

**Evaluación de los cambios morfofisiológicos del híbrido interespecífico OxG de la palma de aceite (*Elaeis oleifera* (Kunt) Cortes x *Elaeis guineensis* Jacq.) bajo aplicación continua de altas concentraciones de ácido naftalenacético (ANA)**

Neyder Albeiro Sanchez Garcia

Universidad de Pamplona, Facultad de Ciencias Agrarias, Departamento de Agronomía,  
Programa de Ingeniería Agronómica

Trabajo de grado modalidad práctica empresarial presentado como requisito para optar al título  
de Ingeniero Agrónomo

Paola Andrea Hormaza Martínez I.A, PhD.

Cristihian Jarri Bayona Rodríguez Biólogo, PhD.

Pamplona, 2021

## **Dedicatoria**

Dedico este trabajo a mi madre Luz Estela García, quien con su bendición a diario a lo largo de mi vida me protege y con su apoyo constante en todo momento me permitió conseguir esta meta profesional. A mi abuelita Adela, quien me da su bendición y buenos deseos al salir de casa a diario. A mi difunto abuelo Ramon, por tus buenos consejos que nunca olvidaré. A mi cuñado Román por siempre estar dispuesto a colaborarme en lo que necesite. Por último, a mis hermanas Briggith y Eliana y a mi sobrina Samantha por ser mi motor de impulso para mi vida.

## **Agradecimientos**

A la Universidad de Pamplona y la facultad de Ciencias Agrarias por brindar su conocimiento durante mi formación académica.

A mi tutora Paola Hormaza por su apoyo recibido para finalizar este proyecto.

Al centro de investigación en palma de aceite Cenipalma, por haberme brindado la oportunidad para seguir mi formación personal y profesional.

Al personal perteneciente al área de fisiología vegetal del Campo Experimental Palmar de la Vizcaína, el Dr. Cristihian Bayona, el Ing. Arley Caicedo y los auxiliares de campo Pedro Parada y Wilson Diaz por compartir conmigo su tiempo, conocimiento y experiencia.

## Tabla de contenido

Resumen .....	11
Abstract .....	13
Introducción.....	14
1. Problema.....	17
1.1. Planteamiento y Descripción del Problema.....	17
2. Justificación.....	18
3. Objetivos .....	19
3.1. Objetivo general.....	19
3.2. Objetivos específicos.....	19
4. Marco Teórico .....	20
4.1. Marco Contextual.....	20
4.2. Bases conceptuales.....	21
4.2.1. Origen .....	21
4.2.2. Morfología de la palma de aceite .....	21
4.2.3. Fenología de la palma de aceite .....	23
4.2.4. Origen del híbrido interespecífico OxG.....	25
4.2.5. Reguladores de crecimiento .....	26
4.2.6. Auxinas .....	27
4.2.7. Polinización artificial.....	29

5. Marco Legal.....	29
5.1. Investigación en aceite de palma.....	29
5.2. Reguladores Fisiológicos de Crecimiento .....	30
5.3. Normativa trabajo de grado de la Universidad de Pamplona.....	30
6. Metodología.....	30
6.1. Localización.....	30
6.2. Tratamientos .....	32
6.3. Aplicación de los tratamientos.....	34
6.4. Descripción de los cambios morfológicos.....	35
6.5. Evaluación de los cambios morfológicos y fisiológicos .....	35
6.5.1. Variables independientes: .....	35
6.5.2. Variables dependientes: .....	36
6.5.2.1. Variables fisiológicas.....	36
6.5.2.1.1. Intercambio de gases (fotosíntesis y transpiración) y conductancia estomática ...	36
6.5.2.2. Variables morfológicas.....	37
6.5.2.2.1. Emisión foliar.....	37
6.5.2.2.2. Área foliar .....	38
6.5.2.2.3. Peso seco de la hoja.....	39
6.5.2.2.4. Longitud del raquis.....	39
6.5.2.2.5. Componentes de producción .....	40

6.5.3. Métodos de análisis .....	40
7. Resultados y discusión .....	40
7.1. Descripción de los cambios morfológicos.....	40
7.2. Identificación en los cambios morfológicos foliares a través de parámetros de: componentes de producción; emisión foliar; área foliar, peso seco y longitud del raquis de la hoja. ....	49
7.2.1. Emisión foliar .....	49
7.2.2. Área foliar .....	51
7.2.3. Peso seco de la hoja .....	52
7.2.4. Longitud del raquis de la hoja .....	54
7.2.5. Componentes de producción .....	55
7.3. Evaluación de los cambios fisiológicos en los valores de los parámetros de fotosíntesis; transpiración y conductancia estomática. ....	56
7.3.1. Fotosíntesis.....	56
7.3.2. Transpiración.....	58
7.3.3. Conductancia estomática .....	60
8. Conclusiones .....	62
9. Recomendaciones.....	63
Bibliografía.....	64

## Lista de Tablas

<b>Tabla 1.</b> Componentes de la solución para la aplicación de los tratamientos de ANA en diferentes concentraciones sobre palmas de híbrido interespecífico OxG.....	32
<b>Tabla 2.</b> Diseño y distribución de los tratamientos.....	33
<b>Tabla 3.</b> Tratamientos de ANA aplicados en palmas de híbrido interespecífico OxG. ....	33
<b>Tabla 4.</b> Promedios de los componentes de producción en palmas con aplicación de ANA. ...	56

## Lista de Figuras

<b>Figura 1.</b> Filotaxia de la palma de aceite: a) derecha, b) izquierda. ....	23
<b>Figura 2.</b> Estructura de la escala de tres dígitos. Apertura del 50 % de los foliolos superiores de la hoja flecha, los foliolos de la parte baja de la hoja aún se encuentran plegados. ....	24
<b>Figura 3.</b> Ubicación geográfica del bloque 4, lote 1 en el Campo Experimental Palmar de la Vizcaína – Cenipalma. ....	31
<b>Figura 4.</b> Chapeta usada para la identificación de cada tratamiento en palmas aplicadas con ANA (T: Tratamiento; P: Palma). ....	34
<b>Figura 5.</b> Aplicación de ANA en diferentes concentraciones sobre palmas de híbrido interespecífico OxG. ....	35
<b>Figura 6.</b> Medición de intercambio de gases con el medidor portátil de fotosíntesis LI6400XT en palmas bajo aplicación continua de ANA en diferentes concentraciones. ....	37
<b>Figura 7.</b> Marcación de la hoja 1 con pintura en palmas bajo aplicación continua de ANA en diferentes concentraciones. ....	38
<b>Figura 8.</b> Palmas del tratamiento Control. S0: semana 0. S4: semana 4. S7: semana 7. S10: semana 10. ....	40
<b>Figura 9.</b> Palmas tratadas continuamente con ANA 1200 Foliar durante 10 semanas. S0: semana 0. S4: semana 4. S7: semana 7. S10: semana 10. ....	44
<b>Figura 10.</b> Palmas tratadas continuamente con ANA 4800 Foliar durante 10 semanas. S0: semana 0. S4: semana 4. S7: semana 7. S10: semana 10. ....	45
<b>Figura 11.</b> Palmas tratadas continuamente con ANA 4800 Corona durante 10 semanas. S0: semana 0. S4: semana 4. IF: inflorescencia en antesis con crecimiento prematuro de los frutos. ....	46

<b>Figura 12.</b> <i>Racimo de palmas tratadas continuamente con ANA 4800 Foliar con desprendimiento de frutos.</i> .....	47
<b>Figura 13.</b> <i>Racimos de palmas tratadas continuamente con ANA 4800 Corona con desprendimiento de frutos.</i> .....	48
<b>Figura 14.</b> <i>Frutos partenocárpicos de racimos de palmas tratadas continuamente con ANA 4800 Corona.</i> .....	49
<b>Figura 15.</b> <i>Efecto de diferentes concentraciones de ANA sobre la emisión foliar en híbridos OxG tratados durante 10 semanas. Desviación estándar n:5; letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas (ANOVA de un solo factor, prueba de Tukey, <math>p &lt; 0,05</math>).</i> .....	49
<b>Figura 16.</b> <i>Efecto de diferentes concentraciones de ANA sobre el área foliar en híbridos OxG tratados durante 10 semanas.</i> .....	52
<b>Figura 17.</b> <i>Efecto de diferentes concentraciones de ANA sobre el peso seco de la hoja en híbridos OxG tratados durante 10 semanas.</i> .....	53
<b>Figura 18.</b> <i>Efecto de diferentes concentraciones de ANA sobre la longitud del raquis de la hoja número 3 en híbridos OxG tratados durante 10 semanas.</i> .....	55
<b>Figura 19.</b> <i>Tasa fotosintética en palmas tratadas con diferentes concentraciones de ANA. Desviación estándar n:5; letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas (ANOVA de un solo factor, prueba de Tukey, <math>p &lt; 0,05</math>).</i> .....	58
<b>Figura 20.</b> <i>Tasa de transpiración en palmas con aplicación de diferentes concentraciones de ANA. Desviación estándar n:5; las letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas (ANOVA de un solo factor, prueba de Tukey, <math>p &lt; 0,05</math>).</i> .....	59

**Figura 21.** *Conductancia estomática en palmas con aplicación de diferentes concentraciones de ANA. Desviación estándar n:5; las letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas (ANOVA de un solo factor, prueba de Tukey,  $p < 0,05$ ).*..... 61

## Resumen

En cultivares híbridos interespecíficos OxG de palma de aceite el ácido 1-naftalenacético (ANA) es utilizado para polinización artificial, generando la formación de frutos partenocárpicos, siendo benéfico a nivel productivo al incrementar el número de racimos formados por hectárea, e incrementar la producción de aceite de más del 25 %, así como también reducir el uso de mano de obra. Aunque se han hecho estudios que demuestran la efectividad de la polinización artificial, aún no han sido evaluados otros efectos que pueda producir a largo plazo la utilización de ANA sobre las palmas, por lo cual es necesario caracterizar y entender las alteraciones que pueden presentar los cultivares por la aplicación constante de ANA en la polinización artificial. La presente investigación tuvo como objetivo determinar los efectos generados sobre la morfología y fisiología del híbrido interespecífico OxG expuesto a aplicaciones continuas de altas concentraciones de ANA tanto en órganos reproductivos como en partes vegetativas por medio de cuatro tratamientos. Se evaluó a nivel morfológico la emisión foliar, área foliar, peso seco, longitud del raquis de la hoja, y componentes de producción; a nivel fisiológico se evaluó la tasa fotosintética, la tasa de transpiración y la conductancia estomática. Los resultados indican que el tratamiento ANA 4800 Foliar fue el que generó más cambios morfológicos, reduciendo la emisión foliar a 0,5 hojas por mes y aumentando levemente el área, peso seco y longitud del raquis de las hojas. A nivel fisiológico el tratamiento ANA 4800 Foliar mostró diferencias significativas con respecto a los demás tratamientos, ocasionando promedios más bajos en el último muestreo de las tasas de fotosíntesis, transpiración y conductancia estomática de las palmas. Estos resultados evidencian que si existen efectos morfológicos y fisiológicos sobre el híbrido interespecífico OxG generados por la aplicación de altas concentraciones de ANA sobre partes reproductivas y vegetativas de la palma.

**Palabras clave:** palma de aceite, ácido 1-naftalenacético, polinización artificial, fisiología, morfología.

### **Abstract**

In interspecific hybrid OxG oil palm cultivars, 1-naphthaleneacetic acid (ANA) is used for artificial pollination, generating the formation of parthenocarpic fruits, which is beneficial at the productive level by increasing the number of bunches formed per hectare, and increasing oil production by more than 25%, as well as reducing the use of labor. Although there have been studies that demonstrate the effectiveness of artificial pollination, other long-term effects of ANA on the palms have not yet been evaluated, so it is necessary to characterize and understand the alterations that may occur in the cultivars due to the constant application of ANA in artificial pollination. The objective of this research was to determine the effects generated on the morphology and physiology of the interspecific hybrid OxG exposed to continuous applications of high concentrations of ANA in both reproductive organs and vegetative parts by means of four treatments. At the morphological level, leaf emission, leaf area, dry weight, leaf rachis length, and yield components were evaluated; at the physiological level, photosynthetic rate, transpiration rate, and stomatal conductance were evaluated. The results indicate that the ANA 4800 Foliar treatment generated the most morphological changes, reducing leaf emission to 0.5 leaves per month and slightly increasing leaf area, dry weight and rachis length. At the physiological level, the ANA 4800 Foliar treatment showed significant differences with respect to the other treatments, causing lower averages in the last sampling of photosynthesis rates, transpiration and stomatal conductance of the palms. These results show that there are morphological and physiological effects on the interspecific hybrid OxG generated by the application of high concentrations of ANA on the reproductive and vegetative parts of the palm.

**keywords:** oil palm, 1-naphthaleneacetic acid, artificial pollination, physiology, morphology.

## Introducción

La palma de aceite es una especie perenne, monoica de reproducción alógama, su sistema fotosintético es C3 y las hojas adultas permanecen fotosintéticamente activas por cerca de 21 meses. Es una planta monocotiledónea perteneciente al orden Arecales, familia Areaceae y género *Elaeis*, donde se encuentran dos especies: *E. guineensis* y *E. oleifera*. (Corley, R.H.V., Tinker, P.B., 2016). El cruzamiento interespecífico de las dos especies genera el híbrido OxG que presenta características de interés productivo.

Los híbridos de palma de aceite tienen un crecimiento lento del estípote menor a 25 cm/año y una productividad de aceite media de 5 t/ha/año, siendo la primera una característica morfológica que permite plantaciones con vida económica útil superior a 40 años (López-Murcia, 2014). El híbrido interespecífico OxG, es un genotipo promisorio por su alta productividad, calidad de aceite, y resistencia parcial a la Pudrición del Cogollo (Forero-Hernández et al., 2012).

El cultivo de palma se desarrolla en áreas tropicales y subtropicales, presenta un crecimiento continuo e ininterrumpido con diferentes tasas de crecimiento de acuerdo con las condiciones ambientales (Forero-Hernández et al., 2012). El crecimiento de un cultivo como la palma de aceite depende, fundamentalmente, del desarrollo progresivo de su área foliar, lo cual le permite utilizar más eficientemente la energía solar para la fotosíntesis y la producción se encuentra influenciada por el tamaño, forma, edad, ángulo de inserción, separación vertical y arreglo horizontal de las hojas (Rangel, 2021).

La palma de aceite es la oleaginosa más productiva del planeta; una hectárea sembrada produce entre 6 y 10 veces más aceite que las otras oleaginosas como Soya, Colza y Girasol. Colombia se encuentra entre los principales productores del mundo, ocupando el cuarto lugar a

nivel mundial en producción de aceite de palma y el primero en América (Fedepalma, 2020). No obstante, la tasa de extracción de aceite bajo condiciones de polinización natural es muy baja. Las limitaciones en el llenado de racimos pueden estar asociadas a la baja producción de inflorescencias masculinas, la baja viabilidad y germinabilidad del polen, y la presencia de brácteas pedunculares indehiscentes en las inflorescencias femeninas que dificultan el ingreso del polen de manera natural, lo que conlleva a la necesidad de realizar polinización asistida o artificial. (Forero-Hernández et al., 2012).

Una de las alternativas que se ha estudiado para mejorar la polinización de los híbridos es el uso de reguladores de crecimiento (Romero, 2018), que son compuestos sintetizados químicamente u obtenidos de otros organismos y que actúan en diferentes procesos fisiológicos y bioquímicos a nivel celular en los organismos vegetales. Según su estructura molecular están clasificados en: auxinas, giberelinas, citoquininas, ácido abscísico, ácido salicílico, poliaminas, ácido jasmónico, brasinoesteroides y etileno (Alcántara et al., 2019). Estos generalmente afectan el crecimiento y desarrollo de la planta a muy bajas concentraciones, mientras que la inhiben a altas concentraciones (Montaño Mata y Méndez Natera., 2009).

El desarrollo de la tecnología que actualmente se usa para polinización artificial con reguladores de crecimiento comenzó en el año 2013. En este año el grupo de Biología y Mejoramiento Genético de Cenipalma, inició experimentos para determinar el potencial de diferentes reguladores de crecimiento para la inducción de frutos partenocárpicos. Los estudios permitieron establecer que el regulador de crecimiento ácido 1-naftalenacético (ANA) en concentración de 1200 ppm aplicado a inflorescencias antes, durante o hasta 14 días después de la antesis permite el desarrollo y llenado de los frutos. Esto permitió el surgimiento de la tecnología denominada polinización artificial. (Romero, 2018)

Aunque se han hecho muchas pruebas que demuestran la efectividad de la polinización artificial, los efectos a largo plazo de la utilización de ANA sobre la palma no han sido evaluados. Resultados preliminares del uso continuo de la tecnología por un año no evidencian consecuencias visibles sobre las plantas. Sin embargo, es necesario continuar con estos monitoreos por tiempos más prolongados, teniendo en cuenta la vida útil del cultivo y sus características perennes (Romero, 2018).

El regulador de crecimiento de interés para este proyecto de investigación ANA, también llamado ácido 1- naftalenacético, que es un regulador de crecimiento vegetal auxínico de origen sintético. Es ampliamente utilizado en agricultura, principalmente en la producción de cultivos hortofrutícolas, así como especies ornamentales y se emplea para el enraizamiento de esquejes de plantas, para prevenir el aborto de frutos precosecha, en la inducción floral, el raleo de frutos, entre otros procesos (Quimicompany, s.f).

El objetivo del proyecto de investigación es determinar los efectos que tienen las aplicaciones continuas de altas concentraciones de ANA tanto en los órganos reproductivos como en la parte vegetativas, en el híbrido interespecífico OxG (*Elaeis oleifera* (Kunt) Cortes x *Elaeis guineensis* Jacq.)

## 1. Problema

### 1.1. Planteamiento y Descripción del Problema.

Los reguladores de crecimiento de tipo auxínico como el ANA actúan en diferentes procesos fisiológicos, afectando el crecimiento y desarrollo de las plantas y dependiendo de su concentración, estimulan o inhiben una misma respuesta (Alcántara et al., 2019; Davies, 2010) que ocurre en un tiempo determinado en el desarrollo de la planta y se presenta solamente en un tejido u órgano específico (Srivastava, 2002).

De acuerdo con las investigaciones previas realizadas por Cenipalma se ha establecido que mediante la aplicación de ácido naftalenacético (ANA) con concentración de 1200 ppm, en diferentes estados fenológicos de la palma (607, 609) y 15 días después de antesis sobre inflorescencias, es posible inducir la formación de frutos partenocárpico aceitosos en el híbrido interespecífico OxG. Sin embargo, debido a que solo se ha estudiado la aplicación de ANA en inflorescencias y a una concentración específica, existe un desconocimiento de los efectos a largo plazo de la utilización de ANA en altas concentraciones sobre las plantas, y los efectos adversos que podría generar sobre los procesos fisiológicos del híbrido interespecífico OxG.

Esta investigación aborda la siguiente interrogante: ¿La aplicación de ANA en altas concentraciones sobre hojas y corona puede causar cambios morfofisiológicos tanto en los órganos reproductivos como en la parte vegetativa del híbrido interespecífico OxG?

Nuestra hipótesis es la siguiente:

“La aplicación continua de altas concentraciones de ANA sobre palmas híbrido OxG genera cambios morfológicos y fisiológicos que reducen su crecimiento vegetativo y afectan los órganos reproductivos”.

## 2. Justificación

La presente investigación se enfocará en determinar los cambios morfofisiológicos sobre hojas y coronas del híbrido interespecífico OxG de la palma de aceite bajo aplicación continua de altas concentraciones de ácido naftalenacético (ANA) en el Campo experimental Palmar de la Vizcaína.

Cenipalma validó la implementación de la tecnología de polinización artificial con aplicaciones de ANA en inflorescencias para la obtención de frutos partenocárpico en el híbrido interespecífico OxG, para mejorar el peso de los racimos y el contenido de aceite; pero aún no se conocen que efectos adversos podrían tener estas aplicaciones sobre el desarrollo de la planta a largo plazo, debido a que el ácido naftalenacético es una auxina sintética que a diferencia de las auxinas naturales no es fácilmente degradada por enzimas naturales de las plantas ni por los microorganismos, y esta no puede ser degradado por la oxidasa IAA, logrando permanecer mayor tiempo sobre los tejidos (Basantes, 2011). En estudios realizados por Hąc-Wydro, y Flasiński, (2015) se ha demostrado que el ANA cambia la estabilidad, el empaquetamiento y las interacciones entre los lípidos en las membranas de *Arabidopsis thaliana* (L.), Heynh. generando un efecto toxico dependiendo de las concentraciones empleadas. Así el presente trabajo tiene como fin evaluar los cambios morfofisiológicos que se presenten en la planta por la aplicación de ANA en altas concentraciones y concluir si existen efectos adversos que puedan perjudicar el desarrollo normal de las estructuras vegetativas y reproductivas.

### 3. Objetivos

#### 3.1. Objetivo general

Determinar los cambios morfológicos y fisiológicos del híbrido interespecífico OxG (*Elaeis oleifera* (Kunt) Cortes x *Elaeis guineensis* Jacq.) bajo aplicación continua de altas concentraciones de ácido naftalenacético (ANA)

#### 3.2. Objetivos específicos

- Describir los cambios morfológicos que ocurren en inflorescencias y racimos del híbrido interespecífico OxG bajo aplicación continua de altas concentraciones de ANA.
- Identificar los cambios morfológicos foliares del híbrido interespecífico OxG bajo aplicación continua de altas concentraciones de ANA.
- Evaluar los cambios fisiológicos del híbrido interespecífico OxG bajo aplicación continua de altas concentraciones de ANA.

## 4. Marco Teórico

### 4.1. Marco Contextual

En el XVIII Congreso Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite, los palmicultores tomaron la decisión de crear su propio centro de investigación y fue así como en 1990 se gestó la Corporación Centro de Investigación en Palma de Aceite, Cenipalma, que inició su vida jurídica el 1 de enero de 1991, como una corporación de carácter científico y técnico, sin fines de lucro. Desde entonces trabaja con los palmicultores para la obtención de mejores resultados y los servicios que el sector requiere, para aportar a la sanidad, productividad y sostenibilidad de esta agroindustria por medio de la investigación, generación de insumos y guías para la implementación de mejores prácticas (Cenipalma, s.f).

Cenipalma cuenta con programas y proyectos enfocados en las áreas de biología y mejoramiento; agronomía; plagas y enfermedades; validación y procesamiento de extracción de aceite de palma. Todo esto, con el fin de desarrollar e implementar procesos de investigación y extensión en el sector palmero (Angarita, 2018).

También cuenta con cuatro campos experimentales. Uno por cada zona; en la zona norte, ubicada en el municipio de Zona Bananera, Magdalena; está el Campo Experimental Palmar de La Sierra (CEPS), con enfoque en Agronomía (manejo de recurso hídrico); en la zona central, ubicada en el municipio de Barrancabermeja, Santander; se encuentra el Campo Experimental Palmar de La Vizcaína (CEPV), inaugurado en 2004 y el cual está enfocado en Biología y Mejoramiento Genético; en la zona oriental, ubicada en el municipio de Paratebueno, Cundinamarca; está el Campo Experimental Palmar de Las Corocoras (CEPC), con enfoques en Agronomía (manejo de suelos) y Procesamiento de extracción de aceite de palma; y por último la

zona suroccidental, ubicada en el municipio de San Andrés de Tumaco, Nariño; se encuentra la Finca La Providencia (FP), con enfoque en Plagas y Enfermedades (Fontagro, 2019).

## **4.2. Bases conceptuales**

### **4.2.1. Origen**

La palma de aceite americana (*Elaeis oleifera* (Kunt) Cortes) tiene su centro de origen en diferentes regiones de Centro y Sur América. Es un recurso genético de gran importancia estratégica dentro de los programas de fitomejoramiento de la palma de aceite, por ser fuente de diversidad genética para la obtención de cruces interespecíficos entre *E. oleifera* y *E. guineensis*. (Montoya et al., 2010).

Por otro lado, la palma de aceite africana es originaria del Golfo de Guinea (África occidental), de ahí su nombre científico, *Elaeis guineensis* Jacq, se cultiva hasta 15° de latitud norte o sur. Su introducción en América tropical se atribuye a los colonizadores y comerciantes portugueses, que la usaban como parte de la dieta alimentaria de los esclavos en el Brasil. (Corley et al, 2016).

### **4.2.2. Morfología de la palma de aceite**

La palma de aceite posee solo un meristemo apical del cual se origina una sucesión continua de yemas foliares (Forero-Hernández et al., 2012). El desarrollo de la hoja desde la iniciación hasta que se abren los foliolos en el centro de la corona es lento y toma de dos a tres años. Si las condiciones ambientales son favorables estas hojas se abren y otra, llamada flecha, se elonga y toma su lugar (Corley et al, 2016). Las hojas se producen a una tasa constante de 20 a 25 por año en promedio y pueden llegar a tener entre 30 y 49 hojas funcionales, las cuales pueden alcanzar entre 5 y 7 m de longitud (Forero-Hernández et al., 2012). Las inflorescencias aparecen en las axilas de las hojas y se producen a medida que la planta continúa con su

crecimiento vegetativo (Adam, H., Collin, M., Richaud, F., Beulé, T., Cros, D., Omoré, A., Nodichao, L., Nouy, B., & Tregear, J. W., 2011). El estípite es erecto y en él permanecen las bases peciolares de las hojas hasta la etapa adulta, estas, al caer, dejan al descubierto cicatrices amplias que permiten apreciar los entrenudos (Dransfield y Uhl, 2008). Esta especie es monoica, produce inflorescencias femeninas y masculinas en la misma planta en ciclos alternados de duración variable, dependiendo de las condiciones genéticas y ambientales (Adam, et al., 2011). La polinización natural de los híbridos interespecíficos OxG es limitada debido a problemas de fertilidad, muy probablemente derivados de algún tipo de incompatibilidad sexual entre las dos especies, lo que resulta en una viabilidad y germinabilidad muy bajas del polen (Criollo y Dominguez, 2018). Además, la polinización anemófila y entomófila se ve afectada por características de la inflorescencia femenina como una bráctea peduncular larga y un alto número de bractéolas que reducen el acceso de polinizadores como *Elaeidobius subvittatus* y *Mystrops costaricensis* a las flores. Además, el atractivo de las flores (volátiles emitidos) de *E. guineensis* y OxG es diferente, y el número de polinizadores que visitan OxG es escaso en comparación con *E. guineensis*. (Meléndez y Ponce, 2016).

La forma en la que se ordenan las hojas se conoce como filotaxia, las hojas de la palma de aceite se encuentran ordenadas en forma de espiral y puede ser en dos direcciones: izquierda o derecha (Figura 1). Las hojas pueden ser agrupadas en coronas, una corona es un grupo de ocho hojas que se sitúan en el mismo nivel. Cada corona se identifica con el número de hoja en el que inicia la corona, por lo que en una palma de 49 hojas se forman 7 coronas (Corzo J., 2017).

**Figura 1.**

*Filotaxia de la palma de aceite: a) derecha, b) izquierda.*



*Fuente: Forero (2012).*

#### **4.2.3. Fenología de la palma de aceite**

La fenología es la ciencia que estudia los fenómenos biológicos que se presentan periódicamente, acomodados a ritmos estacionales; esta puede ser entendida como el estudio de los eventos periódicos naturales involucrados en la vida de las plantas (Gómez-Restrepo, 2010).

La escala BBCH se basa en un código decimal que identifica el desarrollo de las plantas con estadios principales y secundarios y ha sido aceptado ampliamente en los últimos años, contándose con su adaptación a los frutales de hueso y a otros cultivos (Casiano y Paz, 2018). Los estadios principales de crecimiento son descritos usando números del 0 al 9 en orden ascendente. Los estadios secundarios son descritos con dígitos del 0 al 9; usados para describir fases cortas en un determinado estadio principal. En el caso de la escala BBCH extendida para palma de aceite, que introduce un tercer dígito (de 0 a 9) entre los dos anteriores (mesoestadio) es utilizado para hacer mayor especificidad (Figura 2).

**Figura 2.**

*Estructura de la escala de tres dígitos. Apertura del 50 % de los foliolos superiores de la hoja flecha, los foliolos de la parte baja de la hoja aún se encuentran plegados.*



1  
Estadio principal  
Desarrollo de la  
hoja

---

5  
Mesoestadio  
Hoja flecha en  
campo

---

5  
Estadio  
secundario  
50 % de apertura

*Fuente: Lozano (2009).*

La codificación de la escala BBCH en palma de aceite usa 8 de 10 estadios principales de la escala, inicia con tres estadios principales de crecimiento: desarrollo del embrión (estadio 0), desarrollo de la hoja tanto en fase de vivero como en plantas en sitios definitivos (estadio 1), y la elongación y engrosamiento del estípite (estadio 3), se complementa con los estadios reproductivos; emergencia y crecimiento de la inflorescencia (estadio 5), etapa de floración (crecimiento de botones florales-polinización) (estadio 6); crecimiento y desarrollo de fruto (estadio 7), maduración de fruto (estadio 8) y senescencia (estadio 9) (Forero-Hernández et al., 2012).

#### 4.2.4. Origen del híbrido interespecífico OxG

La Palma de Aceite Alto Oleico, como fue denominado inicialmente el híbrido interespecífico OxG, nació a principios de la década del setenta, cuando el IRHO, instituto francés de investigación de aceites y oleaginosas, realizó algunos cruzamientos por curiosidad científica, usando como genitores femeninos unas palmas *Elaeis oleifera* de la zona del Sinú (Colombia). Los primeros cruzamientos se sembraron en varias plantaciones de Colombia, Ecuador e Indonesia, donde se descubrió la baja productividad y extracción de este material, situación que alejó el interés de investigadores e inversionistas de este material (La Cabaña, 2009).

Debido a investigaciones posteriores realizadas por el investigador Philippe Genty en los años 1973 y 1974 en este cruzamiento se lograron evidenciar resistencia a enfermedades como la Marchitez Sorpresiva y la Mancha Anular; tolerancia natural a enfermedades y plagas propias de América tropical y una alta tolerancia a enfermedades de Pudrición del Cogollo (PC) y Marchitez Letal (ML) (Silva y Martínez, 2009). También se observaron características como un bajo crecimiento de estípites de 22 cm año<sup>-1</sup> en promedio, siendo este un factor que puede alargar la vida útil de una plantación de 30 a 50 años; una mayor facilidad de cosecha dado que los ciclos de cosecha son cada tres semanas. Así mismo, la acidez del fruto es inferior al 2% y posee mejor estabilidad después de cosechado. Es altamente productiva puesto que se obtienen entre 30 y 40 toneladas de fruto por hectárea al año. Esto junto con una extracción entre 18 y 20%, asegura una gran rentabilidad (La Cabaña, 2009a).

En Colombia también se desarrolló el cultivar híbrido OxG Corpoica El Mira de palma de aceite mediante el programa de mejoramiento genético estatal de la palma de aceite de Colombia (1960-2020) continuado por Agrosavia, mediante cruzamientos controlados entre

palmas aceiteras americanas (madre) de la especie *Elaeis oleifera* tipo Cereté, originarias de Cereté (Córdoba, Colombia) con palmas aceiteras africanas (padre) *Elaeis guineensis* de los tipos Deli y Yangambi, originarias de Indonesia y Zaire, respectivamente (Bastidas Pérez, S., Reyes Cuesta, R., Tolosa Montaña, W., Montero, Y. D., Gutiérrez Verdugo, I., Arenas Rubio, Moreno, L. P., & Arizala, M. J., 2020).

#### **4.2.5. Reguladores de crecimiento**

Existen compuestos denominados “reguladores de crecimiento”, que pueden ser de naturaleza química diferente a algunas hormonas y/o “desconocidas o nunca codificadas” por el metabolismo celular, que pueden igualmente desarrollar efectos semejantes a hormonas endógenas naturales. Algunas de ellas provocan respuestas más intensas que los compuestos naturales a igual concentración molar. Al mismo tiempo algunas de estas sustancias sintéticas de acción afín también pueden ser reconocidos por receptores específicos de hormonas naturales (por ejemplo: auxina y reguladores no naturales del “tipo auxina”) (Jordán y Casaretto, 2006).

Los reguladores de crecimiento vegetal son compuestos sintetizados químicamente u obtenidos de otros organismos, son similares a las fitohormonas (hormonas vegetales) y cumplen un papel importante en la regulación de diferentes procesos bioquímicos a nivel celular en los organismos vegetales. Estos han podido imitar el rol de las fitohormonas de manera natural y son capaces de promover o inhibir el crecimiento vegetal. Se han logrado clasificar en diez tipos diferentes, de acuerdo con la actividad o capacidad estimulante que cada uno pueda poseer en el crecimiento vegetal, en un órgano o procedimiento único como la fotosíntesis, maduración de frutos entre otros (Alcántara et al., 2019).

Los reguladores de crecimiento aplicados de forma exógena se utilizan ampliamente en la agricultura para controlar y mejorar la calidad de los cultivos. Estos se acumulan en el medio

ambiente y son potencialmente peligrosos para todos los organismos vivos que están expuestos a estos compuestos. Por lo tanto, las preocupaciones ambientales asociadas con el uso de reguladores del crecimiento incluyen también el problema de la toxicidad de compuestos particulares tanto para los animales como para las plantas, ya que las auxinas son fitotóxicas a concentraciones elevadas (Hąc-Wydro, K. y Flasiński, M., 2015).

#### **4.2.6. Auxinas**

Las auxinas pertenecen al grupo de hormonas vegetales activas en la regulación del crecimiento y desarrollo de las plantas, por lo que son ampliamente conocidas como reguladores del crecimiento; estos incluyen compuestos naturales y moléculas sintéticas que poseen una actividad similar a las sustancias naturales (Alcántara et al., 2019). La fitohormona natural más extendida es el ácido indol-3-acético (IAA), mientras que el ácido 2,4-diclorofenoxiacético (2,4-D) o el ácido  $\alpha$ -naftaleno acético (NAA) representan auxinas sintéticas. Las auxinas entran en la célula a través de la membrana celular por difusión directa y / o por transporte activo que implica portadores específicos. Sin embargo, a pesar de las investigaciones sistemáticas, las cuestiones relativas al mecanismo de incorporación, la actividad y el metabolismo de las auxinas, siguen sin estar completamente explicadas (Hąc-Wydro, K. y Flasiński, M., 2015).

El ácido naftalenacético (ANA) es considerado como un homólogo del ácido indolacético (AIA), algunos estudios han demostrado que la estimulación del crecimiento vegetativo, que es la principal característica de las auxinas, puede derivar en inhibición si se eleva la frecuencia de aplicación o se supera el nivel adecuado para cada caso (sobredosis). Actúan generando dominancia apical, desarrollo en elongación de ramas, produce división celular, activa el desarrollo de yemas, favorece la floración, fructificación, crecimiento y formación de raíces,

participa en la regulación de tropismos (fototropismo), previene la abscisión de órganos (hojas, flores y frutos jóvenes) (Dieter, 1980; Jordán y Casaretto, 2006).

#### **4.2.7. Polinización artificial**

Las investigaciones para determinar la utilización de ANA como tecnología de polinización artificial iniciaron en el año 2013, cuando el grupo de Biología y Mejoramiento Genético de Cenipalma inició experimentos para determinar el potencial de reguladores de crecimiento para la inducción de frutos partenocárpicos. Allí se evidenció que los reguladores auxínicos eran los más indicados (Romero, 2018); posteriormente se logró establecer que el ANA era capaz de inducir la formación de frutos partenocárpicos a partir de inflorescencias que no habían tenido polinización asistida, también se encontró un mayor efecto en el peso de los racimos y el contenido de aceite, en función del aumento en la concentración de ANA, logrando mejores resultados bajo una concentración de 1200 ppm (Romero, H. M.; Daza, E.; Ayala Díaz, I.; Ruiz Romero, R., 2021). Fases posteriores de las investigaciones demostraron que la aplicación de ANA entre dos y tres veces por inflorescencia, en todos los estados fenológicos considerados (607, 609 y 703), permiten obtener racimos con pesos y extracción de aceite superiores (potenciales de aceite de hasta 33%) a los obtenidos con la polinización asistida con polen (Romero, H. M., Daza, E., Urrego, N., Rivera, Y., 2018). De esta forma la polinización artificial se convirtió en la tecnología utilizada en híbridos interespecíficos O<sub>x</sub>G para obtención de racimos con mayor peso y extracción de aceite.

### **5. Marco Legal**

#### **5.1. Investigación en aceite de palma**

Decreto 1730 de 1994 por lo cual reglamenta la Ley 138 del 9 de junio de 1994, “Por la cual se establece la cuota para el fomento de la Agroindustria de la Palma de Aceite y se crea el Fondo del Fomento Palmero”. Se decreta en el Artículo 8, los recursos de la Cuota para el Fomento de la Agroindustria de la Palma de Aceite destinados a promover la investigación,

divulgación y promoción de tecnologías se asignarán al Centro de Investigación en Palma de Aceite, Cenipalma.

## **5.2. Reguladores Fisiológicos de Crecimiento**

De acuerdo con el artículo 65 de la ley 101 de 1993, le corresponde al Instituto Colombiano Agropecuario ICA, ejercer el control técnico y legal de la fabricación, formulación, envasado, importación, exportación, distribución y uso de los Reguladores Fisiológicos y Coadyuvantes de Uso Agrícolas en el Territorio Nacional. Por medio de la Resolución No.002713 del 10 de octubre de 2006 se dictan las “Disposiciones Reglamentarias para, Reguladores Fisiológicos y Coadyuvantes de Uso Agrícola”.

## **5.3. Normativa trabajo de grado de la Universidad de Pamplona**

Acuerdo No.186 02 de diciembre de 2005 Por el cual compila y actualiza el Reglamento Académico Estudiantil de Pregrado. Se dispone el Artículo 36. Modalidades de Trabajo de Grado, este puede desarrollarse en la modalidad de Práctica Empresarial, que comprende el ejercicio de una labor profesional del estudiante en una empresa, durante un período de tiempo. Cuando el estudiante seleccione esta modalidad, deberá presentar al director de departamento el anteproyecto, que debe contener: nombre de la empresa, descripción de las características de la empresa, objetivos de la práctica, tipo de práctica a desarrollar, tutor responsable de la práctica en la empresa, cronograma de la práctica, presupuesto (si lo hubiere) y copia del convenio interinstitucional Universidad – Empresa o carta de aceptación de la empresa.

## **6. Metodología**

### **6.1. Localización**

El área experimental se ubica en el bloque 4, lote 1 del Campo Experimental Palmar de la Vizcaína - Cenipalma, ubicado en el Km 32 Vía la Lizama, Corregimiento Peroles, Troncal del

Magdalena Medio, Barrancabermeja (Santander) sobre las coordenadas N 6°59'4.51" O 73°42'21.22" (Figura 3). Las condiciones ambientales de la zona son: brillo solar anual de 2020 horas, temperatura media de 29°C, altitud de 125 msnm, humedad relativa entre 72 % y 77 % y precipitación anual promedio de 3500 mm (Gil-Orjuela, 2019). El lote posee un área total de 8,04 hectáreas y un área sembrada de 5,9 hectáreas, de estas 4 hectáreas están establecidas con cultivares *Elaeis guineensis* Jacq y 2 hectáreas con híbrido interespecífico OxG, totalizando 880 plantas establecidas en 2013.

**Figura 3.**

*Ubicación geográfica del bloque 4, lote 1 en el Campo Experimental Palmar de la Vizcaína – Cenipalma.*



*Nota: El área experimental esta demarcada por T1: Tratamiento control, T2: ANA 1200 Foliar, T3: ANA 4800 Foliar y T4: ANA 4800 Corona. (Flecha: indica la dirección del viento. Puntos verdes: indican palmas establecidas. Puntos rojos: indican palmas erradicadas).*

*Fuente: Geopalma (2021)*

## 6.2. Tratamientos

Las cantidades de cada componente por litro de solución se describen en la Tabla 1, para garantizar la adecuada solubilidad del ANA en los tratamientos T2, T3 y T4, se preparó una mezcla de Coadyuvante (Carrier) al 0,25 % v/v, Tween 80 al 0,3 % y Etanol al 2,7 % que se adicione a las soluciones.

Las aplicaciones y dosis empleadas se seleccionaron teniendo en cuenta trabajos previos realizados por Cenipalma (Datos no publicados). En estas investigaciones se usó para el tratamiento control la mezcla coadyuvante sin el regulador ANA y se determinó que no hay efectos por dicha mezcla, razón por la cual para este trabajo no se tuvo en cuenta para la aplicación del tratamiento control (T1).

### **Tabla 1.**

*Componentes de la solución para la aplicación de los tratamientos de ANA en diferentes concentraciones sobre palmas de híbrido interespecífico OxG.*

Tratamiento	Cantidad/litro de solución			
	Coadyuvante (Carrier) (ml)	Tween 80 (ml)	Etanol (ml)	ANA (g)
T1 (0 ppm)	0	0	0	0
T2 (1200 ppm)	2,5	2	25	1,2
T3 – T4 (4800 ppm)	2,5	16	30	4,8

*Fuente: Sanchez (2021).*

Para la aplicación del tratamiento ANA 1200 Foliar (T2) se utilizó 1,2 gramos de ANA por litro de solución (1200 ppm), debido a que este es utilizado como segundo tratamiento control porque es la dosis aplicada en la polinización artificial (Romero et al., 2021). En el tratamiento ANA 4800 Foliar (T3) y el tratamiento ANA 4800 Corona (T4) se utilizó 4,8 gramos de ANA por litro de solución (concentración de 4800 ppm).

Los tratamientos se ubicaron de acuerdo con el diseño de distribución en bloques (Tabla 2), el factor de bloqueo fue la posición geográfica debido a la dirección del viento teniendo en cuenta que las aplicaciones se realizaron por aspersión. Cada bloque poseía los cuatro tratamientos (Tabla 3) y cada tratamiento estaba constituido por cinco palmas para un total 20 palmas en una plantación de 8 años, que se encontraba en buenas condiciones, siendo palmas sanas, con buen vigor y sin ningún tipo de anomalía en sus partes foliares y reproductivas.

**Tabla 2.**

*Diseño y distribución de los tratamientos.*

Tratamiento	T1	T2	T3	T4
Bloque 1	P1	P1	P1	P1
Bloque 2	P2	P2	P2	P2
Bloque 3	P3	P3	P3	P3
Bloque 4	P4	P4	P4	P4
Bloque 5	P5	P5	P5	P5

*Fuente: Sanchez (2021).*

**Tabla 3.**

*Tratamientos de ANA aplicados en palmas de híbrido interespecífico OxG.*

Tratamiento	Descripción	Concentración	Lugar de aplicación	Aplicación
T1	Control	0 ppm	N/A	Sin aplicación
T2	ANA liquido	1200 ppm	Toda el área foliar	Dosis de 1000 ml de ANA
T3	ANA liquido	4800 ppm	Toda el área foliar	Dosis de 1000 ml de ANA
T4	ANA liquido	4800 ppm	Toda la corona	Dosis de 1000 ml de ANA

*Fuente: Sanchez (2021).*

Una vez se estableció el diseño experimental en el lote y las hileras para los tratamientos, se realizó el marcado de cada una de las palmas utilizando una chapeta de polipropileno (Figura 4) que contenía el número de tratamiento y el número de palma, para facilitar su identificación.

**Figura 4.**

*Chapeta usada para la identificación de cada tratamiento en palmas aplicadas con ANA (T: Tratamiento; P: Palma).*



*Fuente: Sanchez (2021)*

### **6.3. Aplicación de los tratamientos**

Los tratamientos fueron aplicados semanalmente durante 10 semanas con ayuda de una bomba de espalda a motor de 27 litros (Mitsubishi modelo WL768) con presión de 100 a 500 psi y boquilla de cono lleno (Figura 5). Cada palma se asperjó con un litro de solución en las hojas o coronas dependiendo de cada tratamiento (Tabla 3).

**Figura 5.**

*Aplicación de ANA en diferentes concentraciones sobre palmas de híbrido interespecífico OxG.*



*Fuente: Sanchez (2021)*

**6.4. Descripción de los cambios morfológicos.**

Para la descripción de los cambios morfológicos se realizó un seguimiento fotográfico durante las 10 semanas donde se tomaron 4 registros fotográficos de las palmas tratadas para registrar visualmente los cambios que ocurrieron en hojas, inflorescencias y racimos por la aplicación de los tratamientos.

**6.5. Evaluación de los cambios morfológicos y fisiológicos****6.5.1. Variables independientes:**

Material vegetal: se utilizó el material híbrido interespecífico OxG de siete años, que se encontraba en buenas condiciones, con buen vigor y sin ningún tipo de anomalía en sus estructuras foliares y reproductivas.

Tratamientos: aplicación de tres dosis de ANA y un testigo absoluto (control), totalizando cuatro tratamientos.

## **6.5.2 Variables dependientes:**

### **6.5.2.1. Variables fisiológicas**

#### **6.5.2.1.1. Intercambio de gases (fotosíntesis y transpiración) y conductancia estomática**

Las variables de fotosíntesis, transpiración y conductancia estomática se evaluaron en el híbrido interespecífico mensualmente, usando un medidor portátil de fotosíntesis LI6400XT (Figura 6). En campo, fueron tomadas cinco palmas y tres folíolos del tercio medio de la hoja 17 por palma en cada tratamiento. Los folíolos en condiciones de exposición solar en las horas de la mañana fueron colocados dentro la cámara del LI6400 para realizar la toma de datos. Se fijaron los parámetros de CO<sub>2</sub> en 400ppm, y radiación PAR de 1000  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  en el equipo.

**Figura 6.**

*Medición de intercambio de gases con el medidor portátil de fotosíntesis LI6400XT en palmas bajo aplicación continua de ANA en diferentes concentraciones.*



*Fuente: Sanchez (2021)*

**6.5.2.2. Variables morfológicas****6.5.2.2.1. Emisión foliar**

La tasa de emisión de hojas fue calculada según la metodología propuesta por (Corley et al, 2016). Se identificó y marcó con pintura la hoja número 1 de cada palma al inicio del proyecto (Figura 7), esto permitió saber cuál fue el número de hojas emitidas durante las 10 semanas de evaluación. Por ejemplo, si el raquis coloreado en la medición presente fue el de la hoja 6, se considera que la tasa de emisión de hojas fue 5.

**Figura 7.**

*Marcación de la hoja 1 con pintura en palmas bajo aplicación continua de ANA en diferentes concentraciones.*



*Fuente: Sanchez (2021)*

**6.5.2.2.2. Área foliar**

Para determinar el área foliar se tomó la hoja que ocupaba la posición número 3 en la palma porque esta nos permitió analizar los cambios que sucedieron en las hojas nuevas emitidas durante la aplicación de los tratamientos.

Primero se determinó el número de foliolos del lado derecho de la hoja a partir de los foliolos verdaderos hasta los foliolos terminales. El número de foliolos totales se obtuvo por medio de la siguiente ecuación:

$$\text{Número de folíolos} = 2 * N;$$

donde N es el número de folíolos del lado derecho de la hoja.

A continuación, se midió el largo y ancho de los folíolos. Para tal, se tomaron seis folíolos (3 de cada lado del raquis) de la porción media de la hoja 3. Se midió el largo desde la base de la nervadura central y el ancho de la parte media de los folíolos con la ayuda de una cinta métrica (Corley et al, 2016). Se realizó una única medición al final del proyecto.

La fórmula para determinar el área foliar fue la siguiente:

$$AF = b * (n * lw);$$

donde  $AF$  es el área foliar ( $\text{cm}^2$ ),  $b$ = Factor de corrección. (para la palma es de 0,55),  $n$  es el número de folíolos y  $lw$  es el promedio de la longitud multiplicado por el ancho medio de la muestra de los seis folíolos (Hartley 1986).

#### **6.5.2.2.3. Peso seco de la hoja**

Para calcular el peso seco de la hoja 3 se usó el método no destructivo de Corley et al. (2016) se midió usando un calibrador el ancho y espesor del pecíolo en la unión del raquis con el pecíolo, es decir, en el punto de inserción del folíolo más bajo.

Los datos obtenidos fueron usados en la siguiente fórmula para determinar el peso seco de la hoja 3

$$W = 0,1023 p + 0,2062 (kg);$$

donde  $p$  es el ancho multiplicado por el espesor ( $\text{cm}^2$ ) de la sección transversal del pecíolo.

#### **6.5.2.2.4. Longitud del raquis**

La longitud del raquis se midió usando una cinta métrica desde el primer folíolo verdadero hasta la parte apical de la hoja 3 en la unión de los folíolos terminales.

#### **6.5.2.2.5. Componentes de producción**

Para evaluar los componentes de producción fue realizado un muestreo al inicio y otro al final del proyecto, para determinar las siguientes variables: número de hoja con la inflorescencia o racimo más joven; número de hoja con el racimo más maduro; número de inflorescencias masculinas; número de inflorescencias femeninas; número de racimos y número de abortos.

Para determinar cada una de las variables primero se ubicó filotáxicamente la hoja que sustenta la inflorescencia en antesis o racimo más joven y la hoja con el racimo más maduro, luego se contaron las inflorescencias femeninas y masculinas, los racimos y los abortos que se encontraran dentro del rango de la inflorescencia o racimo más joven hasta el racimo más maduro (González, M. Y.; Ruiz, R.; Romero, H. M., 2007).

#### **6.5.3. Métodos de análisis**

Los datos fueron analizados con el programa Excel versión 2014 y el análisis de varianza ANOVA de un solo factor.

### **7. Resultados y discusión**

Al momento de realizar los últimos muestreos y tomas de datos para este proyecto, la aplicación llevaba diez semanas de haber iniciado; pero Cenipalma continuara con la aplicación de los tratamientos por más tiempo con el fin de seguir registrando el avance de los cambios morfofisiológicos del híbrido interespecífico. Dado que, según la bibliografía consultada, no existen estudios del efecto del ANA aplicada en altas concentraciones sobre los cambios morfofisiológicos del híbrido interespecífico O×G.

#### **7.1. Descripción de los cambios morfológicos**

La aplicación continua de diferentes concentraciones de ANA desencadenó diferentes efectos sobre la palma según su lugar de aplicación. El tratamiento control (Figura 8) y ANA

1200 Foliar (Figura 9) no generaron ningún cambio morfogénico en las hojas, inflorescencias o racimos de las palmas, estos resultados concuerdan con lo evidenciado por Romero et al. (2021), donde híbridos interespecíficos OxG no mostraron ningún cambio en sus hojas al ser tratados con ANA 1200 ppm sobre las inflorescencias, pero resultaron en un alto cuajado de frutos (96% a 99%).

Los tratamientos ANA 4800 Foliar (Figura 10) y ANA 4800 Corona (Figura 11) tuvieron efectos sobre las palmas. La aplicación continua de ANA 4800 ppm sobre las hojas generó en la cuarta semana que algunas hojas se tornaran cloróticas y con el avance de las aplicaciones la clorosis sobre las demás hojas fue más evidente (Figura 11. S4). Además, para las últimas semanas los racimos que se encontraban en estadios fenológicos inmaduros (estadio 800 y 803) empezaron a generar desprendimiento de los frutos ubicados en las raquillas de la parte media y basal (Figura 12).

La aplicación continua del tratamiento ANA 4800 ppm Corona generó dos efectos diferentes sobre la palma, el primero se dio sobre las inflorescencias que se encontraban en estadios fenológicos (601, 603 y 607), que al llegar al momento de antesis ya presentaban un crecimiento prematuro de los frutos (Figura 11. IF). Resultados similares fueron reportados por Romero et al. (2021), donde las aplicaciones únicas de soluciones de ANA de diferentes concentraciones (50, 100, 200, 300, 600 y 1200 mg L<sup>-1</sup>) desencadenaron la formación de racimos de frutos partenocárpicos cuando se aplicaron en diferentes etapas fenológicas PS 603 (antesis), PS 607 (antesis), PS 609 (7 días después de antesis) y PS 703 (14 días después de la antesis); el segundo efecto se evidenció en racimos con frutos en estados inmaduros (estadio 705 y 709) donde luego de siete semanas de aplicación se empezó a generar la abscisión (aborto) de los frutos en los racimos (Figura 13) y que estos frutos desprendidos eran partenocárpicos (Figura 14) y

probablemente su desprendimiento fue debido a la aplicación continua de ANA sobre los racimos, ya que según lo reportado por Sotelo-Silveira (2014) y Uma-Subbaraya (2020) la inducción de frutos partenocárpicos con aplicación de auxinas o giberelinas puede desencadenar una abscisión prematura con el consiguiente bajo porcentaje de cuajado, esto concuerda también con lo registrado por Morales (2017) donde la aplicación de ácido naftalenacético y 6 Benciladenina (6-BA) para el control de abortos en el pepino (*Cucumis sativus* L.) genero más abortos en el tratamiento de 15 g de ANA y 1 ml de 6-BA, el cual supero al Testigo por un 61%, lo cual se le atribuyo a la alta cantidad de ANA.

La utilización adecuada de ANA por medio de la polinización artificial en plantaciones comerciales de híbridos interespecíficos OxG genera beneficios al obtener un alto rendimiento de aceite (aproximadamente 27% de tasa de extracción de aceite), dando como resultado más de 10 toneladas por hectárea al año de aceite de palma alto oleico (Romero et al., 2021). Sin embargo, estos resultados muestran las consecuencias negativas que se pueden generar a nivel productivo al no utilizar las frecuencias, tiempos de aplicación y concentraciones adecuadas en las aplicaciones sobre palmas de híbrido interespecífico OxG.

**Figura 8.**

*Palmas del tratamiento Control. S0: semana 0. S4: semana 4. S7: semana 7. S10: semana 10.*



*Fuente: Sanchez (2021)*

**Figura 9.**

*Palmas tratadas continuamente con ANA 1200 Foliar durante 10 semanas. S0: semana 0. S4: semana 4. S7: semana 7. S10: semana 10.*



*Fuente: Sanchez (2021)*

**Figura 10.**

*Palmas tratadas continuamente con ANA 4800 Foliar durante 10 semanas. S0: semana 0. S4: semana 4. S7: semana 7. S10: semana 10.*



*Fuente: Sanchez (2021)*

**Figura 11.**

*Palmas tratadas continuamente con ANA 4800 Corona durante 10 semanas. S0: semana 0. S4: semana 4. IF: inflorescencia en antesis con crecimiento prematuro de los frutos.*



*Fuente: Sanchez (2021)*

**Figura 12.**

*Racimo de palmas tratadas continuamente con ANA 4800 Foliar con desprendimiento de frutos en raquillas de la parte media y basal.*



*Fuente: Sanchez (2021)*

**Figura 13.**

*Racimos de palmas tratadas continuamente con ANA 4800 Corona con desprendimiento de frutos.*



*Fuente: Sanchez (2021)*

**Figura 14.**

*Frutos partenocárpicos de racimos de palmas tratadas continuamente con ANA 4800 Corona.*



*Fuente: Sanchez (2021)*

**7.2. Identificación en los cambios morfológicos foliares a través de parámetros de: componentes de producción; emisión foliar; área foliar, peso seco y longitud del raquis de la hoja.**

**7.2.1. Emisión foliar**

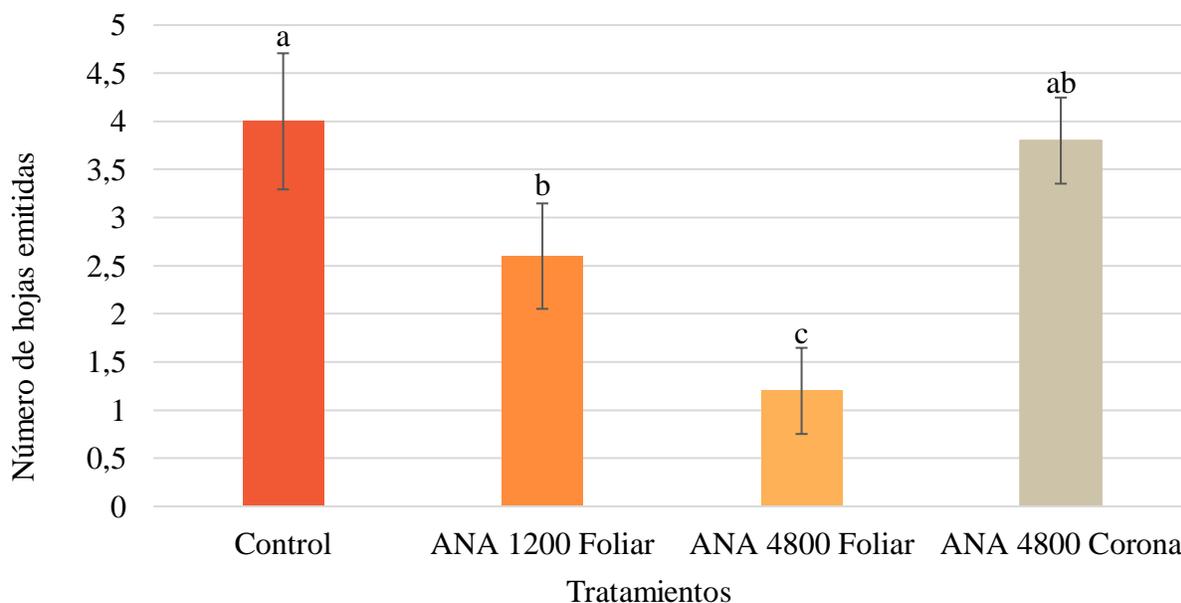
El número de hojas emitidas fue menor en los tratamientos ANA 1200 Foliar y ANA 4800 Foliar cuya aplicación era directamente sobre las hojas, en estos se presentó una reducción significativa en la emisión foliar de 1 y 0,5 hojas/mes respectivamente. Estos resultados pueden sugerir un primer reporte de toxicidad por aplicación continua y en alta concentración del regulador de crecimiento ANA a nivel foliar.

La emisión foliar en los tratamientos Control y ANA4800 Corona no se vio afectada por las aplicaciones, ya que fue de 1,6 y 1,5 hojas/mes respectivamente, lo que se encuentra en el

promedio normal de 1,6 a 2 hojas/mes reportado por Forero-Hernández et al. (2012), igualmente así lo evidencio Atehortua-Villegas (2020) en palmas tratadas con ANA (1200 ppm) sobre inflorescencias en estadios fenológicos (607 y 609), la cuales mostraron emisión foliar promedio de 1,8 hojas/mes. Adicionalmente, se puede corroborar que es poco probable la translocación de una señal recibida en los racimos hacia la parte vegetativa como lo que puede estar ocurriendo en el tratamiento ANA4800 Corona, toda vez que a pesar de ser alta la concentración no se observó una respuesta frente a la emisión foliar.

**Figura 15.**

*Efecto de diferentes concentraciones de ANA sobre la emisión foliar en híbridos interespecíficos OxG tratados durante 10 semanas. Desviación estándar n:5, letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas (ANOVA de un solo factor, prueba de Tukey,  $p < 0,05$ ).*



*Fuente: Sanchez (2021)*

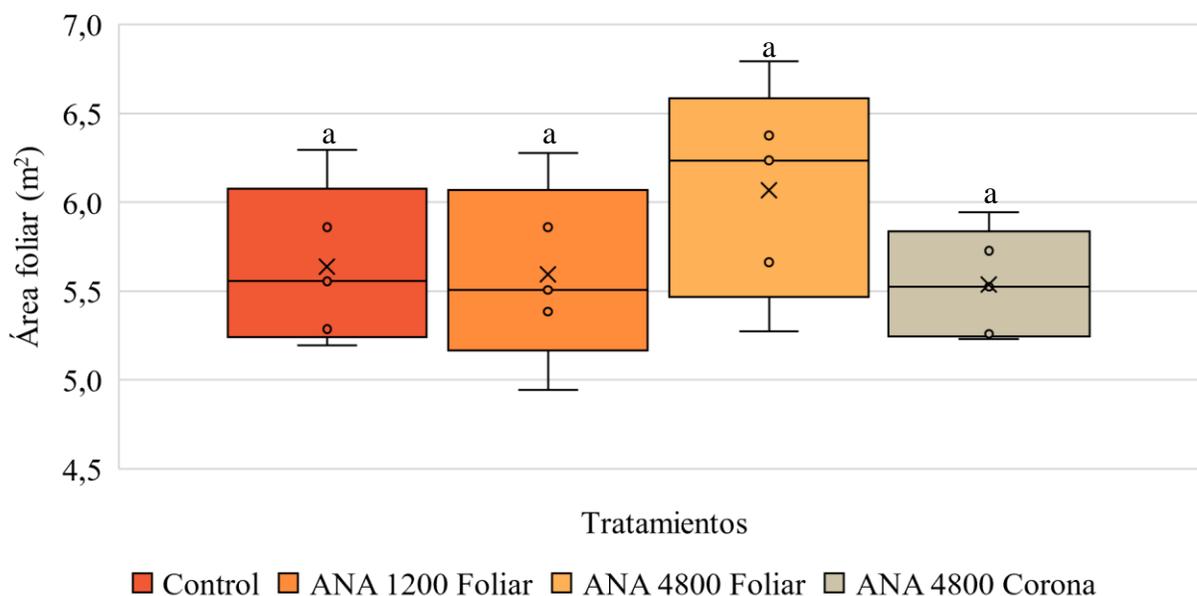
### 7.2.2. Área foliar

No se rechazó la hipótesis, los tratamientos son iguales en su respuesta para la variable independiente área foliar.

Sin embargo, el tratamiento ANA4800 Foliar sufrió un cambio donde hubo un leve aumento y el promedio fue mayor con  $6.07 \text{ m}^2$  respecto a los tratamientos control, ANA1200 Foliar y ANA4800 Corona donde el promedio entre ellos fue similar de  $5.54$ ,  $5.59$  y  $5.54 \text{ m}^2$  respectivamente. Probablemente el aumento del área foliar en ANA4800 Foliar se presentó como una respuesta a la reducción de la emisión foliar, posiblemente debido a que los fotoasimilados producidos por las plantas se pudieron translocar hacia el área foliar existente, ya que el 25% en la producción de energía de la palma es utilizada para el crecimiento de las estructuras vegetativas (Kraalingen y Breure, 1989).

**Figura 16.**

Efecto de diferentes concentraciones de ANA sobre el área foliar en híbridos interespecíficos OxG tratados durante 10 semanas. Desviación estándar n:5, letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas (ANOVA de un solo factor, prueba de Tukey,  $p < 0,05$ ).



Fuente: Sanchez (2021)

### 7.2.3. Peso seco de la hoja

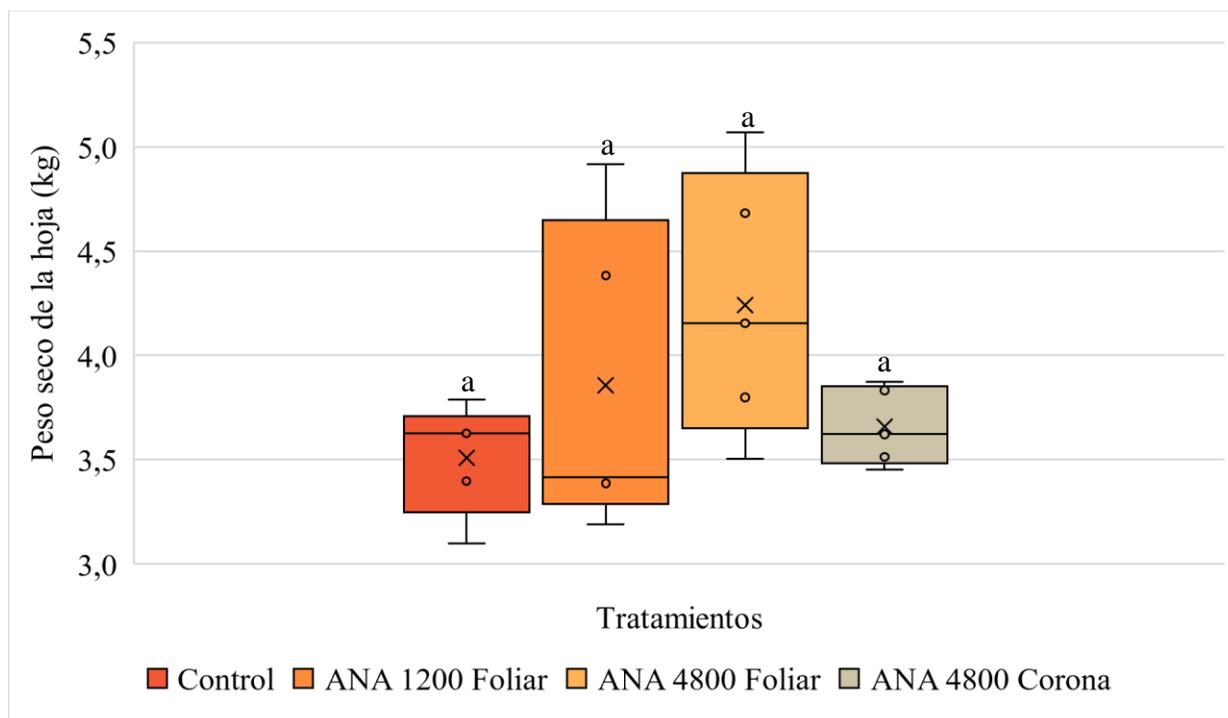
No se rechazó la hipótesis, los tratamientos son iguales en su respuesta para la variable independiente peso seco de la hoja.

Sin embargo, los tratamientos ANA1200 Foliar y ANA4800 Foliar presentaron una mayor variación en los pesos secos de las hojas teniendo un rango entre 3,19 a 4,92 kg y 3,50 a 5,07 kg respectivamente, lo que indica que algunas hojas en ANA1200 Foliar y ANA4800 Foliar tenían pesos más altos, probablemente relacionado con el aumento del área foliar, lo que directamente estaría asociado con el incremento de la biomasa por la translocación de los fotoasimilados hacia estas hojas.

Por otra parte, el peso seco de la hoja 3 en los tratamientos control y ANA4800 Corona presentaron un comportamiento similar donde los pesos de las diferentes palmas se mantuvieron agrupados en un rango de 3,1 a 3,79 kg y 3,45 a 3,87 kg respectivamente.

**Figura 17.**

*Efecto de diferentes concentraciones de ANA sobre el peso seco de la hoja en híbridos interespecíficos OxG tratados durante 10 semanas. Desviación estándar n:5, letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas (ANOVA de un solo factor, prueba de Tukey,  $p < 0,05$ ).*



*Fuente: Sanchez (2021)*

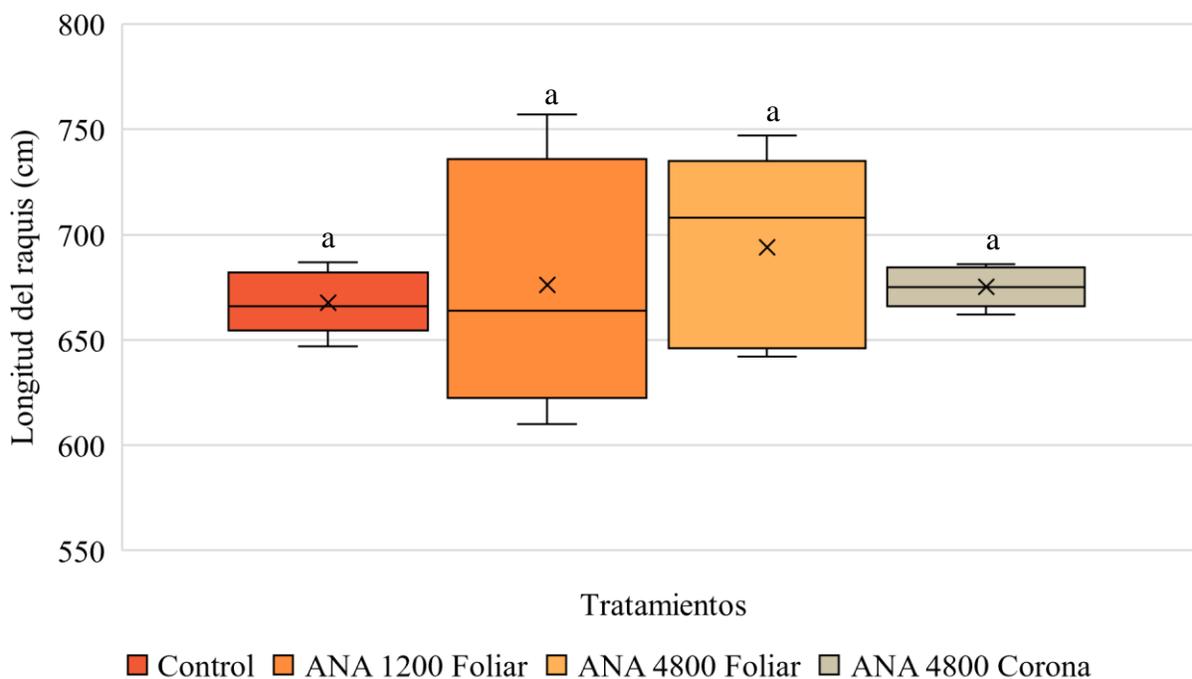
#### **7.2.4. Longitud del raquis de la hoja**

No se rechazó la hipótesis, los tratamientos son iguales en su respuesta para la variable independiente longitud del raquis de la hoja.

Sin embargo, los tratamientos control y ANA4800 Corona presentaron un conjunto de datos más agrupados en un rango de 647 a 687 cm y 682 a 695 cm respectivamente, por lo que la longitud del raquis entre plantas del mismo tratamiento mostró medidas similares; en comparación a los tratamientos ANA1200 Foliar y ANA4800 Foliar donde la longitud del raquis presentó mayor variación en el conjunto de datos en un rango de 601 a 757 cm y 642 a 747 cm respectivamente. Probablemente la variación en el conjunto de datos de ANA1200 Foliar y ANA4800 Foliar se debió a que las hojas número 3 de algunas plantas aumentaron su tamaño, corroborando la hipótesis que el regulador está ocasionando un cambio morfológico haciendo que haya menos emisión y que las hojas existentes sean más grandes y más pesadas.

**Figura 18.**

Efecto de diferentes concentraciones de ANA sobre la longitud del raquis de la hoja número 3 en híbridos interespecíficos OxG tratados durante 10 semanas. Desviación estándar  $n:5$ , letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas (ANOVA de un solo factor, prueba de Tukey,  $p < 0,05$ ).



Fuente: Sanchez (2021)

### 7.2.5. Componentes de producción

En la tabla 4 se presentan los promedios de los componentes de producción que se registraron al inicio y final del proyecto, en ninguno de los tratamientos se evidenció que los componentes de producción fluctuaran de manera diferente y se comportaron de igual forma entre tratamientos; a pesar que se esperaba que sucediera una producción de abortos debido a la aplicación del ANA, no se evidencio esto, probablemente el periodo de aplicación de ANA es muy corto para ver el efecto directo sobre las estructura actuales. Cabe mencionar que no se

planteó la realización de análisis de racimos toda vez que estos se deben realizar 6 meses después del inicio de las aplicaciones del regulador, no obstante, en el periodo de evaluación se pudo apreciar el inicio de malogro de estas estructuras, lo que podría ser otro indicador de toxicidad.

**Tabla 4.**

*Promedios de los componentes de producción en palmas con aplicación de ANA.*

Tratamiento	N.º de hoja con la inflorescencia o racimo más joven	N.º de hoja con el racimo más maduro	N.º de inflorescencias masculinas	N.º de inflorescencias femeninas	N.º de racimos	N.º de abortos
Inicio-T1	18,0	27,2	0,0	1,0	9,2	0,0
Final-T1	17,8	26,2	0,4	0,6	8,4	0,0
Inicio-T2	21,0	31,6	0,0	1,0	10,6	0,0
Final -T2	19,4	29,8	0,2	2,2	9,0	0,0
Inicio -T3	19,8	30,4	0,0	0,8	11,0	0,0
Final -T3	17,4	27,2	0,0	1,2	9,6	0,0
Inicio-T4	20,6	32,6	0,0	1,0	12,0	0,0
Final-T4	19,4	31,8	0,0	1,4	11,8	0,0

*Fuente: Sanchez (2021)*

### **7.3. Evaluación de los cambios fisiológicos en los valores de los parámetros de fotosíntesis; transpiración y conductancia estomática.**

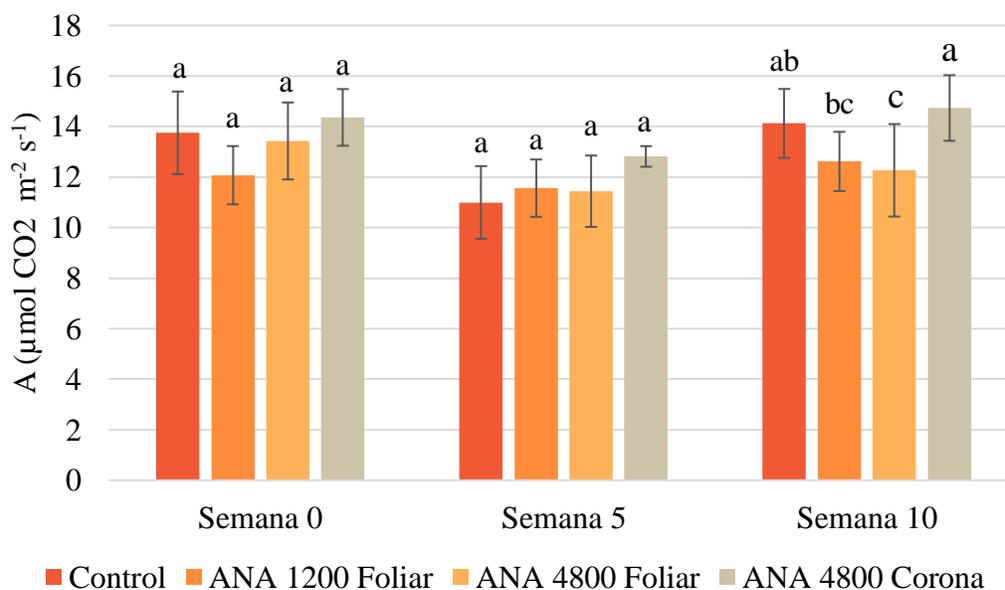
#### **7.3.1. Fotosíntesis**

Para la semana 0 la tasa fotosintética de los diferentes tratamientos fluctuó entre 12 y 14,3  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ; el tratamiento ANA4800 Corona estuvo por encima del tratamiento control, pero los tratamientos ANA1200 Foliar y ANA4800 Foliar estuvieron por debajo del tratamiento control en un 12,19% y 2,33% respectivamente. Seguido en la semana 5 la tasa fotosintética de los diferentes tratamientos fluctuó entre 10,9 y 12,8  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ; los tratamientos ANA1200 Foliar, ANA4800 Foliar y ANA4800 Corona estuvieron por encima del tratamiento

control. Por último, en la semana 10 la tasa fotosintética de los diferentes tratamientos fluctuó entre 12,2 y 14,7  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ; el tratamiento ANA4800 Corona estuvo por encima del tratamiento control, pero los tratamientos ANA1200 Foliar y ANA4800 Foliar estuvieron por debajo del control en un 10,6% y 13,1% respectivamente, cabe mencionar que estos valores de fotosíntesis están dentro de los rangos normales reportados donde la actividad fotosintética se encuentra entre un rango de 9,7 a 15,6  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  (Rojas, 2015). Por otra parte, comparando los promedios de cada tratamiento en cada una de las semanas se evidencia que el tratamiento ANA4800 Foliar fue el de menor tasa fotosintética en los dos últimos muestreos, respuesta que debe estar mediada probablemente al avance de la clorosis en hojas aplicadas con ANA 4800 Foliar (Figura 11. S4).

**Figura 19.**

*Tasa fotosintética en palmas tratadas con diferentes concentraciones de ANA. Desviación estándar n:5, letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas (ANOVA de un solo factor, prueba de Tukey,  $p < 0,05$ ).*



*Fuente: Sanchez (2021)*

### 7.3.2. Transpiración

Las tasas de transpiración de todos los tratamientos en la semana 0 comparados con la semana 5 poseen el mismo patrón de fluctuación, siendo para la semana 0 el tratamiento control el de menor tasa de transpiración con  $2,22 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ; los tratamientos ANA1200 Foliar y ANA4800 Foliar con tasas medias de  $2,36$  y  $2,44 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  respectivamente y el tratamiento ANA4800 Corona el de mayor tasa de transpiración con  $2,76 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ . En la semana 5 se presentó el mismo patrón en la tasa de transpiración. Sin embargo, en la semana 10 el patrón de fluctuación de la tasa de transpiración cambió y los tratamientos ANA1200 Foliar y ANA4800 Foliar presentaron una disminución en la tasa de transpiración con relación al control

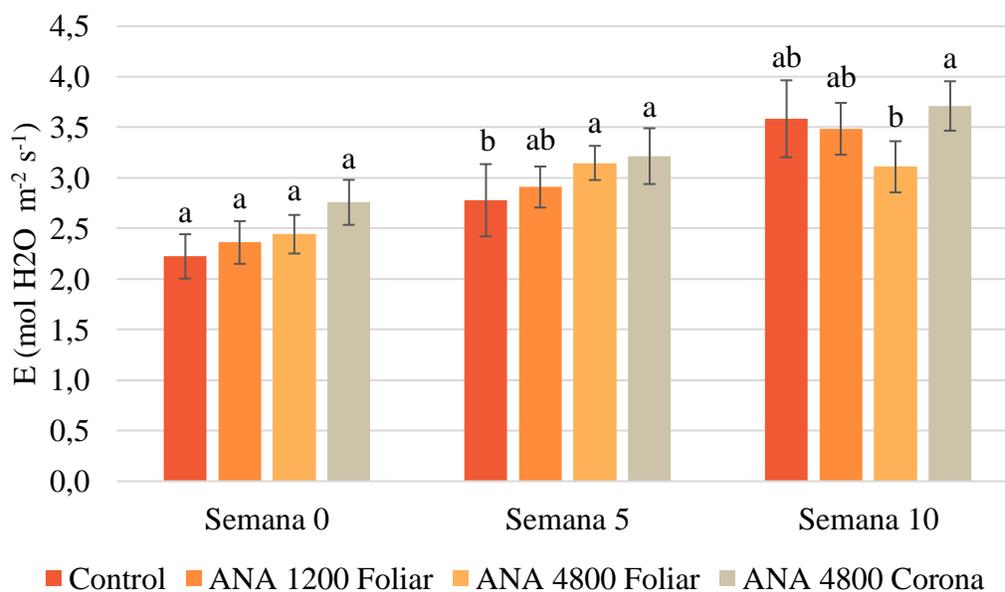
del 2,7% y 13,2% respectivamente. Esta tendencia de disminución de la tasa de transpiración fue mayor en ANA4800 Foliar, lo que podría estar relacionado con la aplicación de la alta concentración de ANA a nivel foliar y que se puede corroborar con la disminución de la tasa de fotosíntesis, debido a que la actividad fotosintética está influenciada principalmente con la regulación de la apertura y cierre de estomas (Lambers et al., 2008), cuando la tasa de transpiración se reduce debido al cierre estomático, también se ve afectado la conductancia estomática y la tasa de fotosíntesis por la disminución del intercambio gaseoso en las hojas. (Yepes, A. y Silveira-Buckeridge, M., 2011).

**Figura 20.**

*Tasa de transpiración en palmas con aplicación de diferentes concentraciones de ANA.*

*Desviación estándar n:5, las letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas*

*(ANOVA de un solo factor, prueba de Tukey,  $p < 0,05$ ).*



*Fuente: Sanchez (2021)*

### 7.3.3. Conductancia estomática

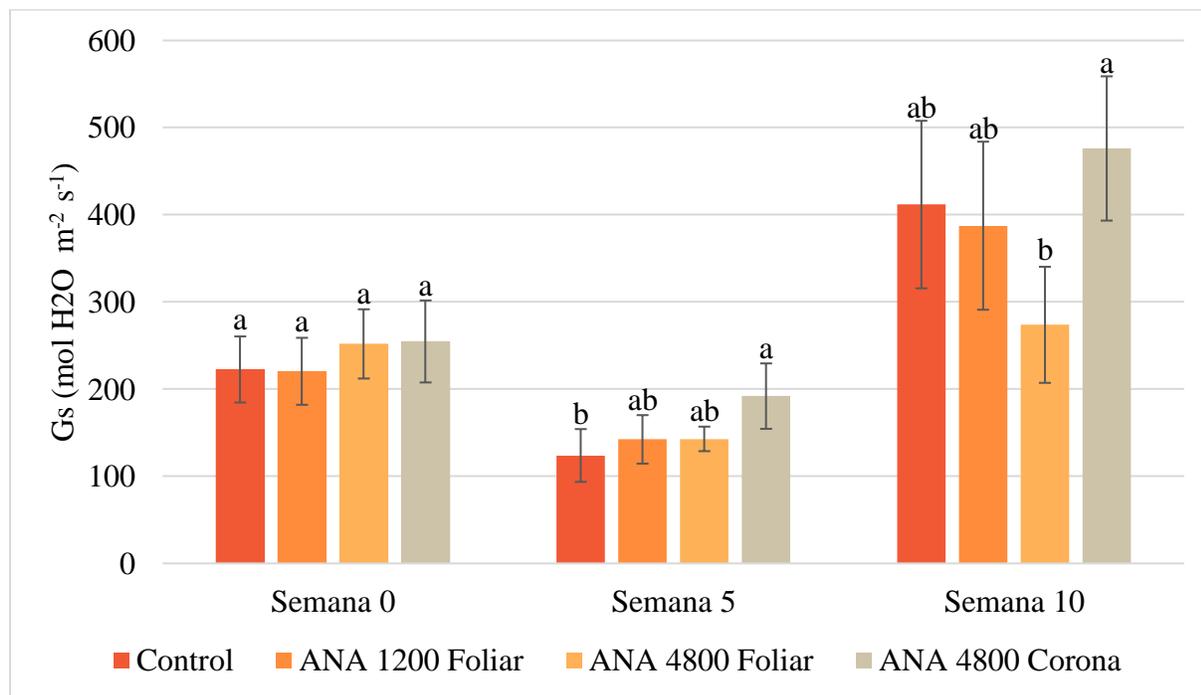
La conductancia estomática de todos los tratamientos en la semana 0 comparados con la semana 5 poseen el mismo patrón de fluctuación, para la semana 0 los valores de todos los tratamientos son similares y fluctúan entre 220,4 y 254,6 mol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>; En el segundo muestreo se presentó el mismo patrón aunque con valores menores comparados con el primer muestreo en un rango de 123,8 y 191,9 mol H<sub>2</sub>O m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, estas reducciones son normales ya que dependen en buena medida de las condiciones ambientales. Por último, en la semana 10 el patrón de fluctuación de la conductancia estomática cambió y los tratamientos ANA1200 Foliar y ANA4800 Foliar presentaron una disminución en la conductancia estomática con relación al control del 5,9% y 33,5% respectivamente. Esta tendencia de disminución de la conductancia estomática fue mayor en ANA4800 Foliar, lo que está directamente relacionado con la caída en la tasa de transpiración y de fotosíntesis, ya que según lo reportado por (Medrano et al. 2002, Flexas et al., 2013), la relación observada entre conductancia estomática y fotosíntesis establece que los máximos valores en las tasas fotosintéticas se alcanzan cuando la conductancia estomática es al menos la mitad que su máximo valor, es decir, existe un rango de conductancia estomática sobre el cual la fotosíntesis no aumenta significativamente.

**Figura 21.**

*Conductancia estomática en palmas con aplicación de diferentes concentraciones de ANA.*

*Desviación estándar n:5, las letras diferentes indican diferencias estadísticas significativas*

*(ANOVA de un solo factor, prueba de Tukey,  $p < 0,05$ ).*



*Fuente: Sanchez (2021)*

## 8. Conclusiones

- Se evidenciaron cambios morfológicos en los híbridos interespecíficos por la aplicación continua de ANA en concentraciones de 4800 ppm, donde las aplicaciones sobre los racimos generaron caída de frutos y malogro de racimos; y las aplicaciones sobre las hojas generaron amarillamiento generalizado de los folíolos.
- En los cambios morfológicos se evidenció que la aplicación de ANA a nivel foliar en concentraciones de 4800 ppm y 1200 ppm generó un cambio en la emisión foliar de manera significativa.
- Fisiológicamente se evidenció una disminución significativa de la tasa fotosintética, la transpiración y la conductancia estomática como determinantes fisiológicos del rendimiento agronómico relacionados con la aplicación de ANA a nivel foliar en concentraciones de 4800 ppm.

## 9. Recomendaciones

- Basado en el registro de datos y las evaluaciones preliminares que se presentan, se hace necesario continuar con la aplicación continua del ANA en los diferentes tratamientos y por ende con los registros de las variables morfofisiológicas por un periodo más largo que permita llegar a concluir si existen efectos adversos de las concentraciones de ANA estudiados.
- Se recomienda continuar realizando los registros fotográficos de los tratamientos para observar el avance de los daños sobre las palmas aplicadas con altas concentraciones de ANA
- Se recomienda realizar análisis de racimo sí el periodo de evaluación supera los 6 meses para establecer el efecto de la aplicación de los tratamientos sobre los componentes del racimo.

## Bibliografía

- Adam, H., Collin, M., Richaud, F., Beulé, T., David, D., Omoré, A., Nodichao, L., Nouy, B., y Tregear, J. (2011). Environmental regulation of sex determination in oil palm: current knowledge and insights from other species. *Ann Bot*, 108(8): 1529-1537.  
<https://doi.org/10.1093/aob/mcr151>.
- Alcántara, J. S., Acero, J., Alcántara, J. D., Sánchez, R. M. (2019). Principales reguladores hormonales y sus interacciones en el crecimiento vegetal.  
<http://www.scielo.org.co/pdf/nova/v17n32/1794-2470-nova-17-32-109.pdf>
- Angarita, C. E. (2018). Recuperación y sistematización de la memoria histórica del Campo Experimental Palmar de la Vizcaína, de la Corporación Centro de investigación en Palma de aceite (Cenipalma) de Barrancabermeja, Santander. Procesos de investigación y extensión en el sector palmero.
- Atehortua Villegas, C. P. (2020). Uso del ácido naftalenacético (ANA) sobre la formación de frutos partenocárpicos en palma de aceite (Híbrido O $\times$ G) en el municipio de San Vicente, Santander.  
<https://repositorio.unicordoba.edu.co/bitstream/handle/ucordoba/2911/Atehortua%20Villegas%20Claudia%20Patricia.pdf?sequence=4&isAllowed=y>
- Basantes, M. J. (2011). Evaluación del efecto de ácido  $\alpha$  naftalenacético (ANA), 6-bencilaminopurina (BAP), y ácido giberelico (GA3) en las fases de inducción, multiplicación y enraizamiento in vitro a partir de yemas apicales de *Valeriana scandens*.  
<https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/4928/1/T-ESPE-033001.pdf>

- Bastidas Pérez, S., Reyes Cuesta, R., Tolosa Montaña, W., Montero, Y. D., Gutiérrez Verdugo, I., Arenas Rubio, Moreno, L. P., & Arizala, M. J. (2020). Híbrido interespecífico O×G Corpoica Elmira de palma de aceite: una alternativa de producción para zonas afectadas por pudrición del cogollo. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA. <https://doi.org/10.21930/agrosavia.brochure.7403800>
- Casiano Dominguez, M. y F. Paz Pellat. (2018). Patrones espectrales de la fenología del desarrollo vegetativo y reproductivo de árboles de huizache (*Acacia farnesiana* (L.) Willd.). *Terra Latinoamericana* 36: 393-409. <https://doi.org/10.28940/terra.v36i4.417>
- Cenipalma. (s.f). ¿Qué es Cenipalma?. <https://www.cenipalma.org/que-es-cenipalma/#:~:text=Los%20palmicultores%20de%20Colombia%2C%20reunidos,1%20de%20enero%20de%201991>
- Corley, R.H.V., Tinker, P.B. (2016). *The Oil Palm*. Fifth Edition. Blacwell Science Ltd. London, UK. 692 páginas.
- Corzo J. (2017). Parámetros de crecimiento: una herramienta objetiva para la gestión de la productividad. *La Palma*. Boletín Técnico No. 11. <https://www.grepalma.org/wp-content/uploads/2018/09/boletin-no11-agosto-2017.pdf>
- Criollo, H.; Dominguez, J.J. (2018) Germinability and pollen viability of four improved cultivars of palm oil under laboratory conditions. *Rev. Fac. Nac. Agron. Medellín*, 71, 8395–8405. <http://dx.doi.org/10.15446/rfna.v71n1.69587>
- Davies, P.J. (2010). *Plant Hormones Biosynthesis, Signal Transduction, Action!*, 3rd ed. Springer, Ithaca, NY,U.S.A. doi:10.1007/978-1-4020-2686-7

Dieter H. (1980). Fisiología Vegetal. Ediciones Omega. Barcelona España. Pág. 240.

[https://repositorio.inia.gob.pe/bitstream/inia/322/1/Efecto\\_de\\_2\\_auxinas.pdf](https://repositorio.inia.gob.pe/bitstream/inia/322/1/Efecto_de_2_auxinas.pdf)

Dransfield, J. y Uhl, N. (2008). Genera Palmarum. The evolution and classification of palms

(Second edi., p. 732). Kew Publishing.

Fedepalma. (2020). Anuario Estadístico. Anuario Estadístico, 1-238.

<https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/anuario/article/view/13235>

Flexas J, Ü Niinemets, A Gallé, MM Barbour, M Centritto, A Diaz-Espejo, C Douthe, J Galmés,

M Ribas-Carbo, PL Rodriguez, F Rosselló, R Soolanayakanahally, M Tomas, IJ Wright,

GD Farquhar, H Medrano. (2013). Diffusional conductances to CO<sub>2</sub> as a target for

increasing photosynthesis and photosynthetic water-use efficiency. Photosynthesis

Research 117: 45–59.

Fontagro. (2019). Cenipalma: 25 años de logros al servicio de la palmicultura colombiana.

<https://www.fontagro.org/es/publicaciones/prensa/fontagro-en-los-medios/cenipalma-25-anos-de-logros-al-servicio-de-la-palmicultura-colombiana/>

Forero Hernández, D. C., Hormaza Martínez, P. A., Moreno Caicedo, L. P., Ruiz Romero, R.

(2012). Generalidades sobre la morfología y fenología de la palma de aceite.

Gil Orjuela, J. C. (2019). Determinar la densidad de siembra óptima en diferentes cultivares

comerciales del híbrido interespecífico *Elaeis Oleifera X Elaeis Guinensis* (Oxg) en

condiciones del Campo Experimental Palmar De La Vizcaína (CEPV).

[https://repositorio.ucundinamarca.edu.co/bitstream/handle/20.500.12558/2683/DETERM  
INAR%20LA%20DENSIDAD%20DE%20SIEMBRA%20%20C3%93PTIMA%20EN%20](https://repositorio.ucundinamarca.edu.co/bitstream/handle/20.500.12558/2683/DETERM%20INAR%20LA%20DENSIDAD%20DE%20SIEMBRA%20%20C3%93PTIMA%20EN%20)

DIFERENTES%20CULTIVARES%20COMERCIALES%20DEL%20H%C3%8DBRID  
O%20INTERES.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Gómez Restrepo, M. L. (2010). Fenología reproductiva de especies forestales nativas presentes en la jurisdicción de CORANTIOQUIA, un paso hacia su conservación. Volumen I, Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia, CORANTIOQUIA.  
<https://www.corantioquia.gov.co/SiteAssets/Lists/Administrar%20Contenidos/EditForm/fenologia.pdf>

González, M. Y.; Ruiz, R.; Romero, H. M. (2007). Efecto del sistema de renovación sobre el desarrollo reproductivo de palma de aceite. Ceniavances No. 151.  
<https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/ceniavances/article/download/10316/10306/>

Hąc-Wydro, K. y Flasiński, M. (2015). The studies on the toxicity mechanism of environmentally hazardous natural (IAA) and synthetic (NAA) auxin – The experiments on model *Arabidopsis thaliana* and rat liver plasma membranas.  
<https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2015.03.064>

Hartley. C.W.S. (1986). La palma de aceite. Traducido por E. Maldonado. Compañía Editorial Continental S.A., México. 958p

Jordán y Casaretto. (2006). Hormonas y Reguladores del Crecimiento: Auxinas, Giberelinas y Citocininas.  
<http://www.exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/Auxinasgiberelinasycitocininas.pdf>

Kramer, P. J., y Boyer, J. S. (1995). Water Relations of Plants and Soils. Academic Press.

- Kraalingen, DWG y Breure, CJ. (1989). Simulation of oil palm growth and yield. *Agricultural and Forest Meteorology* 46: 229-244
- La Cabaña. (2009). Historia del Híbrido OxG.  
<http://www.madfisher.info/Colombia/SENA/Palma/HISTORIA%20DEL%20HIBRIDO%20OxG.pdf>
- La Cabaña. (2009a). Características de la palma de aceite alto oleico.  
<http://www.madfisher.info/Colombia/SENA/Palma/CARACTERISTICAS%20DE%20LA%20PALMA%20DE%20ACEITE%20ALTO%20OLEICO.pdf>
- Lambers, H., Chapin, S., & Pons, T. (2008). *Plant Physiological Ecology*. doi:10.1007/978-0-387-78341-3
- López Murcia J, E. (2014). Caracterización fisiológica y morfológica de palmas de aceite Taisha (*Elaeis oleifera* HBK Cortés) y sus híbridos (*Elaeis oleifera* HBK Cortés x *Elaeis guineensis* Jacq.) en la región amazónica del Ecuador.  
<https://core.ac.uk/download/pdf/77273105.pdf>
- Medrano H, J Bota, A Abadía, B Sampol, JM Escalona, J Flexas. (2002). Effects of drought on light-energy dissipation mechanisms in high-light-acclimated, field-grown grapevines. *Functional Plant Biology* 29: 1197-1207
- Meléndez, M.R. y Ponce, W.P. (2016). Pollination in the oil palms *Elaeis guineensis*, *E. oleifera* and their hybrids (OxG), in tropical America. *Pesqui. Agropecuária Trop.* 46, 102–110.
- Montoya, C., Arias, D., Romero, H. (2010). Caracterización molecular de *Elaeis oleifera* de diferentes orígenes. *Ceniavances* N°164.

<https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/ceniavances/article/download/10303/1029>

3

Morales, R. (2017). Aplicación de Ácido Naftalenacético y 6 Benciladenina para el Control de Abortos en el Pepino (*Cucumis sativus* L.).

<http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/42200/K%2064745%20%20RODRIGO%20MORALES%20GARC%c3%8dA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Oliva, C., López, A. (2005). Efecto del ácido naftalenacético, en el enraizamiento de estacas de *Myrciaria dubia* (HBK) Mc Vaugh, Camu.

<http://revistas.iiap.org.pe/index.php/foiaamazonica/article/view/146/207>

Quimicompany. (s.f). Ácido naftalenacético (ANA). <https://quimicompany.com.co/productos-2/medios-para-cultivos-vegetal/hormonas-y-reguladores-de-crecimiento-2/auxinas/acido-naftalenacetico-ana/#:~:text=Tambi%C3%A9n%20llamado%20%C3%A1cido%20%2D%20naftalenac%C3%A9tico,hortofrut%C3%ADcolas%2C%20as%C3%AD%20como%20especies%20ornamentales>

Rangel, J. A. (2021). Evaluación de las producciones de fruto del año 2019 vs 2020 de los lotes 09-10 siembra 2011 del cultivo de palma de aceite de la finca las Montoyas, después de la implementación de las buenas prácticas agrícolas (manejo del MIP, pasada de cincel y aplicación de biomasa (tusa)) en el municipio de Puerto Parra Santander. Repositorio Institucional UNAD. <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/41830>.

Rojas, O. (2015). Caracterización preliminar morfológica y fisiológica de 16 materiales de palma de aceite (*Elaeis spp.*).

<https://repositorio.unillanos.edu.co/bitstream/handle/001/331/Tesis%20Oscar%20Camilo%20Rojas%20Calvijo.pdf;jsessionid=1A02191DC026A32311CCCA42E9C30637?sequence=1>

Romero, H.M.; Daza, E.; Ayala Díaz, I.; Ruiz Romero, R. (2021). High-Oleic Palm Oil (HOPO) Production from Parthenocarpic Fruits in Oil Palm Interspecific Hybrids Using Naphthalene Acetic Acid. *Agronomy*, 11, 290.

<https://doi.org/10.3390/agronomy11020290>

Romero, H. M., Daza, E., Urrego, N., Rivera, Y. (2018). La polinización artificial con reguladores de crecimiento incrementa la producción de aceite en híbridos interespecíficos OxG. Presentación XIX Conferencia Internacional Sobre Palma de Aceite. <http://web.fedepalma.org/xviii-conferencia/es/Presentaciones-Modulo1Cenipalma>

Romero, H. M. (2018). Polinización artificial de híbridos OxG para la obtención de frutos partenocárpicos y la producción de aceite (*Elaeis oleifera* Cortés x *Elaeis guineensis* Jacq.). *Boletín El Palmicultor*, (558 agosto), 15-18.

<https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmicultor/article/view/12557>

Silva Á y Martínez G. (2009). Plan Nacional de Manejo de la Pudrición del Cogollo Fedepalma – Cenipalma. *PALMAS* Vol. 30 No. 3.

<https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/download/1457/1457>

Sotelo Silveira, M., Marsch Martínez, N. & de Folter, S. (2014). Unraveling the signal scenario of fruit set. *Planta* 239, 1147-1158. <https://doi.org/10.1007/s00425-014-2057-7>

Srivastava, L.M. (2002). Plant Growth and Development, Plant Growth and Development.  
doi:10.1016/B978-012660570-9/50152-0

Uma Subbaraya, Sasikala Rajendran, Sharmiladevi Simeon, Backiyarani Suthanthiram,  
Saraswathi Marimuthu Somasundram. (2020). Unravelling the regulatory network of  
transcription factors in parthenocarpy. *Scientia Horticulturae*. Volume 261.  
<https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108920>

Yepes, Adriana y Silveira Buckeridge, Marcos. (2011). Respuestas de las plantas ante los  
factores ambientales del cambio climático global (revisión). *Colombia Forestal*, 14 (2),  
213-232. ISSN: 0120-0739. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=423939616005>