorización). Como tratamientos posteriores al refinado de los aceites, se precisaron alternativas utilizando procesos de blanqueo y desodorización adicionales, arcillas de blanqueo activadas y sistemas de destilación de vía corta.

Resultados e impacto del programa

Se establece la metodología para la evaluación de fruto a través de indicador de potencial industrial de aceite (PIA), determinado en tiempo real a través de instrumentación y automatización, consolidando el

FIGURA 28. Concentración de cloruros solubles (Cl⁻) para la línea de proceso de fruto *E. guineensis* (A) e híbrido (B)



sistema semiautomatizado con canal abierto, y el automatizado integrando la tecnología NIR-Online. Con esta metodología es posible analizar más del 85 % del fruto por proveedor.

La identificación de condiciones propias de los cultivares híbridos OxG, mediante análisis de criterios de calidad en tolva y composición másica, permite efectuar operaciones de control respecto a la calidad del fruto. Es un gran avance en el estudio del comportamiento de las tasas de extracción de aceite, además de representar un proceso de retroalimentación eficaz con la dirección agronómica de las plantaciones.



Se proponen medidas de mitigación de compuestos clorados, en la etapa de:

- Cultivo, cosecha y poscosecha (cultivares con una actividad reducida de la lipasa; reducir el uso de sustancias químicas; cosecha en punto óptimo de maduración; minimizar la manipulación de los racimos de fruta fresca; evitar el uso de fruta dañada o demasiado madura y transportar los frutos de palma a las plantas de beneficio lo antes posible).
- Procesamiento y refinado (esterilizar los RFF a 120 °C o inferiores; lavar el aceite vegetal crudo con solventes polares; evitar reciclar el aceite residual recuperado de los disolventes u otras extracciones; preferentemente, refinar el aceite vegetal crudo con una mínima concentración de precursores; desgomado, neutralización y blanqueo).

La cadena de suministro sostenible de bioproductos y el cambio climático son retos que definirán el desarrollo futuro del sector palmero en Colombia. Estos desafíos pueden ser abordados a través de una economía baja en carbono, sostenible, competitiva y eficiente en el uso de sus recursos.

En estas iniciativas se encuentra el modelo de economía circular y de biorrefinerías, que son estrategias que permitirán superar los retos, con la obtención de energía renovable y el ciclado de sus recursos para cerrar brechas de materia y energía. El uso eficiente de la biomasa y su utilización como combustible, materia prima para otros productos y para la generación de energía térmica y eléctrica, contribuirá con la disminución de la dependencia de productos de base petroquímica, mejorará el aspecto ambiental y la rentabilidad de la agroindustria nacional.

Proyecto especial: Usos y beneficios del aceite de palma y sus productos

Objetivo

Desarrollar acciones con el fin de promover y difundir los beneficios y atributos nutricionales del aceite de palma, como un alimento con impactos positivos para la salud. Divulgar información soportada en evidencia científica y encontrar, a través de la investigación, nuevos usos para el aceite de palma en productos de la línea de alimentación.

Principales actividades desarrolladas en 2018

Difusión

El Proyecto Especial de Salud y Nutrición Humana realizó charlas y conferencias a diferentes grupos de interés, participó en eventos de actualización y entregó material de difusión, para dar a conocer los beneficios y usos del aceite de palma y sus productos (Figura 29). Con estos eventos y material (Tabla 5) se ha podido llegar a 6.167 personas en el año

FIGURA 29. Divulgación de usos y beneficios del aceite de palma en distintos eventos



TABLA 5. Eventos y beneficiarios de difusión usos y beneficios del aceite de palma y sus productos

Lugar	Fecha	Evento/capacitación	Material entregado/ Personas
San Pablo, Bolívar	26 de enero	Loma Fresca. Palmero compra palma	250
Bogotá	Todo el 2018	Inducciones	50
Envío digital	Enero a marzo	Boletín Salud y Nutrición No. 21	400
Cali	12 de abril	Capacitación a Policía Fiscal y Aduanera, POLFA	50
Bogotá	26 de abril	Bolsa Mercantil –“El aceite de palma, una experiencia para degustar”	50
Bogotá	24 al 26 de mayo	32º Congreso Metabolismo y Nutrición Clínica de la ACNC	1771
Bogotá	25 de mayo	Simposio Nutrición Clínica	150
San Martín, Cesar	21 al 23 de junio	Palmas del Cesar. Palmero compra palma	350
Envío digital	Abril a junio	Boletín Salud y Nutrición No. 22	400
Cali	6, 7 y 8 de junio	Congreso Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite, Fedepalma	300
Cali	11 al 13 de julio	45 Congreso SOCOLEN, Sociedad Colombiana de Entomología	250
Envío digital	Julio a septiembre	Boletín Salud y Nutrición No. 23	200
Bogotá	9 de agosto	Mesa Técnica del Instituto Colombiano de Bienestar Familiar, ICBF	16
Bogotá	14 al 16 de agosto	Show room Acodres-Cotelco (estand + simposio)	200
Barranquilla	23 al 26 de agosto	Sabor Barranquilla 2018	650
Bogotá	7 al 8 de septiembre	Encuentro Nacional de Estudiantes de Nutrición y Dietética	300
Cartagena	25 de septiembre	Workshop Salud y nutrición, previo a la XIX Conferencia Internacional sobre Palma de Aceite, Fedepalma	80
Cartagena	27 de septiembre 2018	Sesión salud y nutrición en la XIX Conferencia Internacional de Palma de Aceite, Fedepalma	80
Bogotá	22 al 23 de octubre	Curso iberoamericano red Lacfun-CYTED, Universidad de La Sabana	70
Bogotá	15 de noviembre	Capacitación a Policía Fiscal y Aduanera, POLFA	50
Bogotá	8 al 9 de noviembre	I Simposio Internacional de Actividad Física, Ejercicio Físico y Deporte: Nuevas perspectivas interdisciplinarias, Universidad Javeriana	300
Envío digital	Octubre a diciembre	Boletín Salud y Nutrición No. 24	200
TOTAL			6.167



Vigilancia científica

Se realizó la vigilancia científica a través de la revisión de 1.471 artículos, presentaciones y otras piezas de divulgación.

Diseño y elaboración de material de difusión

Durante el 2018, el Proyecto Especial de Salud y Nutrición Humana se encargó de diseñar y participar en la elaboración de material de difusión, basado en evidencia científica e información actualizada, así:

- Publicación sobre los beneficios y atributos del aceite de palma, en la revista Vida Sana de Colsubsidio de junio 10 a julio 9, titulada: “Aceite de palma, una alternativa saludable en la alimentación”, con una distribución de 60.000 ejemplares.
- Artículo “Aceite de palma y sus poderosos efectos benéficos en la salud”, publicado en la Revista Femme Colombia, edición 52.
- Recetario “Recetas saludables con aceite de palma”, versión en inglés.
- Boletín informativo trimestral Salud y Nutrición, con información sobre lípidos y grasas, normatividad y temas de interés (cuatro ediciones)
- Contenido para redes sociales (Twitter y Facebook), La Palma es Vida.
- Fotoproductos con aceite de palma para ser utilizados en las publicaciones del proyecto.
- Entrevista con Claudia Angarita, Directora del Centro Colombiano de Nutrición Integral, CECNI, sobre las propiedades y beneficios nutricionales del aceite de palma, transmitida por el canal El Tiempo Televisión.
- Entrevista con Luis Carlos Vélez de la FM Radio, con respecto a los beneficios y atributos del aceite de palma, además de dar a conocer la importancia de las grasas en la alimentación.

FIGURA 30. Actividades divulgativas



Normatividad: aceite de palma y sus fracciones para uso en el sector de alimentos

En el 2018, la gestión se centró en el estudio de normas y estándares técnicos relacionados con aceites y grasas, con el fin de defender y fomentar el consumo de aceite de palma en el mercado local. En este sentido, se continuó desarrollando una intensa labor de investigación y seguimiento a la normatividad, participando en diferentes mesas de discusión ante entidades como ICONTEC, Ministerio de Educación, Comité Nacional del Codex Alimentarius (subcomité de Grasas y Aceites) y Ministerio de Comercio, Industria y Turismo.

- Proyecto de inclusión en el Codex Stan 210 (Codex Alimentarius) del aceite de palma alto oleico.
- Comité 49, Aceites y grasas vegetales comestibles del ICONTEC. Reunión mensual (10 comités durante el año), haciendo seguimiento a las observaciones presentadas y gestionando varias normas NTC, con requisitos para algunos productos y subproductos del aceite palma, además de la actualización de otras normas ya existentes.
- Seguimiento a las visitas del INVIMA a plantas de beneficio de las diferentes zonas palmeras, sobre cómo realizar la inspección, vigilancia y control a las extractoras de aceite del territorio nacional, dando cumplimiento a la Resolución 2154 de 2012.
- Mesas técnicas con la Agencia Logística de las Fuerzas Militares, el ICBF y el Programa de Educación Escolar, PAE.

Alianzas estratégicas para investigación

Convenio especial de cooperación técnica y científica entre la Pontificia Universidad Javeriana y Cenipalma, con el fin de apoyar un proyecto de doctorado. Este consiste en el desarrollo de dos productos lácteos “tipo queso” bajos en sodio con potencial funcional, mediante la inclusión de aceite de palma alto oleico (*Elaeis guineensis* x *Elaeis oleifera*).

Se asesoró el trabajo de grado titulado *Dinner Kits*, alternativa para contribuir al bienestar físico y consumo de alimentos saludables en la población universitaria de la Javeriana, incentivando el consumo del aceite de palma rojo.

Se culminó satisfactoriamente el proyecto Nanoencapsulación y microencapsulación de aceite de palma alto oleico como nuevas tecnologías para el desarrollo del agro (Figura 31). Este se llevó a cabo entre la Universidad de La Sabana, Cenipalma y la Corporación Andina de Fomento, CAF.

Resultados e impacto

La generación de información técnico-científica propia y la difusión con base científica se convierten en mecanismos para lograr una mayor credibilidad y reconocimiento, buscando aumentar el consumo del aceite de palma y sus productos.



FIGURA 31: Nuevas tecnologías para el aceite de palma y nutrición



Unidad de Validación

Los trabajos de investigación se desarrollan bajo condiciones controladas, de tal manera que se pueda ver el efecto de aquellos factores de mayor interés. Si bien el resultado de investigación suele ser un tratamiento promisorio que permite superar una problemática o aprovechar alguna oportunidad, es necesario que sea validado a nivel comercial. Adicionalmente, es importante conocer y evaluar la introducción de tecnologías y prácticas en plantaciones comerciales (incluyendo las de los campos experimentales) y plantas de beneficio, así como una valoración técnica y económica, para determinar las circunstancias en las que es viable y rentable implementar la tecnología en cuestión.

Cenipalma cuenta con un equipo humano encargado de garantizar que los resultados de investigación tengan análisis económico y validez estadística para que sean replicables y reproducibles.

Proyecto: Validación de resultados de investigación

Objetivo

Validar los resultados de investigación de Cenipalma y las tecnologías promisorias implementadas por las empresas de la agroindustria, para que los conocimientos, técnicas, innovaciones y desarrollos tecnológicos cuenten con información acerca de su viabilidad y rentabilidad, para facilitar su adopción por parte de los palmicultores.

Principales actividades desarrolladas en 2018

Las actividades de la Unidad de Validación se enmarcaron en dos líneas de trabajo: validación de tecnologías y fortalecimiento del intercambio de conocimiento e información entre las plantaciones y plantas de beneficio.

Validación de tecnologías

A continuación, se presentan los principales resultados de las tecnologías evaluadas en en el año.

Punto óptimo de cosecha del cultivar híbrido OxG Corpoica (AGROSAVIA)

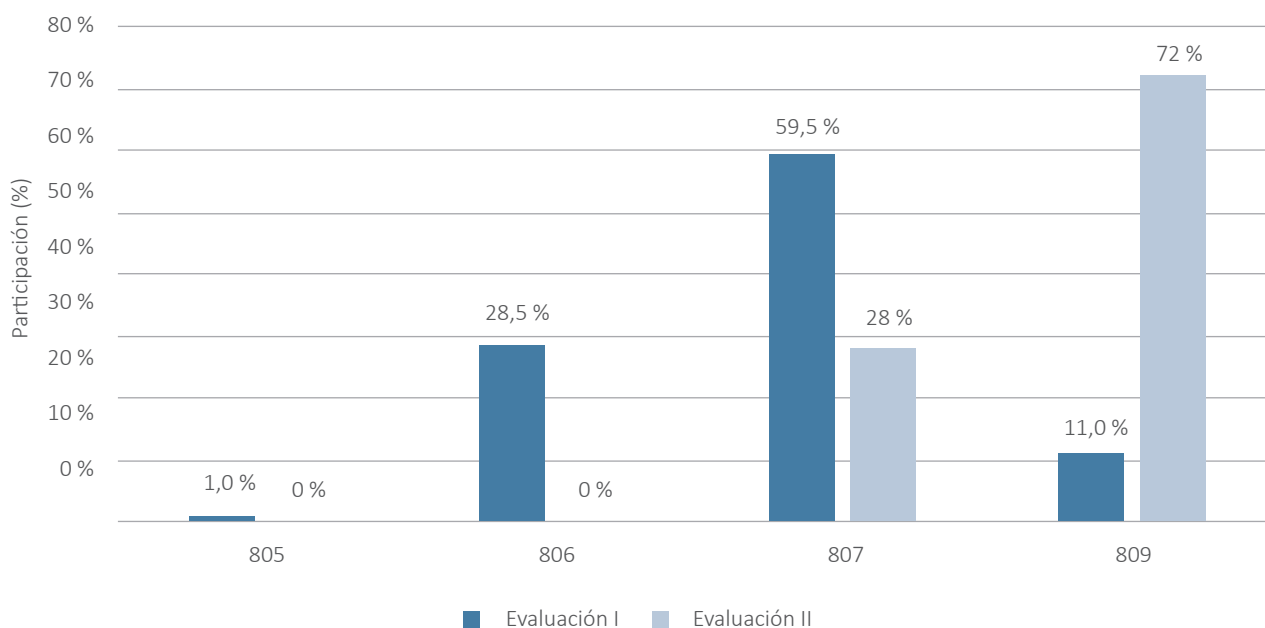
Entre los retos en el manejo de los cultivares híbrido OxG, se encuentra el de determinar el punto óptimo para la cosecha. En la Zona Suroccidental, el cultivar de Corpoica de este híbrido representa el 5 % del área. Sin embargo, fue el más sembrado por parte de productores de pequeña escala.

El Área de Fisiología de Cenipalma determinó que para dicho cultivar, el punto óptimo de cosecha es a partir del estadio 807 (de acuerdo con la escala BBCH), 174 días después de polinización (DDP) en promedio y que se caracteriza por tener entre 10 y 54 frutos desprendidos. Resultados similares fueron encontrados por la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, AGROSAVIA, reportando que el punto óptimo de cosecha para este cultivar es racimos con 170 a 180 DDP.

El trabajo de validación se desarrolló en dos etapas (Figura 32). La primera, realizada en campo para definir la línea base, permitió observar que entre el 20 % y el 30 % de los racimos cosechados con desprendimiento de 10 frutos, se encontraban en estadios 805 y 806, es decir, no estaban en punto óptimo para la cosecha. La tasa de extracción de aceite de palma (TEA) bajo estas condiciones fue de 17,28 %.

Considerando los resultados preliminares, el equipo interinstitucional de investigadores (Cenipalma y AGROSAVIA) decidió modificar el criterio de 10 a 25 frutos desprendidos, con el fin de evitar cosechar los racimos en estados tempranos. Así, se siguieron las recomendaciones del Área de Fisiología de cosechar en estadio 807 y el rango propuesto por el Área de Investigación de 10 a 54 frutos desprendidos.

FIGURA 32. Participación en el total de la cosecha según estadio de los racimos cosechados





Tras este cambio se hicieron los mismos análisis que en la primera etapa, encontrando que los racimos de fruto se cosecharon en estadios superiores al 807 y la TEA fue del 20,23 %.

Los resultados de validación indican que cuando se cosecharon los racimos del híbrido OxG Corpoica en su punto óptimo, se logró un incremento de casi tres puntos porcentuales en la TEA (de 17,28 % a 20,23 %).

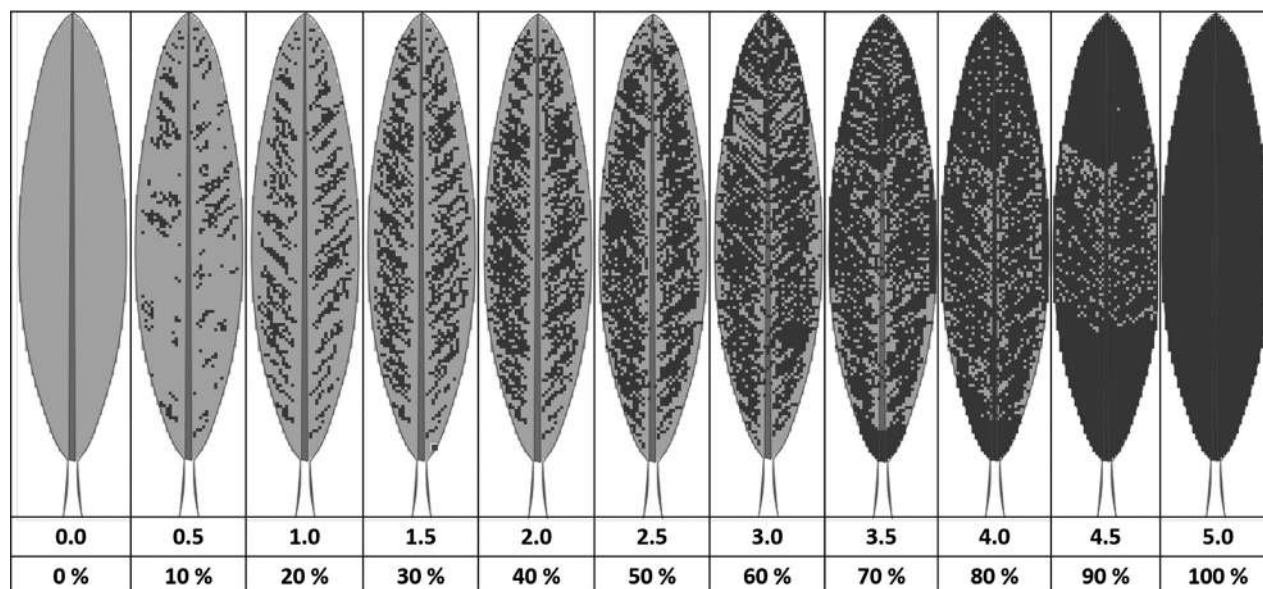
Naturalmente, implementar el punto óptimo con 25 frutos desprendidos sugiere modificar el ciclo de cosecha para mantener el ingreso a los trabajadores. De igual forma, la plantación deberá insistir en capacitar al personal para que logre apropiarse de este cambio en el método de cosecha.

Propuesta metodológica para estimar la defoliación total en la palma de aceite

La producción de racimos de fruta fresca (RFF) de la palma de aceite se ve afectada por insectos plaga que generan defoliación directa (al alimentarse de sus tejidos), o defoliación indirecta (al generar la entrada de patógenos que dañan el área foliar). En la actualidad, no hay una metodología aplicable que ayude a calcular la defoliación total en la palma.

Se propuso generar una herramienta para estimarla. Para la captura de información se realizó un único muestreo, en donde se observó la defoliación de todas las hojas de la palma. De este se seleccionaron las palmas que tenían 40 hojas evaluadas (cinco anillos completos), se dividieron en tres grupos de acuerdo con su defoliación total, y se realizó un muestreo aleatorio estratificado por anillos (Figura 33). Para el análisis de la información se utilizó el programa estadístico “R”.

FIGURA 33. Escala de defoliación implementada (daño desde 0 hasta 100 % del área foliar)



Como resultado, se observó que el tamaño mínimo de muestra que presentaba menos variabilidad y no disminuye el rendimiento de la labor de muestreo de plagas, es tres hojas por anillo de los espirales dos, cinco y siete.

Esta metodología podría convertirse en un indicador del proceso productivo para el sector palmero, además, de ser base para futuras investigaciones que quieran relacionar el impacto de la defoliación en la producción del cultivo.

Manejo de *Sagalassa valida* en cultivos de híbridos OxG

El barrenador de raíces de la palma, *Sagalassa valida* Walker, ha demostrado ser la principal limitante a la productividad en la Zona Suroccidental.

El equipo de Validación acompañó la estrategia implementada por una plantación de la zona (Palmeiras Colombia S.A.) de control de la plaga en mención. Consiste en disponer las hojas de poda y cosecha sobre los platos de las palmas, que actúan como barrera física y a su vez contribuyen a la formación de raíces. Adicionalmente, la estrategia implica garantizar la aplicación balanceada de nutrientes.

Las cifras que aquí se presentan sintetizan la información recolectada por los técnicos de Palmeiras Colombia S.A., quienes han monitoreado la plaga y han llevado el registro de la productividad en tres lotes de híbridos OxG (Coari x La Mé) de la empresa, durante más de siete años.

En lo que concierne al impacto económico de *S. valida*, se estimó que en los lotes en los que se controló la plaga el costo unitario fue de \$ 183/kg RFF, mientras que en el lote más afectado, cuya productividad decayó en 83 %, el costo llegó a ser de \$ 333/kg RFF. En otras palabras, controlar *S. valida* hace que el negocio del cultivo de materiales OxG (Coari x La Mé) tenga un costo de producción 45 % más bajo, que cuando no se hace. Lo anterior se traduce en que el negocio es viable si hay control de la *S. valida*, e inviable si no lo hay.

Parcela de validación manejo y control de la Marchitez letal

Con el fin de corroborar a escala comercial la eficacia de la estrategia de control propuesta por los comités asesores agronómicos y los investigadores de Cenipalma, se estableció una parcela comercial, siembra de 2014 con cultivares Deli x Yangambi. En esta se implementaron las prácticas recomendadas: siembra y mantenimiento de coberturas, censos fitosanitarios de enfermedades, monitoreo de la población y control con insecticidas en estadios tempranos del insecto *H. crudus*, y erradicación de palmas afectadas.

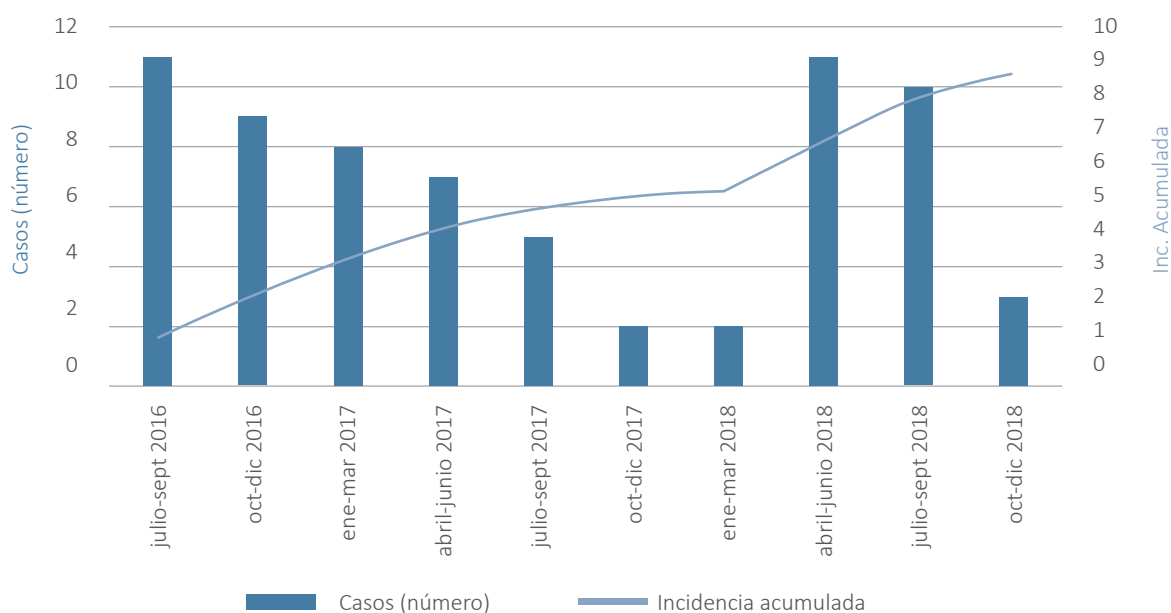
Para el periodo comprendido entre noviembre de 2016 y diciembre 2018, se reportaron 57 casos de palmas con síntomas macroscópicos de ML. En general, se observan rasgos de estacionalidad en el número de casos reportados los que coinciden con las temporadas secas y su relación con los hábitos de *H. crudus*.

En lo que concierne al costo de control, se determinó que la implementación de las prácticas de manejo (censo, trampeo, erradicación, aplicación de insecticidas al suelo y al dosel) para el primer año, fue de \$ 1.470.000 por hectárea, y establecer coberturas de hoja ancha y su mantenimiento, \$ 800.000 por hectárea.

Los resultados obtenidos en esta parcela no son los esperados, en términos del control de la ML. La curva de incidencia acumulada no arroja el comportamiento logarítmico sino uno de tipo exponencial (Figura 34).



FIGURA 34. Casos e incidencia acumulada de ML en parcela de validación



Este comportamiento se debe fundamentalmente a dos razones: la parcela está rodeada por lotes con alta incidencia de la ML y el cultivar es muy susceptible al ataque de la enfermedad.

En este orden de ideas, se comprobó que tanto el manejo regional de la enfermedad, como la selección del material de siembra, son dos variables determinantes en el éxito de la estrategia de control.

Parcela de validación control de la PC en la Zona Oriental

Para el manejo de la PC, Cenipalma y los técnicos del sector, han llegado a un conjunto de criterios que constituyen una estrategia de control, demostrando detener el progreso de la enfermedad en zonas de baja incidencia y en las que se enfatiza en la detección temprana. Los criterios son: eliminación de focos para el control de la enfermedad; aplicación preventiva de moléculas químicas para el control de hongos, bacterias e insectos; erradicación de palmas en estados avanzados de la enfermedad; remoción de tejido enfermo en grados iniciales del ataque de la enfermedad; manejo de riego y drenaje, y planes de mantenimiento del cultivo que brinden a las palmas la capacidad de emitir tejido sano con mayor velocidad.

En la parcela de validación en la Zona Oriental se hizo énfasis en el manejo de drenaje, ya que el anegamiento es el principal problema de la plantación en la que se implementó el experimento. Es importante anotar que el exceso de agua causa estrés en la palma, promueve una alta humedad relativa y reduce las posibilidades de recuperación, para no hablar de que el agua es el medio por excelencia para la diseminación de las zoosporas de *P. palmivora*.

En este orden de ideas, después de realizar un análisis topográfico, de montar una red de pozos de observación y de hacer estudios de desagües, se construyó la red de drenajes (Figura 35).

Los resultados indican que la incidencia acumulada de la PC en el lote tratado creció a una tasa del 1,02 % por censo, pasando de 13,2 % a 17,9 %; mientras que en el lote testigo el crecimiento de la incidencia acumulada se dio a una tasa del 5,4 % por censo, pasando de 9,1 % a 21,0 %, en el mismo periodo de tiempo.



FIGURA 35. Drenajes funcionales en la parcela de validación para el control de la PC en Zona Oriental

Validación de la metodología para la medición y control de Sistemas de Tratamiento de Agua Residuales en plantas de beneficio

Con la entrada en vigencia de la Resolución 0631 de 2015 expedida por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, se hicieron más exigentes los parámetros y se redujeron los límites permisibles en los vertimientos. En consecuencia, durante 2015 y 2016, Cenipalma realizó un diagnóstico en 25 plantas de beneficio (38 % del total de las plantas del país), donde se identificaron ocho criterios de difícil cumplimiento para el sector.

De los ocho parámetros, cinco contaminantes (demanda química de oxígeno - DQO, sólidos suspendidos totales - SST, sólidos sedimentables - SED, grasas y aceites) están relacionados con características intrínsecas del fruto de la palma de aceite o de su proceso de beneficio primario, tales como materia orgánica, sólidos o grasas y aceites. En este orden de ideas, siempre estarán presentes en los efluentes de una planta de beneficio.

En 2018 se validó la metodología de medición y control de sistemas de tratamiento de aguas residuales (STAR), en otra planta de beneficio. Esta permite identificar sistemáticamente las principales limitantes del sistema y las oportunidades de mejora, y se basa en tres grandes componentes:

- Análisis de la información histórica, para conocer la relación entre la eficiencia de remoción y la fruta procesada.
- Evaluación de STAR para conocer si se cuenta con el tiempo mínimo de retención hidráulico basado en la capacidad de remoción de este tipo de sistemas.



- Análisis de variables fisicoquímicas de operación, dado que la eficiencia de remoción no depende solamente de la capacidad del sistema de tratamiento. Deben analizarse la temperatura, el pH, capacidad buffer, alcalinidad, SSED, SST, ST y DQO.

Proyecto: Economía agrícola y biometría

Objetivo

Garantizar la validez de los resultados de la investigación y llevar a cabo la evaluación económica de los mismos.

Principales actividades desarrolladas en 2018

Garantizar el rigor estadístico de las actividades de investigación de Cenipalma

Los resultados de investigación deben ser rigurosos desde el punto de vista estadístico, para que sean replicables y reproducibles. Para esto, el área de Biometría acompaña las investigaciones de Cenipalma en la planeación de los experimentos y en la implementación del método más apropiado para el análisis de datos (Tabla 6).

TABLA 6. Apoyo e interacción de Biometría con otras áreas de investigación de Cenipalma

Programa/Unidad	Revisión de la propuesta estadística de protocolos de investigación	Análisis de datos mediante la técnica estadística más apropiada	Revisión del plan de aleatorización de experimentos
Agronomía	3	29	9
Biología	2	9	7
Entomología	16	24	-
Procesamiento	-	8	-
Validación	2	4	2
Total	23	74	18

Evaluación de cosecha mecanizada en palmas con altura menor a tres metros

La labor de cosecha de racimos de palma de aceite participa con el 25 % de los costos de producción de una tonelada de fruta; el 90 % del costo de cosecha corresponde a mano de obra.

En este trabajo se analizó la información recolectada mediante el sistema Click palm, en una plantación de la Zona Suroccidental, atinente a los rendimientos y a los costos asociados a la cosecha de fruta de palma híbrida OxG. Los racimos a cosechar se encuentran en alturas inferiores a los tres metros y para su corte es posible emplear el palín malayo o el cortador mecanizado PC70. Se documentó el proceso de corte de fruta, se estudiaron los tiempos de operación y los rendimientos de la labor, y se estimaron costos fijos y variables de la labor de corte y alce de fruta, para el corte mecanizado y para el uso del palín (Tabla 7).

Tabla 7. Comparativo de costos por hectárea según sistema de cosecha

Rubro	Sistema de cosecha	
	Cortador mecanizado	Palín
Rendimiento (t RFF/día)		
Rendimiento (t RFF/día)	10	5,2
Costo fijo (reposición)		
Herramienta corte (\$/día)	5.405	304
Animales (\$/día)	1.264	632
Zorrillos (\$/día)	9.010	4.505
Subtotal costo fijo (\$/día)	15.679	5.441
Costo fijo (\$/t RFF cosechada) (I)	1.568	1.046
Costo variable		
Combustible (\$/día)	3.794	-
Lubricantes (\$/día)	1.238	-
Herramienta corte (\$/día)	686	-
Animales (\$/día)	4.290	2.145
Zorrillos (\$/día)	3.378	1.689
Mano de obra (\$/día)	156.249	104.166
Subtotal costo variable	169.635	108.000
Costo variable (\$/t RFF cosechada) (II)	16.964	20.769
Costo total (\$/t RFF cosechada) (I+II)	18.531	21.816

El rendimiento de fruta cosechada al día es mayor, y el costo total por hectárea es menor, con el sistema de corte mecanizado.

Análisis económico a ensayo de nutrición en materiales híbridos OxG

Se realizó el análisis económico de un ensayo de nutrición en híbridos interespecíficos de 10 años de edad, durante cinco años en una plantación de la Zona Oriental, y en el que se emplearon tres nutrimentos (N, P, K): tres dosis de nitrógeno, tres de potasio y dos de fósforo. La combinación de estos factores dio como resultado la aplicación de 19 tratamientos en el campo.

El método empleado para realizar el análisis económico fue el de presupuestos parciales, con un enfoque de evaluación a partir del costo que varía (asociado a la decisión de emplear determinado tratamiento). No se tienen en cuenta los demás costos, puesto que todas las actividades relacionadas con el establecimiento y mantenimiento del cultivo, fueron iguales en todos los tratamientos. Como costos que varían se consideró el precio del fertilizante (precios 2017), el valor de la aplicación de cada uno de los 19 tratamientos y el de cosechar el fruto. En lo que concierne al beneficio bruto, se hizo la sumatoria de las toneladas obtenidas durante el periodo evaluado, valorada al precio de venta del fruto en 2017 (Tabla 8).



Tabla 8. Indicadores económicos para los cuatro mejores tratamientos de fertilización evaluados

Tratamiento	Costos que varían	Beneficio neto	Tasa de retorno marginal
N1- P2- K1	12.504.215	25.424.597	28 %
N1- P1- K2	13.968.008	26.575.314	37 %
N3- P2- K1	16.058.049	27.320.728	37 %
N3- P2- K2	18.426.175	30.107.975	53 %

Los resultados del análisis de presupuestos parciales sugieren que el tratamiento que representa un mayor retorno por cada peso adicional invertido en fertilización y cosecha (costo que varía), es el que contiene la mayor dosis de nitrógeno y las dosis intermedias de fósforo y potasio (N3 - P2- K2). Nótese que la tasa de retorno marginal, entre el testigo y cada uno de los tratamientos en los que el beneficio neto incrementa más que proporcionalmente con respecto al costo que varía, indica que la mejor inversión es N3 - P2- K2.

Costos de producción para el fruto de palma de aceite y el aceite de palma en 2016

Para estimar los costos de producción del fruto de la palma de aceite (cultivo) y del aceite de palma (extracción), se realizó el ejercicio con un grupo de empresas que se caracterizan por ser referentes de manejo en sus respectivas zonas y subzonas, a las que se les estimó el costo unitario de producción. Se recolectó información de 38 empresas que representan 108.949 hectáreas, equivalente al 21,3 % de la superficie sembrada de palma en 2016 (512.076 ha). Asimismo, se referenciaron los costos de extracción en plantas de beneficio (PB), cuya producción fue de 359.600 toneladas de aceite de palma crudo (APC), equivalente al 31 % del total producido en Colombia en 2016 (1.146.203 t).

En la estimación de los costos se utilizó la misma metodología aplicada en estudios anteriores, lo que asegura que los resultados de estos ejercicios sean comparables entre sí.

Para el 2016, los resultados indican que establecer una hectárea de palma de aceite y mantenerla durante la etapa improductiva del cultivo, tuvo un costo de \$ 18.8 millones para *E. guineensis* y \$ 21 millones para híbrido OxG. Si los cultivos se establecieron en donde había palmas de aceite sembradas previamente, fue necesario sumar los costos de erradicación del cultivo anterior, que oscilaron entre \$ 1.200.000 y \$ 1.900.000 por hectárea.

En cuanto a los costos por tonelada de racimos de fruta fresca (RFF), se estimó un promedio de \$ 267.278 para *E. guineensis* y \$ 240.041 para híbridos OxG. Este último, corresponde a la Zona Oriental que es la única en donde los cultivos de dicho cruzamiento han alcanzado la etapa adulta, y cuentan con una trayectoria productiva de más de 17 años. Los costos de producción de una tonelada de aceite de palma crudo (APC) se estimaron en \$ 1.517.665 para *E. guineensis* y \$ 1.399.524 para híbrido OxG en la Zona Oriental.

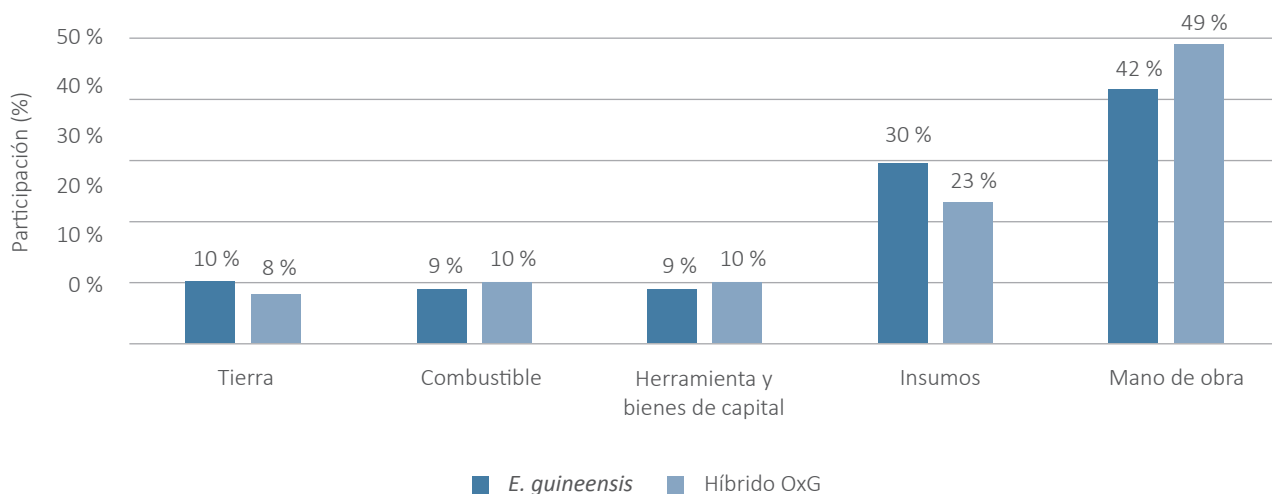
Participación de la mano de obra en el cultivo de palma de aceite en Colombia

Este trabajo planteó como objetivo cuantificar la participación de la mano de obra en los costos de producción de la agroindustria de la palma de aceite en Colombia y la generación de empleo de los cultivos, tomando como año de referencia el 2016.

Para obtener la información se preparó un cuestionario en el que se indagó, a nivel de labor y desde una perspectiva de ingeniería económica, acerca de mano de obra, rendimientos y maquinaria, herramienta e insumos empleados. Asimismo, se consideraron los precios de los factores mencionados, en ese año.

Se levantó información con personal a cargo de planear y supervisar la ejecución de labores de campo de 29 plantaciones de las cuatro zonas, para todas las actividades de mantenimiento del cultivo, desde el establecimiento hasta la etapa adulta, en 92.435 hectáreas, 18 % del total del área sembrada en el año de referencia (Figura 36).

FIGURA 36. Participación de los principales rubros en el costo de producción de cultivo



El resultado arrojó que el cultivo de palma de aceite en Colombia es intensivo en el uso de mano de obra, dado que es el factor que tiene la mayor participación en los costos; en *E. guineensis* lo hace con 42 % del total y en híbridos OxG con el 49 %, fundamentalmente por la necesidad de implementar polinización asistida.

Se estima que un cultivo adulto requiere, en promedio, un trabajador por cada 13 ha para cultivos *E. guineensis* y uno por cada 7 ha para cultivos híbridos OxG. Esta información es un insumo muy importante para conocer la relevancia social del cultivo, la demanda de mano de obra y las implicaciones de su escasez.

Resultados e impacto

El proceso de validación es indispensable para medir la efectividad y viabilidad de las tecnologías para el manejo del cultivo y el procesamiento de fruto, con el fin de obtener mayor sostenibilidad, con mejor productividad, reducción de costos y menor impacto ambiental.