RENDIMIENTO DEL CULTIVAR DAMI LAS FLORES A DIFERENTES DOSIS DE FERTILIZANTES EN AGUSTIN CODAZZI, CESAR

HECTOR JUAN CARLOS CASTILLO TACO

Universidad del Magdalena

Facultad de Ingeniería

Programa de postgrados

Santa Marta, Colombia

2021

RENDIMIENTO DEL CULTIVAR DAMI LAS FLORES A DIFERENTES DOSIS DE FERTILIZANTES EN AGUSTIN CODAZZI, CESAR

HECTOR JUAN CARLOS CASTILLO TACO

Trabajo presentado como requisito parcial para optar al título de:

Magister en Ciencias Agrarias

Director:

Ph.D. Nelson Virgilio Piraneque

Codirector:

Ms.C. Diomara Margarita Suárez

Grupo de Investigación:

Suelo, ambiente y sociedad

Universidad del Magdalena

Facultad de Ingeniería

Programa de postgrados

Santa Marta, Colombia

2021

Nota de aceptación

_____

_____

_____

_____

_____

Evaluador 1
Comité de evaluación

_____

Evaluador 2
Comité de evaluación

_____

Evaluador *n*
Comité de evaluación

Declaratoria de originalidad

Yo, **HECTOR JUAN CARLOS CASTILLO TACO** declaro que este trabajo de grado para optar al título de magíster de la Universidad del Magdalena no ha sido presentado para optar a un título, ya sea en igual forma o con variaciones, en esta o cualquier otra universidad.

Firma

_____

Dedicado a:

La memoria de mi madre, mi padre, mi tía Rosita, a mis abuelos, a mi hermana Alicia y a todos mis familiares que de una u otra manera me impulsaron con su energía a seguir adelante.

A mis hijos Juan Carlos, Carlos Guillermo y Karen Alicia: “Querer es poder”

A todos mis hermanos y familiares en general.

A mis profesores de la Maestría que con su paciencia y dedicación transmitieron sus conocimientos para poder seguir adelante.

Agradecimientos

A la Empresa Oleoflores SAS por permitirme estudiar.
A los docentes de la Universidad del Magdalena.
A la M. Sc Diomara Margarita Suárez quien como Codirectora del trabajo estuvo pendiente de las correcciones del documento.
A mis compañeros de estudio que me aportaron con su experiencia y conocimientos.
Agradecimiento aparte para el Doctor Nelson Piraneque, quien, con su dedicación, paciencia y conocimientos fue clave para poder terminar la maestría, así como el trabajo de grado. Que Dios le pague por ser un buen ser humano.

“El mejor día para sembrar un árbol, fue ayer”. Proverbio chino

Resumen

En la zona norte de Colombia, la nutrición en cultivos de palma de aceite *Elaeis guineensis* Jacq, se viene realizando de acuerdo con conceptos técnicos realizados en otras latitudes que tienen condiciones ambientales y de suelos diferentes a las zonas donde se realiza actualmente el cultivo y, por tanto, su práctica puede reducir el potencial de rendimiento de la especie. En el presente estudio se evaluó la productividad de racimos de fruta fresca (RFF) y el contenido potencial de aceite en los racimos del Cultivar Dami Las Flores, frente a aplicaciones de dosis crecientes de fertilizantes a nivel comercial en la empresa Oleoflores SAS, ubicada en el municipio de Agustín Codazzi, Cesar. El documento resume los resultados obtenidos en rendimiento de racimos de fruta fresca por unidad de área cultivada (t ha^{-1}) logrados después de 48 meses de trabajo donde se evaluaron 5 dosis de fertilizante; 0 fertilizante o testigo absoluto, 50% del total de fertilizante estimado, 100% del fertilizante estimado, 150% del fertilizante estimado y 200% del fertilizante estimado, en un lote comercial de palma de aceite, cultivar Dami Las Flores sembrado en el año 2010. De igual manera, mediante el análisis físico químico de racimos por la metodología soxhlet, se obtuvo el rendimiento de aceite potencial por racimo logrado después de 12 meses de trabajo. Los resultados obtenidos permitieron verificar diferencias entre tratamientos para el rendimiento de RFF, siendo el mejor en rendimiento el de 200%, pero no el mejor desde el punto de vista económico, pero para el potencial de aceite en los racimos no se encontraron diferencias estadísticas significativas; sin embargo, si se presentaron diferencias en el contenido de aceite en los racimos a través del año, lo que sugiere que la producción de aceite varía según las condiciones ambientales a las que se encuentra sometido el cultivo.

Palabras clave: nutrición vegetal, fertilización, palma de aceite, racimos de palma, potencial de aceite, racimos de palma.

Abstract

In the northern zone of Colombia, nutrition in *Elaeis guineensis* Jacq, oíl palm crops has been carried out in accordance with technical concepts carried out in other latitudes that have different environmental and soil conditions than the areas where the cultivation is currently carried out and, therefore, its practice may reduce the yield potential of the species. In the present study, the productivity of fresh fruit clústers (RFF) and the potential oil content in the clusters of the Cultivar Dami Las Flores were evaluated, compared to applications of increasing doses of fertilizers at a commercial level in the company

Oleoflores SAS, located in the municipality of Agustín Codazzi, Cesar. The document summarizes the results obtained in the yield of fresh fruit clústers per unit of cultivated area (t ha-1) achieved after 48 months of work where 5 doses of fertilizer were evaluated; 0 fertilizer or absolute control, 50% of the total estimated fertilizer, 100% of the estimated fertilizer, 150% of the estimated fertilizer and 200% of the estimated fertilizer, in a commercial oil palm lot, cultivate Dami Las Flores sown in 2010 . In the same way, by means of the physical chemical analysis of bunches by the soxhlet methodology, the yield of potential oil per bunch was obtained after 12 months of work. The results obtained allowed to verify differences between treatments for the yield of RFF, being the best in yield that of 200%, but not the best from the economic point of view, but for the oil potential in the bunches, no significant statistical differences were found. ; however, if there are differences in the oil content in the bunches throughout the year, which suggests that the oil production varies according to the environmental conditions to which the crop is subjected.

Keywords: plant nutrition, fertilization, oil palm, palm bunches, oil potential, palm bunches.

Tabla de contenido

1. INTRODUCCION……1
2. JUSTIFICACION…… 5
3. OBJETIVOS ……7
3.1 Objetivo general……7
3.2 Objetivos específicos……...7
4. MARCO TEORICO…… 7

4.1 Generalidades de la palma de aceite *Elaeis guineensis* Jacq……8
4.2 La palma de aceite en Colombia……8
4.3 Suelos en palma de aceite…… 9
4.4 Fertilización y nutrición en palma de aceite……13
4.5 ¿Cómo se determinan las necesidades de fertilizante en palma de aceite? 17

5. MATERIAL Y MÉTODOS…… 21

5.1 Ubicación geográfica……21
5.1.1 Ubicación del ensayo……21
5.2 Material vegetal……..22
5.3 Precipitación……22
5.4 Propiedades fisicoquímicas del suelo lote E-4……...23
5.5 Diseño estadístico……..23
5.6 Actividades realizadas……...24
5.7 Análisis estadístico……26

6. RESULTADOS Y DISCUSION……26

6.1 Rendimiento de racimos de fruta fresca (RFF)……..26
6.1.1 Peso medio de los racimos……..27
6.1.2 Número de racimos por palma……31
6.1.3 Rendimiento (t ha^{-1}) de racimos de fruta fresca (RFF)……37
6.1.4 Resultados de los análisis de suelo……39
6.1.4.1 pH del suelo……40

6.1.4.2 Conductividad Eléctrica del suelo……42
6.1.4.3 Nitrógeno del suelo……43
6.1.4.4 Potasio del suelo……43
6.1.4.5 Magnesio del suelo……45
6.1.4.6 Calcio del suelo……...46
6.1.4.7 Fósforo del suelo……47
6.1.4.8 Boro del suelo……..48
6.1.4.9 Elementos menores……49
6.1.5 Resultados de los análisis foliares……..50
6.1.5.1 Nitrógeno foliar hoja 17……...51
6.1.5.2 Fósforo foliar hoja 17……..53
6.1.5.3 Potasio foliar hoja 17……..54
6.1.5.4 Magnesio foliar hoja 17……...56
6.1.5.5 Calcio foliar hoja 17……57
6.1.5.6 Boro foliar hoja 17……...58
6.1.5.7 Elementos menores (Fe, Cu, Mn, Zn) foliar hoja 17……59
6.1.6 Interacciones nutrientes foliares – materia seca foliar……59
6.2 Rendimiento de aceite del Cultivar Dami Las Flores……67
6.2.1 Efecto del fertilizante sobre el contenido de aceite en racimo……67
6.2.1.1 Humedad en mesocarpio……...69
6.2.1.2 Mesocarpio en fruto……69
6.2.1.3 Aceite en mesocarpio fresco……70
6.2.1.4 Frutos normales por racimo……..70
6.2.1.5 Frutos partenocarpicos por racimo……...70
6.3 Potencial de aceite sobre racimo de acuerdo con la época del estudio……70
6.3.1 Frutos normales por racimo……71
6.3.2 Mesocarpio en fruto……..73
6.3.3 Humedad en mesocarpio……73
6.4 Condiciones ambientales que pueden incidir en el contenido de aceite……73
6.4.1 Precipitación…….. 73
6.4.2 Radiación o brillo solar……74

7. CONCLUSIONES……77

8. BIBLIOGRAFIA……80

9. ANEXOS……84

Lista de tablas

Tabla 1. Potencial de producción de aceite/racimo en cultivares sembrados en CEPV, Barrancabermeja, Santander…….4

Tabla 2. Clasificación de suelos representativos sembrados con palma de aceite en Colombia…….12

Tabla 3. Demanda anual de nutrientes (kg/ha/año) en palma de aceite en cultivares de alto rendimiento…….17

Tabla 4. Niveles de referencia en palma adulta (hoja 17) para interpretación del análisis foliar…….20

Tabla 5. Precipitación media (mm) en Oleoflores, Agustín Codazzi, Cesar……22

Tabla 6. Textura y contenido nutricional lote E-4, Oleoflores, Agustín Codazzi, Cesar….23

Tabla 7. Fertilizantes aplicados (promedio 4 años): en kg de nutriente y compuesto/ha..24

Tabla 8. Tratamientos evaluados en el ensayo……24

Tabla 9. Fertilizantes aplicados (promedio de 3 años): en kg de nutriente y compuesto/ha…….26

Tabla 10. Componentes de la producción durante el tiempo del ensayo, Cultivar Dami Las Flores ..……27

Tabla 11. Peso medio de racimo (kg) durante 48 meses, Cultivar Dami Las Flores…….27

Tabla 12. Numero de racimos por palma durante 48 meses, Cultivar Dami Las Flores ……..32

Tabla 13. Producción de RFF (t ha^{-1}) durante el tiempo del estudio, Cultivar Dami Las Flores ..……38

Tabla 14. Resumen del ANOVA de los nutrientes del suelo en el tiempo del ensayo, Agustín Codazzi……40

Tabla 15. Resumen ANOVA de los parámetros estudiados durante el ensayo, Agustín Codazzi……40

Tabla 16. Concentración de elementos menores acorde a la época de muestreo, Agustín Codazzi……50

Tabla 17. Resumen del ANOVA de los nutrientes foliares (hoja 17) en el tiempo del ensayo, Cultivar Dami Las Flores……..51

Tabla 18. Resultados de los análisis foliares (hoja 17) al final del ensayo, Cultivar Dami Las Flores……51

Tabla 19. ANOVA para medidas vegetativas hoja 17, Oleoflores, Cultivar Dami Las Flores……...60

Tabla 20. ANOVA de concentración foliar de nutrientes por hectárea, Cultivar Dami Las Flores……...62

Tabla 21. Variables de respuesta a la aplicación de diferentes dosis de fertilizantes, Cultivar Dami Las Flores……....68

Tabla 22. Frutos normales/racimo, Mesocarpio/fruto, Humedad/mesocarpio y Aceite/racimos producidos durante los meses de enero a diciembre de 2019…….71

Tabla 23. Radiación solar (Wh/m^2 por día) del departamento del Cesar, años 2005 a 2014, (IDEAM, 2017)……75

Tabla 24. Radiación (Wh/m^2 día) obtenida de la ecuación Y=-2,8695X+5629,5 de acuerdo con la precipitación de los años 2018 y 2019, Codazzi, Cesar……..75

Lista de figuras

Figura 1. Ubicación del ensayo, Agustín Codazzi, Cesar (Fuente: Google) …….21

Figura 2. Ubicación del lote E-4, siembra 2010. Fuente: Información interna Oleoflores.22

Figura 3. Peso medio de racimos últimos doce meses, Cultivar Dami Las Flores…… 29

Figura 4. Peso promedio de los racimos entre los años estudiados, Cultivar Dami Las Flores…….....30

Figura 5. Incremento de peso de los racimos en los años estudiados, Cultivar Dami Las Flores……...31

Figura 6. Número de racimos por palma últimos doce meses, Cultivar Dami Las Flores.32

Figura 7. Número de racimos/palma vs. precipitación acumulada 28 meses antes de cosecha (etapa de diferenciación sexual) …….33

Figura 8. Etapas del desarrollo de las inflorescencias de acuerdo con la posición de la hoja en palma de aceite. ……..34

Figura 9. Desarrollo y determinación del sexo de la inflorescencia en relación con la edad de la palma…….35

Figura 10. Número de racimos/palma vs. precipitación 9 meses antes de cosecha (etapa de aborto de inflorescencias) …….36

Figura 11. Número de racimos por palma entre los años estudiados, Cultivar Dami Las Flores…….. 36

Figura 12. Rendimiento de RFF (t ha^{-1}) entre los años estudiados, Cultivar Dami Las Flores…….. 39

Figura 13. Porcentaje de variación del pH en el suelo respecto a la lectura inicial del ensayo, Cultivar Dami Las Flores……41

Figura 14. Porcentaje de variación de la CE en el suelo respecto a la lectura inicial del ensayo, Agustín Codazzi……..43

Figura 15. Porcentaje de variación del K en el suelo respecto a la lectura inicial del ensayo, Agustín Codazzi……44

Figura 16. Porcentaje de variación del Mg en el suelo respecto a la lectura inicial del ensayo, Agustín Codazzi……..45

Figura 17. Porcentaje de variación del Ca en el suelo respecto a la lectura inicial del ensayo, Agustín Codazzi……..46

Figura 18. Porcentaje de variación del P en el suelo respecto a la lectura inicial del ensayo, Agustín Codazzi……48

Figura 19. Porcentaje de variación del B en el suelo respecto a la lectura inicial del ensayo, Agustín Codazzi……49

Figura 20. % de N foliar (hoja 17) de acuerdo con la época de muestreo, Cultivar Dami Las Flores……...52

Figura 21. % de P foliar (hoja 17) de acuerdo con la época de muestreo, Cultivar Dami Las Flores……...54

Figura 22. % de K foliar (hoja 17) de acuerdo con la época de muestreo, Cultivar Dami Las Flores……...55

Figura 23. % de Mg foliar (hoja 17) de acuerdo con la época de muestreo, Cultivar Dami Las Flores……56

Figura 24. % de Ca foliar (hoja 17) de acuerdo con la época de muestreo, Cultivar Dami Las Flores……57

Figura 25. mg/kg de B foliar (hoja 17) de acuerdo con la época de muestreo, Cultivar Dami Las Flores……59

Figura 26. Peso seco foliar por palma, Cultivar Dami Las Flores……..61

Figura 27. Área foliar por palma, Cultivar Dami Las Flores……61

Figura 28. Relación entre kg de N/ha vs producción RFF en t ha^{-1}……..63

Figura 29. Relación entre kg de P/ha vs producción RFF en t ha^{-1}……...64

Figura 30. Relación entre kg de K/ha vs producción RFF en t ha^{-1}……...65

Figura 31. Relación entre kg de Mg/ha vs producción RFF en t ha^{-1}……66

Figura 32. Relación entre kg de B/ha vs producción RFF en t ha^{-1}……...67

Figura 33. Aceite en mesocarpio fresco vs humedad en mesocarpio (todos los tratamientos) …… 69

Figura 34. Aceite/racimo vs frutos normales/racimos producidos durante el año 2019, dos años después de la aplicación de tratamientos de fertilización……..72

Figura 35. Precipitación 10 meses antes de la cosecha de racimos……74

Figura 36. Radiación media diaria del departamento del Cesar vs. precipitación zona del estudio……75

Figura 37. Potencial de aceite/racimo vs. radiación solar tres meses antes de cosecha……...76

1. INTRODUCCION

A nivel comercial, el cultivo de la palma de aceite en Colombia empezó en los años 60. Hasta el año 2019, en las 4 zonas palmeras del país existían aproximadamente 559.582 hectáreas sembradas con este cultivo que produjeron 1.528.739 toneladas de aceite (Fedepalma, 2020). La palma de aceite es la oleaginosa más productiva del planeta; una hectárea sembrada produce entre 6 y 10 veces más aceite que las demás. Colombia es el cuarto productor de aceite de palma en el mundo y el primero en América. La productividad promedia nacional es de 14,42 t ha^{-1} $año^{-1}$ de racimos de fruta fresca (RFF) y de 3,15 t ha^{-1} $año^{-1}$ de aceite (Fedepalma, 2020).

A nivel mundial, la palma de aceite *Elaeis guineensis* es uno de los cultivos que aportan más aceite vegetal por unidad de superficie, llegando a producir hasta 4 t ha^{-1}año de aceite (Cordoba, Obrador, Salgado, & Castelan, 2017). Es un cultivo perenne y su ciclo de vida "productivo" alcanza entre 25 a 30 años, por lo tanto, las buenas prácticas son fundamentales para alcanzar los mayores potenciales de rendimiento de la especie.

Según Fairhust & Griffihs (2014), Goh et al. (1994) y Ng (1983), citados por Woittiez, Wijk, Slingerland, Noordwijk, & Giller (2017), el ciclo de vida de la palma pasa por 4 fases de productividad; la primera es la fase inmadura la cual va desde la siembra en sitio definitivo hasta los 3 años donde solo hay una cosecha de muy pocos racimos; la fase dos es conocida como joven madura donde la producción de racimos se incrementa de manera rápida y va desde los 4 a 7 años después de siembra, la fase tres es la madura y va desde los 8 a los 14 años; en esta fase la producción de la palma se estabiliza si las condiciones son adecuadas y por último la fase cuatro o final donde se presenta un descenso en el rendimiento del cultivo. Por lo tanto, es muy importante desde el inicio del cultivo adoptar las mejores prácticas para alcanzar los mayores rendimientos. La nutrición es una de ellas; una adecuada fertilización es fundamental para obtener altos rendimientos tanto en racimos de fruto como en aceite, además, una nutrición balanceada, a tiempo y en las cantidades suficientes, ayudará en la prevención de enfermedades y ataques de plagas que normalmente afectan al cultivo que de darse, perjudicarían el rendimiento final (Munévar, 2001)

En la zona norte de Colombia, la nutrición en cultivos de palma de aceite *E. guineensis* Jacq, se viene realizando de acuerdo con conceptos técnicos realizados en otras latitudes que tienen condiciones ambientales y de suelos diferentes a las zonas

donde se realiza actualmente el cultivo y, por lo tanto, en algunas ocasiones no se logran los resultados esperados.

Aunque el rendimiento de la palma depende de varios factores (suelos, condiciones ambientales, cultivar genético, prácticas de manejo) quizás uno de los que tienen gran impacto (por el costo) es la nutrición de los cultivos. Aunque la nutrición mineral en las plantas tiene gran influencia en la anatomía, morfología y en la composición química, el rol principal de la nutrición tiene que ver con el metabolismo y con algunas de sus funciones como el crecimiento y el rendimiento de los cultivos. Marschner (1995) citado por (Munévar, 2004).

De acuerdo con (Caliman et al., 2004), independientemente del clima o el tipo de suelo, la fertilización en palma es fundamental si se quiere obtener un desarrollo vegetativo adecuado y buenos rendimientos en racimos como en contenido de aceite por hectárea. Así mismo la fertilización ayuda a mantener y/o mejorar la fertilidad natural del suelo, sobre todo en suelos tropicales donde este factor es limitante.

Al respecto (Woittiez, et al., 2017), afirman que el rendimiento en palma de aceite se ve limitado por actividades metabólicas como la radiación, temperatura, concentración de CO_2, cultivar sembrado, densidad de siembra, manejo optimo foliar, la polinización, la cosecha. Sin embargo, cuando hay limitaciones de agua (déficits mayores a 400 mm/año), el rendimiento puede disminuir hasta en 30% del máximo potencial, pero si hay limitación o no aplicación de nutrientes como nitrógeno o potasio, el rendimiento se puede reducir hasta el 50%.

Es importante tener en cuenta que un buen programa de nutrición en palma de aceite requiere de un diagnóstico adecuado que involucre factores como el suelo, el cultivar sembrado, análisis foliares, posible rendimiento y, épocas de aplicación de acuerdo con la distribución de la lluvia, entre otros. De acuerdo a (Ditschar, 2016), en Colombia el fertilizante tiene un alto costo y posiblemente el que más influye para mejorar rendimientos. Sin embargo, un mal diseño del plan de nutrición y poco control de las aplicaciones, influyen negativamente en la producción del cultivo. De ahí la importancia de hacer adecuados muestreos foliares y, de suelos, unidos a la interpretación adecuada de

los resultados e identificación de fertilizantes de buena calidad para sugerir una recomendación adecuada y balanceada.

De acuerdo a (Oberthur et al., 2013), en palma de aceite se requieren nutrientes para el crecimiento y otros para poder evitar las deficiencias nutricionales que el cultivo presente. Para alcanzar su máximo potencial de rendimiento se requiere que el suelo suministre los nutrientes necesarios, caso contrario estos deben ser suministrados a través de los fertilizantes, los racimos de fruta fresca vacíos (raquis), los efluentes de la planta de beneficio y otras posibles fuentes de nutrientes (compost, residuos vegetales). Cuando se presenta una deficiencia nutricional la producción disminuye o puede ser muy reducida.

Ditschar (2016) asegura que la palma de aceite tiene buena respuesta a la aplicación de nitrógeno, fosforo, potasio y magnesio. Según este autor, el magnesio es clave para obtener alto rendimiento, especialmente al incrementar la extracción de aceite. En este sentido, Dolmat (2005), citado en (Ditschar, 2016), describe la importancia del magnesio en la nutrición en esta especie y afirma que cuando se presenta deficiencia y desequilibrio del magnesio en el cultivo, la síntesis de aceite disminuye en los racimos y por tanto, de la tasa de extracción de aceite (TEA) en la planta de beneficio.

Dolmat (2005), citado por (Ditschar, 2016) en un experimento realizado en Malasia con tres niveles de magnesio (0, 1,5 kg, 3 kg de kieserita palma^{-1}año^{-1}) observó repuesta significativa a la aplicación a nivel foliar, en el rendimiento de racimos y en la relación aceite/racimo. Cuando se aplicó de manera consistente kieserita en dosis de 1,5 kg palma^{-1}año^{-1} se logró obtener una cantidad adicional de aceite de 0,57 t ha^{-1} año^{-1}.

En palma de aceite, el incremento del peso promedio de los racimos está estrechamente ligado a la aplicación balanceada de los nutrientes a través de los fertilizantes, pero poco se conoce de su influencia sobre el contenido de aceite en los racimos. En palma de aceite, la extracción de aceite se mide en las plantas de beneficio como tasa de extracción de aceite - TEA (%) y aunque la misma depende de los procesos de maquila en la planta de beneficio, algunos autores sugieren que la producción de aceite se origina en el campo por las buenas prácticas agrícolas que se realicen, siendo la nutrición el factor con mayor influencia en el rendimiento.

La tasa de extracción de aceite (TEA), es el que determina la cantidad producida de aceite crudo de palma, a partir de la materia prima procesada en la planta de beneficio y es el elemento clave en la determinación de las ganancias de una empresa (Modh, 2002). Un punto porcentual menos de aceite representa una tonelada menos de ACP (aceite crudo de palma) por cada 100 t de RFF procesada.

Aunque el contenido de aceite en los racimos es inherente al cultivar sembrado, Rajanaidu y Jalani (1990), citados en (Ayala et al., 2017), plantean que, aparte del cultivar seleccionado para tener mejores rendimientos, la producción de aceite en la palma depende de varios factores, como los ambientales, especialmente la precipitación y la luminosidad, características fisicoquímicas de los suelos y prácticas agronómicas adecuadas (control de malezas, plagas y enfermedades y nutrición).

Ayala et al. (2017) en estudio realizado en el Centro de Investigación en Palma de Aceite (Cenipalma) Campo Experimental Palmar de la Vizcaína (CEPV), Barrancabermeja, Santander, encontraron diferentes potenciales de aceite en varios de los cultivares de palma que se siembran en Colombia (Tabla 1).

Tabla 1. Potencial de producción de aceite/racimo en cultivares sembrados en CEPV, Barrancabermeja, Santander.

N°	Cultivar comercial	Origen	Aceite/racimo (%), año 9 DDS*
1	AAR	Malasia	25.3
2	Corpoica	Colombia	27.6
3	Dami 103.101	Colombia	27.7
4	Dami 104.404	Colombia	29.0
5	Dami 114.112	Colombia	27.0
6	ASD DxG	Costa Rica	23.2
7	ASD DxN	Costa Rica	26.3
8	Felda	Malasia	27.1
9	Golden Hope	Malasia	25.4
10	Guthrie	Malasia	26.3
11	IOI	Malasia	26.7
12	IRHO 1001	Costa de Marfil	25.4
13	IRHO 1401	Costa de Marfil	23.4
14	IRHO 2528	Costa de Marfil	26.6
15	UnipalmY22683	Colombia	24.3
16	United Plantation	Malasia	28.0

Fuente: Adaptado de “Comportamiento agronómico de cultivares comerciales de palma de aceite en el Campo Experimental Palmar de La Vizcaína”, 2017. *Después de siembra

Siendo la fertilización en palma de aceite, uno de los rubros más costosos en el proceso de producción de racimos, esta debe ser eficiente buscando aplicaciones en el lugar correcto, con la dosis apropiada, el momento apropiado y la fuente correcta. En estudio realizado por Mosquera et al. (2018), se afirma que la fertilización equivale en promedio a 29% de los costos totales del cultivo. En este sentido (Caliman et al., 2004), afirman que la fertilización representa uno de los componentes más grandes en los costos de producción. Por su parte (Kiang & Goh, 2007), afirman que la eficiencia de los fertilizantes se define como la cantidad de rendimiento (racimos y aceite/racimo) alcanzado por unidad de fertilizante que se aplique.

Pensando en la importancia de la nutrición en palma de aceite, en el presente estudio se buscó verificar si la palma responde con mayores rendimientos (racimos y aceite) a la aplicación de la dosis de fertilizante tradicional (100% del fertilizante) o si por el contrario con menos fertilizante (0% y 50% del fertilizante tradicional) o más fertilizante (150% y 200% del fertilizante tradicional), se logra igual o mayores rendimientos. Así mismo, se estudió la variabilidad del contenido de aceite por racimo en los diferentes meses del ensayo, independientemente de los fertilizantes aplicados para verificar el efecto de algunas variables del clima (precipitación y radiación solar). Los resultados obtenidos son valiosos en la medida que permitan a los productores de esta zona optimizar esta práctica que tiene grandes implicaciones económicas.

2. JUSTIFICACION

La palma de aceite *Elaeis guineensis* en la zona norte de Colombia ocupa una extensión aproximada de 184.950 ha, área distribuida en los departamentos de Cesar (44,8%), Magdalena (31,1%), Bolívar (18,1%), Antioquia (3%), Córdoba (2,1%) y Sucre (0,9%) (Fedepalma, 2020).

Aunque hay características comunes en las diferentes zonas donde se encuentra el cultivo (precipitación, luminosidad, temperatura), en la mayoría de los casos se presentan diferencias en el tipo de suelo donde la palma ha sido sembrada. En este sentido, Jaramillo (2015) afirma que las propiedades de un suelo dependen de su origen y del tipo de suelo que se encuentre en una determinada región. Las propiedades físicas tienen menos variabilidad que las químicas; sin embargo, hay factores que condicionan

que unas u otras presenten mayor variabilidad. Por ejemplo, suelos sometidos a explotaciones comerciales son más susceptibles al cambio que suelos en condiciones naturales. En este caso, las prácticas agrícolas (riego, fertilización, laboreo) que se realizan sobre un determinado suelo influyen para que se presenten cambios en las condiciones del recurso (compactación, cambios en el pH, salinización, etc.).

Sin embargo, los planes de nutrición tienen como base las experiencias logradas en otras partes del mundo (tecnologías desarrolladas en Malasia, Indonesia) donde las condiciones ambientales y de suelo son muy diferentes a las locales.

El presente estudio se realizó buscando respuestas a la aplicación de fertilizantes a nivel de un cultivo comercial. Aunque hay muchos trabajos previos acerca de esta temática, en Oleoflores SAS, la nutrición en palma se realiza teniendo como niveles de referencia a nivel foliar y de suelos, valores estándares que han sido estudiados en otras zonas palmeras del país y probablemente con cultivares diferentes al sembrado en la zona del estudio.

Cuando se realiza el plan de nutrición se debe tener en cuenta el contenido nutricional del suelo (N, P, K, Mg, B) y otras variables como textura, pH, conductividad eléctrica etc.; además debe tenerse en cuenta el análisis foliar, la masa seca foliar, la productividad esperada, la edad del cultivo y el cultivar sembrado. Este último, responde a la relación genotipo ambiente y, por lo tanto, bajo las condiciones de Oleoflores, la palma tendrá unas medidas de crecimiento diferentes a otros sitios y por lo tanto el requerimiento nutricional podría también resultar diferente.

Lo que se buscó en el estudio fue verificar si la palma responde en productividad de RFF y mayores contenidos de aceite a la aplicación de fertilizante tradicional (100% del fertilizante) o si por el contrario con menos fertilizante (0% y 50% del fertilizante tradicional) o más fertilizante (150% y 200% del fertilizante tradicional) se logra igual o mayor rendimiento en estas variables mencionadas. En palma de aceite, el incremento del peso promedio de los racimos está estrechamente ligado a la aplicación balanceada de los nutrientes a través de los fertilizantes, pero poco se conoce de su influencia sobre el contenido de aceite en los racimos.

La extracción de aceite en este cultivo se mide en las plantas de beneficio como "% de extracción" y aunque la misma depende de los procesos de maquila en la planta de beneficio, algunos autores sugieren que la producción de aceite se origina en el campo por las buenas prácticas agrícolas que se realicen (la nutrición como el factor más importante). Incrementar un punto de extracción (1%) por efecto de la nutrición puede significar para el gremio palmero a través de su planta de beneficio al menos unos $ 20.000 por cada tonelada procesada en la misma. Hay que tener en cuenta que en la planta de Oleoflores actualmente se procesan al menos unas 200.000 t de RFF/año.

3. OBJETIVOS

3.1 Objetivo general

- Evaluar la respuesta en rendimiento de la palma de aceite *Elaeis guinnensis* Jacq, a la aplicación de dosis crecientes de fertilizantes a nivel comercial bajo las condiciones del municipio de Agustín Codazzi, Cesar.

3.2 Objetivos específicos

- Determinar la producción de racimos de fruta fresca (RFF) en palma Dami Las Flores como efecto de la aplicación de cinco dosis de fertilizante en el municipio de Agustín Codazzi, Cesar.
- Establecer el rendimiento en aceite por racimo y por unidad de área cultivada de la palma Dami las Flores como efecto de la aplicación de cinco dosis de fertilizante en el municipio de Agustín Codazzi, Cesar.
- Relacionar el rendimiento en t de RFF y de aceite, con los contenidos de nutrientes en suelos y foliares, cultivados con palma Dami las Flores.

4. MARCO TEORICO

4.1 Generalidades de la palma de aceite *Elaeis guineensis* Jacq.

Colombia tiene sembradas 559.583 ha de palma de aceite distribuidas en 4 zonas geográficas; zona occidental (departamento de Nariño), zona oriental (departamentos de Meta y Casanare), zona norte (departamentos de Bolívar, Córdoba, Cesar, Sucre, Guajira, Antioquia y Magdalena) y zona central (departamentos de Santander y Norte de

Santander). La palma de aceite es la oleaginosa más productiva por unidad de superficie, llegando a producir entre 6 a 10 veces más que otros cultivos (Fedepalma, 2020). Actualmente Colombia, con un 2,4% de participación, es el cuarto productor a nivel mundial de aceite de palma después de Indonesia, Malasia y Tailandia (Bayona, 2019) y el primero en América.

La palma de aceite es un cultivo sembrado en las áreas tropicales ecuatoriales de África, Asia sur oriental y América. Esta oleaginosa es el cultivo con mayor rendimiento en aceite por unidad de superficie, inclusive por encima de plantaciones de cocotero y de otros cultivos como soya, girasol y colza (Hartley, 1977).

De acuerdo con Guoron (2011), la palma de aceite tiene la siguiente clasificación taxonómica:

Reino: Plantae
División: Magnoliophyta
Clase: Liliopsida
Subclase: Commelinidae
Orden: Arecales
Familia: Arecaceae
Subfamilia: Coryphoideae
Género: Elaeis
Especie: E. guineensis Jacq.

La palma de aceite es una especie monocotiledónea de característica monoica (es decir en el mismo eje vegetativo se encuentran inflorescencias masculinas y femeninas), con un tronco individual que puede alcanzar hasta los 15 m de altura (vida comercial aprovechable) y un diámetro entre 30 a 60 cm que a partir del año 5 tiende a mantenerse estable (Guoron, 2011). Las hojas son pinnadas y su longitud depende del cultivar sembrado, pero el mismo oscila entre 4 a 5 m de longitud, con 100 a 150 pares de foliolos por hoja. En condiciones normales, las hojas son de color verde y se ubican alrededor del tronco bajo una estricta organización en espiral que se denomina filotaxia, por lo tanto, la posición de las hojas puede ser hacia la izquierda o hacia la derecha. En cualquier de los dos casos, existen 8 espirales de hojas y que se denotan como hoja 1, 9, 17, 25, 33, 41 para efectos de manejo agronómico. En cuanto a las inflorescencias (pueden ser masculinas o femeninas), estas son cortas en sus estadios iniciales y posteriormente pueden alcanzar hasta unos 30 cm. Los frutos tienen forma ovoide y dispuestos sobre un

eje central (raquis) dentro de los racimos. Su color en general es entre rojizo a naranja en su estado de madurez fisiológica (Bayona, 2019).

4.2 La palma de aceite en Colombia

A nivel comercial la palma de aceite se remonta al año 1966 con 15.835 ha. Para el año 1973, se contabilizan unas 20.500 ha. En este periodo de tiempo el crecimiento fue limitado debido a que aparecieron patologías que detuvieron el crecimiento del área sembrada. Enfermedades como la pudrición de cogollo y la marchitez sorpresiva devastaron parte de las primeras áreas sembradas; sin embargo, la industria de la palma de aceite ha seguido en continuo crecimiento (Hartley, 1977).

En la actualidad, la palma de aceite se encuentra sembrada en 4 zonas de Colombia y a pesar de problemas fitosanitarios graves, el área sembrada se ha incrementado de manera vertiginosa. La zona sur occidental (departamento de Nariño) tiene sembradas 20.396 ha, la mayoría del hibrido interespecífico *oleífera* x *guineensis* (OxG), la zona oriental (departamento del Meta, Cundinamarca, Casanare) posee 219.531 ha, la zona central (departamento de Santander, Norte de Santander) con 114.098 ha y la zona norte (departamento del Cesar, Guajira, Magdalena, Bolívar, Córdoba y Antioquia) con 131.936 ha (Fedepalma, 2020).

Cada una de las zonas palmeras se caracteriza por tener condiciones de suelo diferentes, así como también las condiciones ambientales. Dada la gran variabilidad estacional de Colombia, el comportamiento de la precipitación y otras variables climáticas son diferentes entre regiones. Mientras en la zona sur occidental la precipitación tiene característica monomodal y precipitaciones promedio de 2800 a 3000 mm/año, la zona oriental también de característica monomodal tiene aproximadamente entre 2700 a 2800 mm/año. Por su parte, la zona central posee precipitaciones de carácter bimodal con lluvias entre 1500 a 1600 mm/año. Finalmente, está la zona norte cuya precipitación no supera los 1500 mm/año con distribución bimodal y que genera déficit hídrico para algunos cultivos (Guzman, Ruiz, & Cadena, 2014).

De acuerdo con Hartley (1977), la palma tiene mejor desempeño productivo cuando las precipitaciones de 2000 mm/año, bien distribuidas, con pocos periodos secos a través del año; de igual manera, las temperaturas deben estar entre 29 a 33 °C, evitando periodos

fríos (temperatura mínima de 22 °C). La luz solar mínimo debe ser de cinco horas por día y en algunos días del año preferiblemente siete horas/día.

Por su parte (INIAP, 2015), asegura que la palma de aceite requiere de condiciones agroclimáticas adecuadas para su desarrollo y producción. Si la precipitación y la heliofanía son deficientes, las áreas para siembra deben limitarse. Lo ideal es que la topografía del terreno sea plana o con pendientes suaves o ligeramente ondulados (máximo un 12%). Las texturas del suelo preferibles son franco, limoso, franco arcilloso (<35% de arcilla), franco arcillo limoso, franco arcillo arenoso, arcillo arenoso, arcillo limoso. El drenaje debe ser bueno a moderado.

Hay que tener claro que los efectos de sequias prolongadas en palma impactan de manera negativa en el rendimiento del cultivo y afectan en la fisiología de la planta. Por ejemplo, en zonas donde la temporada seca es de 2 a 4 meses (Dahomey, Zaire y algunas zonas de Nigeria) la productividad es muy inestable entre un año y otro y a medida que pasa el tiempo, los rendimientos más bajos se presentan en periodos de cada 4 años (Hartley, 1977).

Según (Mejía, 2000), la precipitación que se requiere para tener buenos rendimientos en palma debe ser superior a 1800 mm por año con muy buena distribución a lo largo del año ya que si se presenta déficit hídrico la productividad disminuye. Cuando la lluvia que cae en determinada zona no es suficiente, el déficit debe ser suplido con la aplicación de riego. Uno de los factores principales factores limitantes para la producción en palma de aceite es el agua. El déficit hídrico afecta el crecimiento vegetativo, la fisiología, la producción de racimos y la tasa de extracción de aceite (TEA). Algunos experimentos desarrollados en Malasia, Ecuador, Costa de Marfil, Nigeria han permitido establecer los beneficios del riego para incrementar la producción y mitigar los efectos de la sequía.

Experiencias de otras latitudes con estaciones climáticas diferentes han permitido deducir la alta dependencia de la palma de aceite a las condiciones meteorológicas para que se produzca la evapotranspiración y, por lo tanto, incrementar o reducir la capacidad productiva. Así mismo se observa una elevada producción potencial de la palma cuando se le dan las condiciones adecuadas de fertilización y riego (Mejía, 2000).

Junto a las condiciones climáticas, otro de los factores que inciden de manera directa en la productividad de la palma de aceite es el suelo. Aunque la palma se puede cultivar en muchos tipos de suelos tropicales, es importante que los mismos tengan algunas características deseables; Georgi y Milsum, citados por (Hartley,1977) recomiendan como suelos adecuados para palma los “franco aluvial suelto sobre un subsuelo arcilloso o desmenuzable”. Obviamente en la práctica es muy difícil encontrar un suelo optimo, de ahí que se prefieran suelos con buen drenaje natural, suelos con buen contenido de materia orgánica (evitar suelos lateríticos y arenosos y de turba), suelos sin compactación y que preferiblemente tengan una cobertura previa al cultivo.

4.3 Suelos en palma de aceite

La palma de aceite en Colombia se encuentra distribuida en cuatro zonas palmeras; sur occidental, oriental, central y norte. Cada una de ellas presenta suelos con características diferentes entre sí. De acuerdo a (Munevar, 1998), las diferencias en las características de los suelos radican en los procesos naturales que se dieron en su fase de formación y en menor proporción debido, a la influencia antrópica en el manejo del cultivo. Así mismo, se debe tener en cuenta el manejo previo que se le dio a los suelos que actualmente se siembran con palma. Muchos de los cultivos actuales con palma, anteriormente procedían de cultivos de arroz, algodón y en algunos casos de manejo con ganadería. Los cultivos de arroz especialmente y en menor grado la ganadería, influyeron notoriamente en la destrucción de las características físicas, principalmente disminuyendo la porosidad y por ende causando compactación.

En líneas generales, los suelos sembrados con palma corresponden a los órdenes Entisoles, Inceptisoles y Oxisoles, con algunas áreas pequeñas con el orden Histosoles. En la Tabla 2 se muestran algunos suelos sobre los cuales se siembra palma de aceite (Munevar, 1998).

Tabla 2. Clasificación de suelos representativos sembrados con palma de aceite en Colombia.

Zona norte	Zona oriental	Zona central	Zona occidental
Fluvents	Aquic Tropofluvent	Oxic Dystropept	Tropepts
Orthents	Oxic Dystropept	Typic Tropaquept	Fluvents
Tropepts	Aquic Dystropept	Aeric Tropaquept	Histosoles (?)
	Typic Tropaquept	Typic Dystropept	
	Aquoxic Dystropept	Fluventic Dystropept	
	Aeric Tropaquept		
	Typic Dystropept		
	Aquic Hapludox		

Fuente: autor, adaptado de “Problemática de los suelos cultivados con palma” (Munevar, 1998).

El desarrollo de las plantas depende del suelo como soporte mecánico y físico (aire, agua y nutrientes). Aunque la fertilidad de un suelo es clave para un sistema productivo, no siempre esta permite tener éxito en un cultivo determinado. Factores como un mal drenaje, sequias extremas, presencia de insectos plaga, enfermedades, son algunos de los factores que pueden hacer que los cultivos no sean productivos aun que los suelos tengan los nutrientes adecuados para el desarrollo fisiológico y productivo de las plantas (Bruuselma, Fixen, & Sulewski, 2012).

Los suelos palmeros en Colombia presentan una gran variabilidad en sus propiedades físicas y químicas. De acuerdo con (Jaramillo, 2015), las propiedades de un suelo dependen de su origen y del tipo de suelo que se encuentre en una determinada región. Las propiedades físicas tienen menos variabilidad que las químicas; sin embargo, hay factores que condicionan que unas u otras presenten mayor variabilidad. Por ejemplo, suelos sometidos a explotaciones comerciales son más susceptibles al cambio que suelos en condiciones naturales. En este caso, las prácticas agrícolas (riego, fertilización, laboreo) que se realizan sobre un determinado suelo influyen para que se presenten cambios en las condiciones de un suelo (compactación, cambios en el pH, salinización, etc.).

En general los suelos de Colombia son muy diferentes de acuerdo con la zona donde se encuentre el cultivo. Las propiedades físicas dependen del origen y del manejo que se le dé al cultivo; las propiedades químicas, aunque pueden ser influenciadas por el manejo agronómico, son inherentes al tipo de suelo. Éstas dependen del contenido de minerales y sustancias orgánicas que estén presentes en el mismo. Lo ideal es que

elementos como nitrógeno, fosforo, potasio, calcio, magnesio estén de manera equilibrada y en cantidades importantes que permitan suplir las necesidades del cultivo. De igual manera es importante un buen contenido de materia orgánica que en su proceso de descomposición aporte carbono, oxígeno e hidrógeno (FAO, s.f). En el caso de la palma de aceite, los nutrientes presentes en este permitirán un mejor desarrollo vegetativo y productivo del cultivo; dependiendo de los contenidos nutricionales también dependerá la cantidad de fertilizantes que se deben aplicar para obtener los mejores rendimientos.

En el caso de la palma de aceite que se siembra en el municipio de Agustín Codazzi, la gran mayoría están ubicados sobre suelos del Orden Inceptisol. Los suelos de este orden corresponden al subgrupo Typic Natrudalfs, familia franco-fina, planicies aluviales, planos (entre 0 a 1% de pendiente), con drenajes internos y externos de categoría lenta, buenos drenajes naturales, nivel freático mayor a 80 cm, pocas inundaciones, profundidad efectiva muy superficial, altos contenidos de sodio, calcio, magnesio y medianos contenidos de potasio (Fino, 2006).

4.4 Fertilización y nutrición en palma de aceite

Aunque los conceptos nutrición y fertilización pueden parecer iguales, es importante resaltar que existen algunas diferencias. La nutrición en plantas es una actividad fisiológica que le permite a estas obtener los nutrientes que están en la solución del suelo o en los fertilizantes que se apliquen para suplir una necesidad determinada, de ahí la importancia de que esta sea balanceada y en las cantidades apropiadas. La fertilización hace referencia a la aplicación de los fertilizantes que se han seleccionado y preparado previamente (sólidos, líquidos, foliares etc.); tiene que ver más con la logística, frecuencias de distribución, forma y épocas de aplicación (Oltra, 2017).

Cuando no se tiene claro el concepto de nutrición se puede dar que las plantas pueden estar sobre fertilizadas (o sub dosificadas) pero pueden estar mal nutridas o los nutrientes aportados no estén en equilibrio, por lo tanto, cuando se hace un plan de nutrición se deben tener en cuenta todas las variables que pueden intervenir, así como los nutrientes que se quieren brindar a los cultivos (Oltra, 2017).

La fertilización, es una de las buenas prácticas agrícolas que se deben hacer en el cultivo de la palma de aceite. El objetivo de ésta, es la de devolver al suelo los nutrientes que son extraídos por la planta para producir los racimos y mantener un desarrollo vegetativo adecuado, por lo tanto, la fertilización está en función de las características del cultivo y del suelo que van a influir en la eficiencia de los fertilizantes aplicados. La palma de aceite es una de las oleaginosas con una gran capacidad para producir aceite a través de los racimos, de ahí su elevado potencial productivo. Dado el alto potencial productivo de la palma, y a su condición de cultivo perenne, durante su ciclo productivo, se genera un alto volumen de biomasa a través de sus productos vegetativos (hojas, raíces, estípite) y reproductivos (inflorescencias, racimos). Debido a esta alta producción de biomasa, la palma necesita una gran cantidad de nutrientes que se obtienen del suelo o por medio de la aplicación de fertilizantes (Loli, 2012).

En consecuencia, la nutrición (que se hace a través de la fertilización) busca promover el desarrollo vegetativo, productivo, resistencia a plagas y enfermedades y la reposición de los nutrientes que se extraen del suelo, por lo cual es importante el monitoreo de estos a través de los análisis de suelo que se deben hacer periódicamente (Loli, 2012).

En este sentido (Caliman et al., 2004), afirma que independientemente donde se cultive la palma de aceite, la nutrición es fundamental para lograr un mejor rendimiento productivo y un crecimiento adecuado; adicionalmente con la fertilización se logra mantener en parte la fertilidad de los suelos, la cual en suelos de origen tropical muchas veces resulta limitante. La palma es muy sensible a la aplicación de fertilizantes y es por lo que este es un insumo que representa un alto valor dentro del patrón de costos de producción.

Por su parte, Munévar (2001) manifiesta que la competitividad en palma de aceite está asociada con un manejo adecuado de la nutrición y de las prácticas de fertilización, ya que esos factores influyen directamente en los niveles de productividad. Así mismo la nutrición también influye en la incidencia de plagas y enfermedades que afectan el cultivo.

De igual manera, Guzman & Betancourt (2007) afirman que, la fertilización constituye un factor importante encaminado a obtener una adecuada nutrición del cultivo para alcanzar la máxima producción por unidad de superficie. Un plan de nutrición

adecuado no siempre implica utilizar más fertilizante; la necesidad de las plantas y un balance de nutrientes en los fertilizantes a aplicar es más importante cuando se habla de nutrición. De igual manera, el uso racional del fertilizante se logra cuando se conoce el cultivo, el suelo, niveles foliares de referencia, producción esperada, las condiciones ambientales, que permitan optimizar el uso de el mismo.

El cultivo de palma de aceite requiere una importante cantidad de fertilizante para lograr su máximo potencial productivo; según Soh (1997), citado por (Ross, 2004), la palma esta entre los 10 cultivos más fertilizados en el mundo. Por su parte, (Mite & Espinosa, s.f.), plantean que en cultivos tropicales el efecto de un manejo adecuado en la nutrición y mantenimiento del cultivo se verán reflejados en un buen o mal rendimiento a corto, mediano y largo plazo, empezando en los primeros años con niveles bajos y posteriormente incrementándolo hasta alcanzar su máximo potencial de rendimiento, asegurando de esta manera un desempeño alto por unidad de área, manteniendo producciones optimas por más de 25 años.

Por su parte, Kiang & Goh (2007) plantean que dentro de los factores que más afectan el rendimiento de palma de aceite es la nutrición, la cual depende de los nutrientes disponibles en el suelo o por la aplicación de estos a través de los fertilizantes. Al ser uno de los insumos más costosos en el sistema productivo es preciso determinar con claridad la necesidad que tiene las plantas para mantener un rendimiento económico optimo y de esta manera dar los nutrientes que permitan satisfacer las necesidades del cultivo.

Respecto a la cantidad de nutrientes necesarios para obtener buenas producciones y su importancia en el cultivo de palma de aceite existen varios artículos que tratan el tema. Por ejemplo, Caliman et al. (2004) afirman que cuando se trata de nutrición en plantas no existe “una llave maestra” que permita aplicar en cualquier circunstancia una determinada propuesta ya que aparte de las condiciones agro ecológicas también hay que tener en cuenta la parte económica, por lo tanto, un buen plan de nutrición debe ser lo más específico posible, ya que los resultados que se puedan obtener en un sitio no necesariamente puede funcionar en otro; sin embargo, se debe tener una metodología que permita involucrar todos los factores que pueden incidir en un mejor rendimiento.

Munévar (2001), afirma que en los cultivos comerciales de palma de aceite los programas de fertilización se inician desde el vivero mismo. Al comienzo del cultivo, los dos o tres primeros años, la necesidad de nutrientes es relativamente pequeña, pero a medida que el cultivo crece, su masa vegetativa aumenta, los niveles de producción se incrementan, la demanda de nutrientes se hace mayor de manera progresiva, lográndose una estabilización hasta el año siete después de la siembra, sin embargo, esto dependerá del nivel productivo que tenga el cultivo (extracción de nutrientes).

Según Reyes et al., (1999) citado en (Munévar, 2001), la palma de aceite responde muy bien a la fertilización en una amplia gama de suelos y clima. Aunque la mayoría de los estudios respecto al tema han sido desarrollados en Malasia, algunas experiencias en Colombia han permitido determinar buenas respuestas a la aplicación de determinados fertilizantes en algunas zonas productoras de palma. A nivel comercial, en Puerto Wilches, Santander, en la Plantación Monterrey, durante más de 10 años se llevó a cabo un ensayo sobre fertilización. Los resultados mostraron que cuando se incrementó la dosis de fertilizante a 7,5 kg/palma/año, la productividad del cultivo también se incrementó. De igual manera, cuando el fertilizante fue eliminado de las prácticas agrícolas en un cultivo adulto, los rendimientos de fruto disminuyeron ostensiblemente a una tasa promedia anual de 1,16 t/ha.

Para Ng (1977) y Chew et al. (1992) citados en (Kiang & Goh, 2007), el cultivo de la palma de aceite requiere una gran cantidad de nutrientes debido a su vigoroso y rápido crecimiento. La demanda de nutrientes varía de un sitio a otro debido a algunos factores como el suelo, las condiciones ambientales, el cultivar sembrado y la productividad de éste; sin embargo, los nutrientes mayormente requeridos son el K, N, Mg y P, los cuales son exportados en cada ciclo de cosecha en los racimos y algunos almacenados en el tronco de la palma.

Algunas estimaciones de la demanda de nutrientes en palma de aceite se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Demanda anual de nutrientes (kg/ha/año) en palma de aceite en cultivares de alto rendimiento.

Fuente	Año publicación	N	P	K	Ca	Mg
Ng (a)	1977	193	26	252	nd	61
Pushparajah y Chew (b)	1998	192	26	251	89	61
Henson (c)	1999	114	15	149	33	32
Ng et al.(d)	1999	163	22	279	nd	49
Goh y Hardter (e)	2003	191	27	265	nd	59
Tarmizi et al. (f)	2004	116	12	167	nd	22

Fuente: autor, adaptado de “Manejo integrado de la nutrición, en la palma de aceite” (Kiang & Goh, 2007).

a: palmas de 8 a10 años, asumiendo 25 t racimos/ha/año
b: asumiendo 148 palmas/ha
c: palmas de 10 años, suelos serie Selangor, asumiendo 25 t racimo/ha/año.
d: asumiendo 30 t racimo/ha.
e: asumiendo 24 t racimo/ha/año y 148 palmas/ha.
f: palmas de 9-12 años, asumiendo 30 t racimo/ha.
nd: no determinado

En este orden de ideas, los elementos que más demanda tiene el cultivo de palma son el nitrógeno (N), el fósforo (P), potasio (K), magnesio (Mg) y boro (B). Para explicar la funcionalidad de los nutrientes se han hecho varios ensayos con fertilizantes en Malasia. (Caliman et al., 2004) precisa que la fertilización en palma debe ser optima especialmente en la fase inmadura del cultivo (los primeros tres años). En algunos ensayos realizados en plantaciones comerciales, pudieron establecer que la productividad en los primeros años está muy ligado a un buen desarrollo vegetativo (masa seca foliar, estípite), por lo tanto, un buen plan de nutrición debe asegurar un crecimiento adecuado.

En cuanto a la aplicación de magnesio, Ross (2004) afirma que sin el suministro adecuado de este elemento, los rendimientos en palma (racimos y aceite) no serán los mejores, de ahí la importancia de conocer la dinámica de este nutriente en el suelo y en la planta y las funciones metabólicas que cumple. Dependiendo del tipo de suelo donde se siembre la palma de aceite, después del nitrógeno y el potasio, el magnesio es uno de los nutrientes que se debe aplicar en mayor cantidad. De acuerdo con este autor, en algunos ensayos realizados en Malasia, un cultivo de palma adulto es capaz de absorber hasta 98 kg de MgO/ha para producir 24 t de racimos de fruta fresca (RFF) por hectárea.

De igual manera, el boro es otro elemento mineral importante en la nutrición de la palma de aceite, está involucrado en muchas funciones metabólicas y estructurales y por ser esencial no puede ser sustituido.

Al respecto, Gutiérrez & Torres (2013) afirman que el boro es clave en la formación y estabilidad de la pared celular, el transporte de azucares, el control de los niveles de auxinas y en el desarrollo reproductivo. Así mismo, la ausencia de adecuados niveles de boro a nivel foliar hacen que la palma sea susceptible y muestre deficiencias tanto en hojas como en raíces.

4.5 ¿Cómo se determinan las necesidades de fertilizante en palma de aceite?

Para determinar la cantidad de fertilizante en palma de aceite existen algunas metodologías basadas en el diagnostico a partir de los análisis foliares, análisis de suelos y en la productividad o rendimiento esperado.

El análisis foliar no es más que un análisis químico del contenido de nutrientes en los tejidos vegetales de un determinado cultivo. Generalmente, la parte vegetativa más utilizada es la hoja de la planta. El análisis foliar muestra en un momento dado el estado nutricional de las plantas e indirectamente puede indicar el contenido de nutrientes presentes en un suelo, ya que existe una correlación positiva entre los nutrientes del suelo (o los aplicados a través de la fertilización) y la concentración del nutriente presente en las hojas. En general cuando los nutrientes están de manera óptima a nivel foliar, el rendimiento de las plantas es mejor (Espinosa, 1994).

Según Teoh et al., (1996), citado por (Santacruz, Cristancho, & Munévar, 2004),"*el análisis foliar es una herramienta muy útil para determinar las necesidades de fertilización de la palma de aceite (Elaeis guineensis Jacq.) y para evaluar de manera continua el estado nutricional del cultivo*". Aunque los análisis foliares en palma se hacen de manera rutinaria todos los años, es importante tener en cuenta que si no hay una interpretación correcta de los resultados se pueden emitir recomendaciones inadecuadas de fertilización. El análisis foliar debe considerar todos los factores que puedan afectar el rendimiento del cultivo: el cultivar sembrado, la edad de la palma, las condiciones ambientales (época donde se toma la muestra), los fertilizantes aplicados con anterioridad, la posición de la hoja dentro de la palma, sanidad de la hoja muestreada, entre otros.

Los análisis foliares en palma de aceite son el insumo principal para determinar las necesidades de fertilizante. En cultivos de palma adulta (mayores a cinco años) se ha determinado, de acuerdo a la filotaxia de la palma, que la hoja representativa para tomar una muestra de foliolos es la hoja N° 17, ya que es una hoja con un desarrollo intermedio dentro de todas las hojas de la palma (aproximadamente 41 a 49 hojas) y por lo tanto la concentración de nutrientes en esta tiene gran correlación con el rendimiento de un determinado cultivo Fairhust (2005), citado por (Munévar, Romero, Cristancho, & Arias, 2005).

De igual manera, Santacruz et al. (2004), afirma que es importante tener clara la época de la toma de las muestras foliares ya que durante algunas temporadas del año la palma puede tener unas concentraciones de nutrientes a nivel foliar muy altas o muy bajas lo que puede llevar a tomar decisiones erróneas en la recomendación de un plan de nutrición. De ahí que se recomiende tomar periódicamente análisis foliares a lo largo del año (mensual o bimensual) que permitirá determinar el periodo ideal para hacer los análisis foliares en un cultivo comercial y establecer niveles críticos de los nutrientes bajo ciertas condiciones locales. Esto es lo que se denomina como “análisis foliares de seguimiento” los cuales se realizan de manera periódica sobre los mismos lotes, las mismas palmas; cuyos resultados permiten evaluar constantemente las concentraciones de nutrientes presentes en las hojas y por lo tanto se puede ajustar en el tiempo las necesidades de fertilizantes en los cultivos.

Con la concentración de nutrientes determinado en las hojas de las palmas, con los niveles de referencia de nutrientes en la hoja 17, la producción esperada, los análisis de suelo, se pueden hacer cálculos de la cantidad de fertilizante necesario para mantener una determinada productividad. Obviamente existen condiciones, especialmente ambientales, que favorecen o afectan el rendimiento del cultivo. De acuerdo a Munévar (2001), los resultados de los análisis foliares recibidos del laboratorio deben compararse con resultados foliares de referencia (Tabla 4); esto permitirá saber en qué condiciones se encuentra el cultivo y servirá de guía para ajustar el requerimiento de fertilizante necesario para mantener la producción de racimos.

Tabla 4. Niveles de referencia en palma adulta (hoja 17) para interpretación del análisis foliar

Elemento	Unidades	Bajo	Medio	Alto
N	%	2,33	2,34-2,59	2,60
P	%	0,15	0,16-0,17	0,18
K	%	1,07	1,08-1,19	1,20
Ca	%	0,58	0,59-0,64	0,65
Mg	%	0,24	0,25-0,27	0,28
S	%	0,22	0,23-0,25	0,26
B	mg/kg	15,00	16,00-17,00	18,00
Cl	mg/kg	0,50	0,51-0,69	0,70
Fe	mg/kg	71,00	72,00-79,00	80,00
Mn	mg/kg	134,00	135,00-149,00	150,00
Zn	mg/kg	13,40	13,50-14,90	15,00
Cu	mg/kg	4,30	4,40-4,90	5,00

Fuente: autor, adaptada de “Fertilización de la palma de aceite para obtener altos rendimientos” (Munévar, 2001).

Aunque menos conocido o utilizado en palma de aceite, últimamente se ha venido desarrollando una metodología conocida como “Sistema Integrado de Diagnóstico y Recomendación Integral (DRIS)”. (Herrera, 2015), plantea que con los análisis de suelo y los foliares se puede determinar relaciones nutricionales y con base a estas se puede hacer una recomendación acertada de los fertilizantes que necesita el cultivo. Básicamente, con esta metodología, a partir de los resultados individuales de cada nutriente, se pueden establecer relaciones entre varios nutrientes y dependiendo del resultado se puede incrementar o bajar el nivel del elemento en desequilibrio.

El método DRIS se desarrolla teniendo en cuenta la “ley del mínimo de Liebig” que plantea que el rendimiento de un cultivo está en función del elemento nutricional que falta o está en los niveles más bajos. De igual manera, también tiene en cuenta la “ley de Mitscherlich” que dice que el rendimiento de los cultivos puede mejorar cuando los nutrientes estén en niveles adecuados (Garza, 2002 citado por Herrera, 2015).

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Ubicación geográfica

El estudio se desarrolló en el municipio de Agustín Codazzi, Cesar (Latitud: 10° 1' 59'' Norte, Longitud: 73° 13' 59'' Oeste) ubicado al norte de Colombia (Figura 1), caracterizado por tener un clima cálido seco (bosque seco tropical), (IAVH, 1998), un régimen de lluvias bimodal (1287 mm en promedio/año), humedad relativa del 65% y una temperatura media de 28° C.

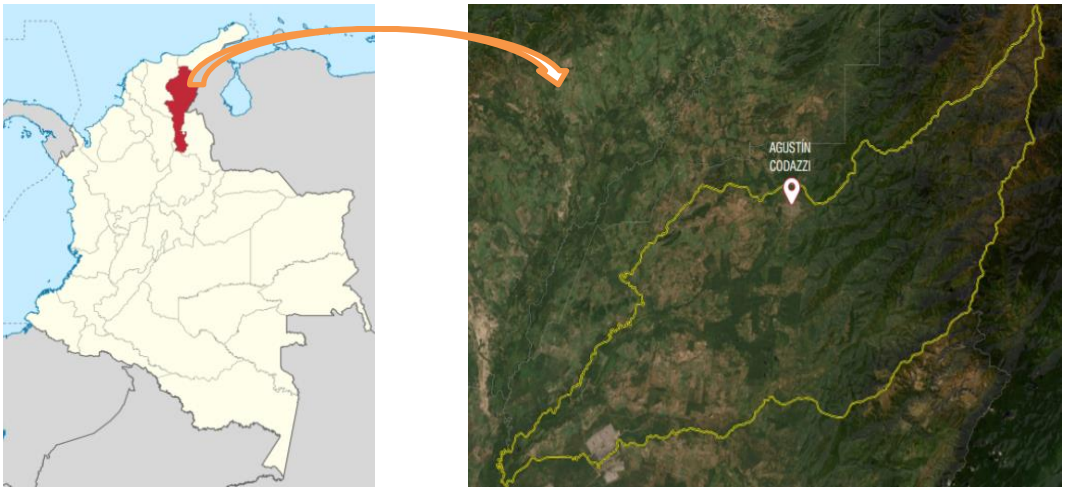


Figura 1. Ubicación del ensayo, municipio de Agustín Codazzi, Cesar (Fuente: adaptado de Google Earth).

5.1.1 Ubicación del ensayo

Los experimentos se realizaron en la empresa Oleoflores SAS durante 48 meses con datos productivos del 2016, 2017, 2018, 2019 y 2020 en un lote comercial de palma identificado como E-4 (Figura 2). Por temas de análisis de los resultados, los 48 meses del ensayo corresponden cronológicamente desde septiembre del 2016 a agosto del 2020.

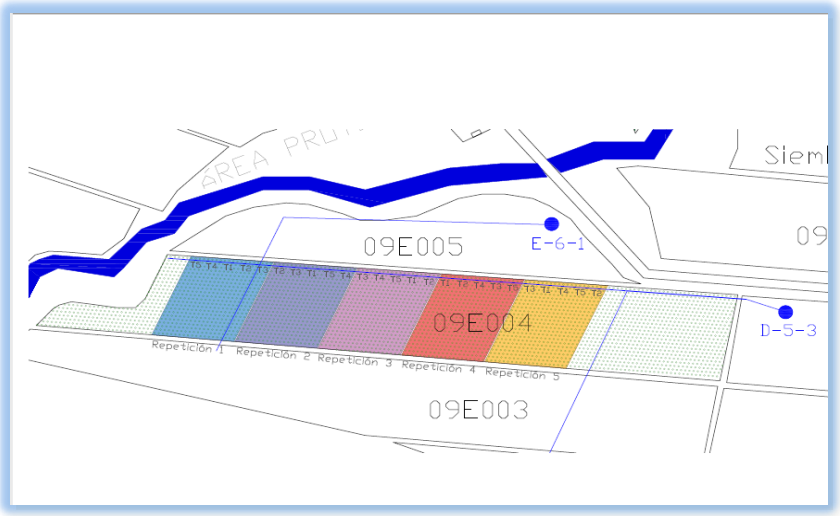


Figura 2. Ubicación del lote E-4, siembra 2010. Fuente: información interna Oleoflores

5.2 Material vegetal

Para la investigación el material vegetal correspondió al Cultivar Dami Las Flores sembrado en el año 2010. Al final del trabajo, la palma tenía 10 años.

5.3 Precipitación

La precipitación en el área del estudio es clave para el rendimiento en palma de aceite. En la Tabla 5 se presenta la precipitación media durante los últimos seis años.

Tabla 5. Precipitación media (mm) en Oleoflores, Agustín Codazzi, Cesar

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
2015	0	48	80	67	67	27	9	55	113	101	299	12	878
2016	18	0	5	160	206	20	49	190	51	180	124	0	1003
2017	3	18	36	122	186	142	244	150	244	347	114	15	1621
2018	118	0	11	157	240	58	289	197	129	138	63	0	1400
2019	27	9	68	63	219	53	69	102	349	213	271	5	1448
2020	75	11	0	21	215	184	264	129	124	152	119	27	1321

Cuando fue necesario superar el déficit hídrico se hizo aplicación de agua a través de un sistema de riego por superficie (gravedad) y, fue igual para todos los tratamientos del estudio.

5.4 Propiedades fisicoquímicas del suelo lote E-4

El suelo donde están sembradas las palmas corresponde a un Typic Eutrudepts, familia franco-fina y de textura Franco arcillosa. Las características fisicoquímicas del suelo están consignadas en la Tabla 6.

Tabla 6. Textura y contenido nutricional lote E-4, Agustín Codazzi, Cesar.

Descripción	Unidades	Valores
Textura		FAr
Arena	%	21,2
Limo	%	50
Arcilla	%	28,8
pH		7,6
Carbono Orgánico	%	1,3
Materia Orgánica	%	2,2
Fósforo	mg/kg	128,3
Calcio	cmol (+) /kg	11,1
Magnesio	cmol (+) /kg	2,1
Potasio	cmol (+) /kg	0,4
Sodio	cmol (+) /kg	0,1
CIC	cmol (+) /kg	14,2
Conductividad eléctrica	dS/m	0,4
Boro	mg/kg	0,6
Hierro	mg/kg	11
Cobre	mg/kg	0,9
Manganeso	mg/kg	51,5
Zinc	mg/kg	2,2

5.5 Diseño estadístico

El estudio se realizó bajo un diseño de Bloques Completamente al Azar (BCA) con cinco tratamientos y cinco repeticiones para un total de 25 parcelas experimentales de aproximadamente 0,7 hectáreas y un área total de 17,5 hectáreas.

La fertilización mineral de las palmas se hizo teniendo en cuenta la demanda nutricional del cultivo y la disponibilidad de nutrientes en el suelo (análisis de suelo, análisis foliar, productividad esperada). En la Tabla 7 se muestra el promedio de fertilizante aplicado entre los años 1 (2016-2017), 2 (2017-2018), 3 (2018-2019) y 4 (2019-2020).

Tabla 7. Fertilizantes aplicados (promedio de 4 años): en kg de nutriente y compuesto/ha

Tratamiento	Descripción	N	P_2O_5	K_2O	MgO	B_2O_3	SO_4	SiO_2
1	0% de la DC (TA)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	50% de la DC	96,53	18,63	213,41	25,47	7,34	98,54	1,30
3	100 % DC	193,05	37,25	422,53	50,94	14,67	197,09	2,60
4	150% de la DC	289,58	55,88	633,79	76,42	22,18	295,63	3,90
5	200% de la DC	386,10	74,50	840,77	101,89	29,52	394,18	5,20

Los tratamientos utilizados en la nutrición de las palmas se presentan en la Tabla 8.

Tabla 8. Tratamientos evaluados en el ensayo

Tratamiento	Descripción
1	Testigo sin fertilizante (testigo absoluto)
2	50% de la dosis comercial recomendada
3	100% de la dosis recomendada (testigo comercial)
4	150% de la dosis comercial recomendada
5	200% de la dosis comercial recomendada

5.6 Actividades realizadas

Para determinar la producción de racimos de fruta fresca (RFF) en el cultivar Dami las Flores como efecto de la aplicación de cinco dosis de fertilizante en el municipio de Agustín Codazzi, Cesar, se llevaron registros en cada ciclo de cosecha de la plantación. Normalmente el ciclo de cosecha de la plantación oscila entre 8 a 12 días. En cada ciclo en las parcelas del ensayo se cosecharon los racimos maduros que estaban disponibles en las palmas; todos los racimos fueron contados y se registraron en un formato tipo. Debido al gran número de racimos para pesar, solamente se pesó una muestra compuesta por 20 racimos por parcela del ensayo, es decir que, en cada ciclo de cosecha, al menos se pesaron 500 racimos (25 parcelas x 20 racimos).

Para relacionar el rendimiento en toneladas de RFF, con los contenidos de nutrientes a nivel foliar y de suelos cultivados con el cultivar Dami las Flores, se tomaron análisis foliares cada tres meses, análisis de suelo una vez por año a 20 cm de profundidad y medidas vegetativas de crecimiento una vez por año. Con la productividad obtenida en el objetivo uno, se establecieron las respectivas correlaciones.

La fertilización del ensayo fue variable en los años del estudio debido a que la dosis comercial se determinó con los análisis foliares de cada año y la productividad del lote a través del tiempo, teniendo la precaución de que las dosis de fertilizante siempre se ajustaran en cantidad a lo propuesto en la Tabla 8. La aplicación del fertilizante en el campo fue manual, esparciéndolo alrededor de las palmas y distribuido en dos fracciones en el año. Los análisis foliares de seguimiento se realizaron cada 3 meses.

Las variables que se midieron en el ensayo fueron: peso promedio de racimo, numero de racimos/palma, t de RFF totales, t de RFF ha^{-1}.

Para determinar el potencial de aceite, las variables que se midieron en el ensayo fueron los componentes de los racimos: aceite/racimo, aceite/mesocarpio, mesocarpio/fruto, humedad en mesocarpio, frutos normales y frutos partenocárpicos.

La metodología utilizada fue la de análisis físico químico de los racimos. El análisis físico fue manual, cualitativo y cuantitativo y el químico se realizó mediante el equipo "soxhlet". Esta metodología consiste en colocar una muestra de mesocarpio (pesada y secada previamente) de frutos de palma en un cartucho de celulosa (papel filtro) en un tubo de extracción soxhlet. El sistema de extracción se compone de un balón de vidrio donde se coloca el solvente orgánico (hexano, éter de petróleo), el tubo de extracción y un condensador. Cuando el solvente orgánico se evapora por efecto del calentamiento de la estufa, este se condensa y cae en el tubo soxhlet, de esta manera el solvente entra en contacto con el mesocarpio contenido en el cartucho, extrayendo el aceite contenido en la biomasa. Pasadas 24 horas, el proceso de extracción termina; el cartucho se pesa nuevamente y por diferencia de peso se calcula el contenido de aceite de la muestra (González, Kafarov, & Guzman, 2009). Este valor se combina con los componentes del análisis físico de racimo (humedad en mesocarpio, frutos normales/racimo, mesocarpio en fruto) para obtener el % de aceite en el racimo analizado.

En cada ciclo de cosecha de la plantación, se tomaron 5 racimos maduros por tratamiento (uno por cada repetición) para un total de 25 racimos. Como el ciclo de cosecha es entre 8 a 12 días, en el mes, se llevaron al laboratorio de análisis, 75 a 100 racimos, lo cual represento que en un año se hicieron 1025 análisis físico químico de racimos.

La fertilización mineral de las palmas se hizo teniendo en cuenta la demanda nutricional del cultivo y la disponibilidad de nutrientes en el suelo (análisis de suelo, análisis foliar, productividad esperada). En la Tabla 9 se muestran los tratamientos y los elementos fertilizantes aplicados en promedio durante los años 2017, 2018 y 2019. Hay que aclarar que el ensayo duro hasta el 2020, pero para el análisis del rendimiento de aceite en los racimos se tuvo en cuenta 3 años porque el trabajo de análisis de racimo se hizo entre enero a diciembre del 2019.

Tabla 9. Fertilizantes aplicados (promedio de 3 años): en kg de nutriente y compuesto/ha

Tratamiento	Descripción	N	P_2O_5	K_2O	MgO	SiO_2	B_2O_3
1	0% de la DC (TA)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2	50% de la DC	99,6	11,8	220,6	34,1	1,7	7,2
3	100% de la DC (TC)	199,2	23,5	441,3	68,2	3,4	14,4
4	150% de la DC	298,8	35,3	661,9	102,2	5,1	21,6
5	200% de la DC	398,4	47,1	882,6	136,3	6,9	28,8

% DC: dosis comercial; TA: Testigo absoluto; TC: Testigo comercial

5.7 Análisis estadísticos.

Los datos resultantes del efecto de las diferentes dosis de fertilizantes sobre la producción de racimos y contenido de aceite fueron sometidos a análisis de varianza ANOVA y para verificar si existen diferencias entre las medias de los tratamientos, Prueba post hoc de Tukey ($p < 0,05$). Posteriormente, la asociación entre las diferentes variables fue verificada mediante análisis de correlación de Pearson y análisis de regresión. Los Análisis estadísticos se realizaron con los softwares R v. 3.02 (R Development Core Team 2015, disponible en www.r-project.org) e InfoStat en su versión libre.

6. RESULTADOS Y DISCUSION

Al analizar los resultados obtenidos se presentarán teniendo en cuenta en primer lugar los relacionados con la productividad, en segundo lugar, respecto al contenido de aceite.

6.1 Rendimiento de racimos de fruta fresca (RFF)

Con los datos obtenidos durante la evaluación del ensayo se realizó el ANOVA mostrando que en algunos casos hay diferencias estadísticas significativas (Tabla 10).

Tabla 10. Componentes de la producción durante el tiempo del ensayo.

Variable	Tratamiento	Periodo evaluado (año)
Peso promedio racimo	*	*
N° racimos/palma	NS	*
t ha^{-1}	*	*

*diferencia estadística significativa, NS: no significativo

La producción de RFF (t ha^{-1}) es el resultado de la interacción del peso de los racimos y el número de racimos por palma a través del tiempo. El ANOVA general muestra que el peso de los racimos de los diferentes tratamientos mostró que hay significancia ($p < 0,05$), de igual manera se presentaron diferencias estadísticas significativas entre los años del estudio. En cuanto al número de racimos, ni en el tiempo ni en los tratamientos se presentaron diferencias significativas; entre tanto la producción de RFF (t ha^{-1}) mostraron significancia tanto en tratamientos como en los periodos estudiados (años).

6.1.1 Peso medio de los racimos

En palma de aceite, uno de los componentes del rendimiento es el peso de los racimos. El peso medio de los racimos fue la variable que presentó diferencia estadística en los tratamientos estudiados (Tabla 11).

Tabla 11. Peso medio de racimo (kg) durante 48 meses, Cultivar Dami Las Flores.

Tratamiento	Año1	Año 2	Año 3	Año 4	Acum. promedio
1	13,56 ab	15,69 a	15,46 a	17,03 a	15,44 a
2	13,58 ab	15,86 a	16,51 b	17,98 b	15,99 b
3	13,88 b	16,33 b	16,81 b	19,37 c	16,60 d
4	13,40 a	15,78 a	17,01 bc	18,94 c	16,29 bc
5	13,38 a	16,05 ab	17,43 c	19,07 c	16,49 cd
C.V	12,39	10,72	13,68	16,87	14,24

Tratamientos con una letra común no son significativamente diferentes (p> 0,05).

En el primer año no hay una explicación clara del porque el tratamiento 1 que no recibió fertilizante y el tratamiento 2 (50% de la dosis) tuvieron un peso promedio superior al 4 y 5 que recibieron dosis mayores de fertilizantes, de todas maneras, no mostraron

diferencia significativa. La misma tendencia se observa en el año 2, pero exhibiendo un peso promedio superior en el tratamiento 3 (100% de la dosis de fertilizante) y 5 (200% de la dosis de fertilizante), posiblemente esto se debió a que el suelo tiene una buena reserva de nutrientes de manera natural y algunas trazas del fertilizante aplicado en los ciclos anteriores al inicio del ensayo; sin embargo, aunque no hubo diferencias significativas, los tratamientos 1 y 2 (sin fertilizante y 50% de la dosis comercial) siempre mostraron el menor peso. En el año 3, las diferencias son más notables; el tratamiento 1, es el de menor peso promedio seguido por el 2, 3 y 4, siendo superior el 5. Para el cuarto año del ensayo, el tratamiento 1 continúa siendo el de menor peso promedio y junto al tratamiento 2 son diferentes estadísticamente al 3, 4 y 5. El registro de los pesos promedios a lo largo del trabajo se muestran en la Figura 3 donde se puede apreciar que en el tratamiento 1 (sin fertilizante) se mantuvo en peso promedio similar a los demás tratamientos hasta alrededor del mes de septiembre del 2018 (24 meses después de iniciado el trabajo); en adelante, el peso promedio de este tratamiento y el tratamiento 2 empezaron a disminuir.

Esto indicaría que los nutrientes naturales del suelo (reserva), podrían estar disminuyendo paulatinamente debido a la extracción del cultivo y/o por falta de humedad que en época de sequía los nutrientes no logran estar disponibles. Hay que tener claro que en los tratamientos que se aplican los fertilizantes se hace en las épocas donde había una buena precipitación y por ende el suelo está húmedo. Los tratamientos que recibieron más fertilizante mantienen o incrementan el peso del racimo posiblemente por la reposición de los nutrientes a través de la fertilización.

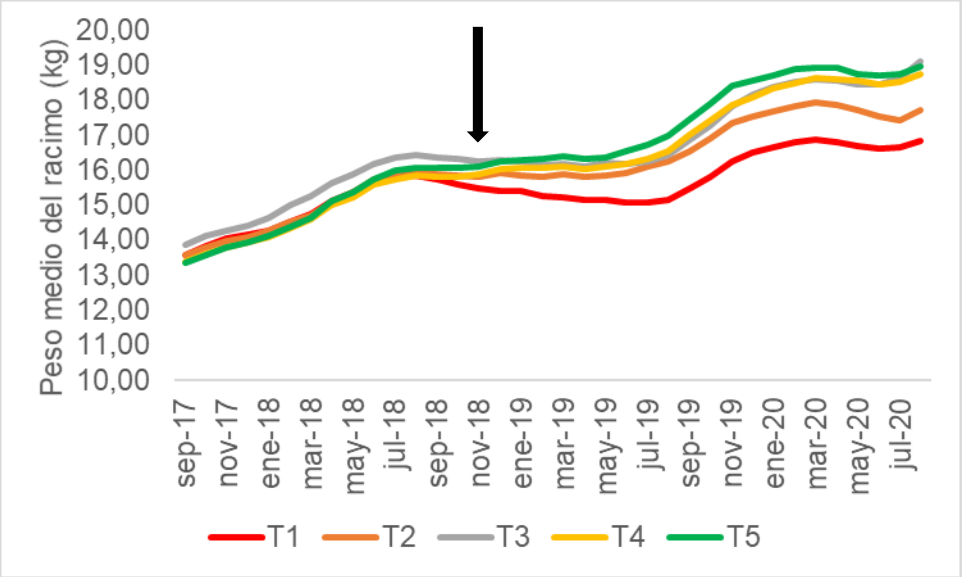


Figura 3. Peso medio de racimos últimos doce meses, Cultivar Dami Las Flores.

De acuerdo a Broekman, (1957) citado por Woittiez et al. (2017), el peso de los racimos depende de diferentes variables como el cultivar sembrado, el número de espiguillas y flores del racimo, el fruit set (proporción de frutos normales o bien polinizados sobre el total de posibles frutos), el peso de los frutos y el peso de otros componentes que no representan frutos como el pedúnculo y las raquillas o espiguillas. Según (Woittiez et al., 2017) todos los componentes del racimo están ligados a una mejor disponibilidad de asimilados. Es importante tener en cuenta que en los cultivos de palma de aceite los nutrientes del suelo son removidos por la cosecha, la acumulación en el estípite y otras estructuras vegetativas de la planta y por perdidas naturales como escorrentía y lixiviación; a su vez, algunos nutrientes son devueltos al suelo a través de las hojas podadas, las inflorescencias masculinas, aplicación de residuos de la planta de beneficio (raquis por ejemplo) y obviamente la aplicación de nutrientes a través de la fertilización que finalmente, permiten mantener un balance adecuado entre las salidas y entradas del sistema.

De acuerdo con Tohiruddin et al. (2006), citados por Woittiez et al. (2017), en ensayos realizados en otras partes del mundo, se ha encontrado diferentes respuestas a la aplicación de fertilizantes químicos (N, P, K, Mg, especialmente) y los resultados han sido variables dependiendo la zona o el suelo donde se encuentre el cultivo.

Cuando se analizó como fue el comportamiento del peso de los racimos en el ensayo a lo largo del tiempo (sin tener en cuenta los tratamientos como tal), se apreciaron diferencias estadísticas significativas entre años (Figura 4).

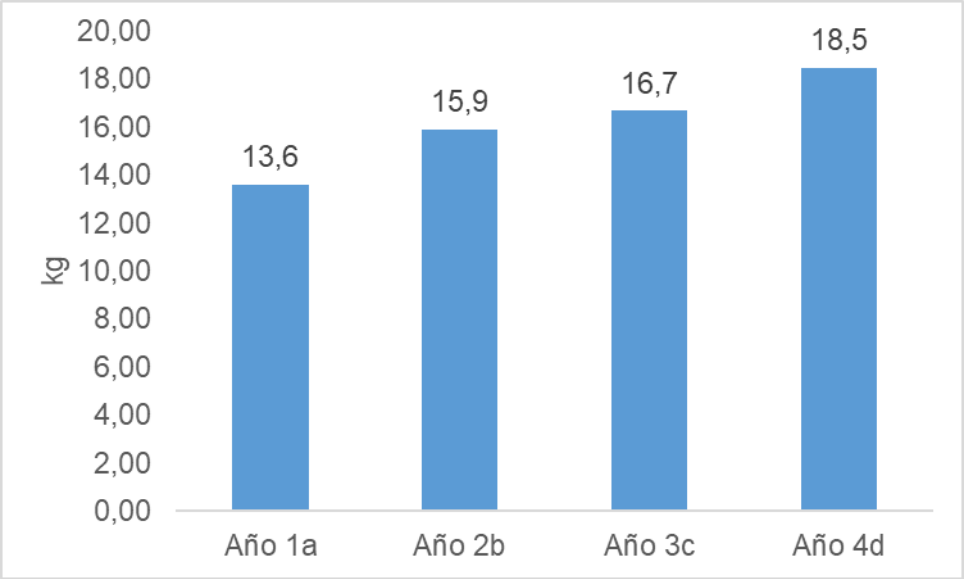


Figura 4. Peso promedio de los racimos entre los años estudiados, Cultivar Dami Las Flores

Tratamientos con una letra común no son significativamente diferentes (p> 0,05).

Estas diferencias en el peso promedio en los años estudiados son apenas naturales cuando se trata de palmas relativamente jóvenes (10 años). Al respecto, Woittiez et al. (2017), afirman que el peso de los racimos tiende a incrementarse con la edad de la palma, comenzando con pocos kilogramos en los primeros 2 o 3 años (3 a 5 kg) y terminan con 30 kg al final del ciclo productivo del cultivo. También es importante resaltar que el suelo donde se desarrolló el trabajo tiene buenos contenidos de nutrientes nativos. El incremento en el peso del racimo entre el año 1 al año 4, fue de 36%.

La Figura 5 ilustra que, el peso promedio de racimos se comportó de forma diferente en los años estudiados. El tratamiento 1 durante el segundo año, incrementó su peso hasta igualar a los demás tratamientos (con respecto al año 1); sin embargo, en el año 3, disminuyó al igual que los demás tratamientos. Probablemente esto se debió a variables ajenas al fertilizante, por ejemplo, la humedad del suelo (precipitación) que unido a la falta de fertilizante afectó más al tratamiento 1. Para el año 4 el mayor incremento en

el peso medio de racimos, se observó en el tratamiento 3 posiblemente por un mejor balance de nutrientes.

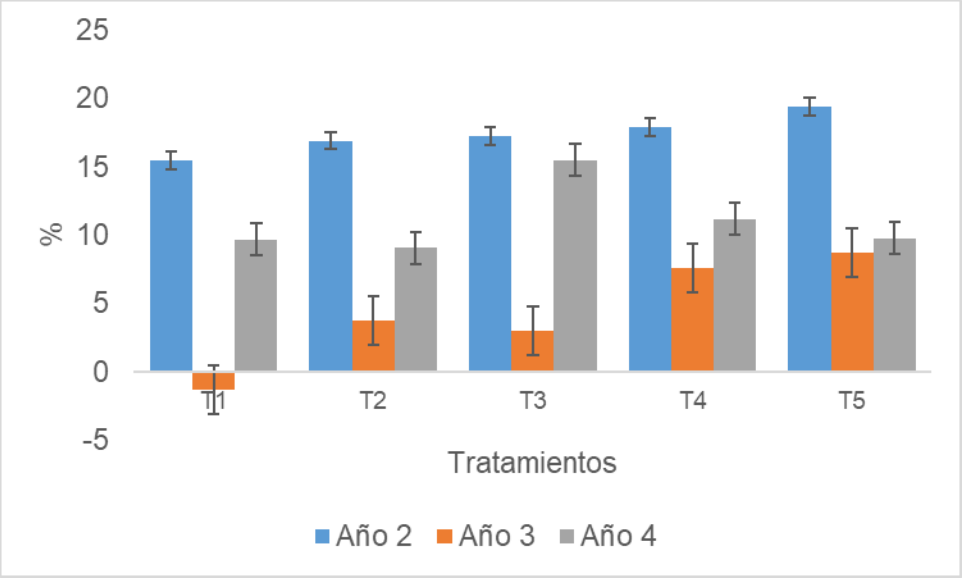


Figura 5. Incremento de peso de los racimos en los años estudiados, Cultivar Dami Las Flores.

6.1.2 Número de racimos por palma

El número de racimos en palma de aceite es otro componente de la producción del cultivo que, aunque está más relacionado con el agua (lluvia o riego) podría también ser influenciado por la nutrición que se les suministre a las plantas. Como se puede observar en la Tabla 9, durante los 4 años de trabajo no se presentaron diferencias significativas entre tratamientos lo que hace presumir que el fertilizante no tuvo influencia en la producción de éstos; el comportamiento mensual durante los cuatro años del trabajo, fue muy similar sin que se lleguen a presentar “picos” o “caídas” en la producción de los racimos por palma (Figura 6). Sin embargo, se apreció que entre los años del estudio (Tabla 12), hubo variación significativa estadísticamente, en todos los tratamientos probablemente debido a la precipitación que sucedió en los años anteriores (entre 28 a 30 meses antes de la cosecha).

Tabla 12. Número de racimos por palma durante 48 meses en Cultivar Dami Las Flores.

Tratamiento	Año1	Año 2	Año 3	Año 4
1	13,00 a	17,01 a	11,71 a	11,53 a
2	12,68 a	16,05 a	11,51 a	11,19 a
3	13,18 a	16,73 a	11,56 a	10,84 a
4	13,83 a	16,57 a	11,32 a	11,39 a
5	13,45 a	16,55 a	11,54 a	11,53 a
C.V	40,29	32,74	41,63	40,64

Tratamientos con una letra común no son significativamente diferentes (p> 0,05).

Aunque el C.V es amplio, el comportamiento es similar durante los años analizados. El que no se presentaran diferencias estadísticas significativas en el estudio coincide con trabajos efectuados por Mite, Carrillo, & Espinosa (2000) durante 6 años en la zona de Quevedo, Ecuador, donde evaluaron 5 dosis de fertilizante con las covariable riego y sin riego. En su trabajo encontraron que el número de racimos por palma no estuvo influenciado por la aplicación de fertilizantes cuando a las palmas no se les aplicó riego; sin embargo, en aquellas que tenían riego y fertilizante, el número de racimos aumentó significativamente. De igual manera, en las parcelas con riego, el número de racimos por palma fue similar en todos los tratamientos, inclusive en el testigo absoluto que no llevaba ningún tipo de fertilizante.

En la Figura 6 se muestra el comportamiento del número de racimos palma mensual en los diferentes tratamientos del estudio.

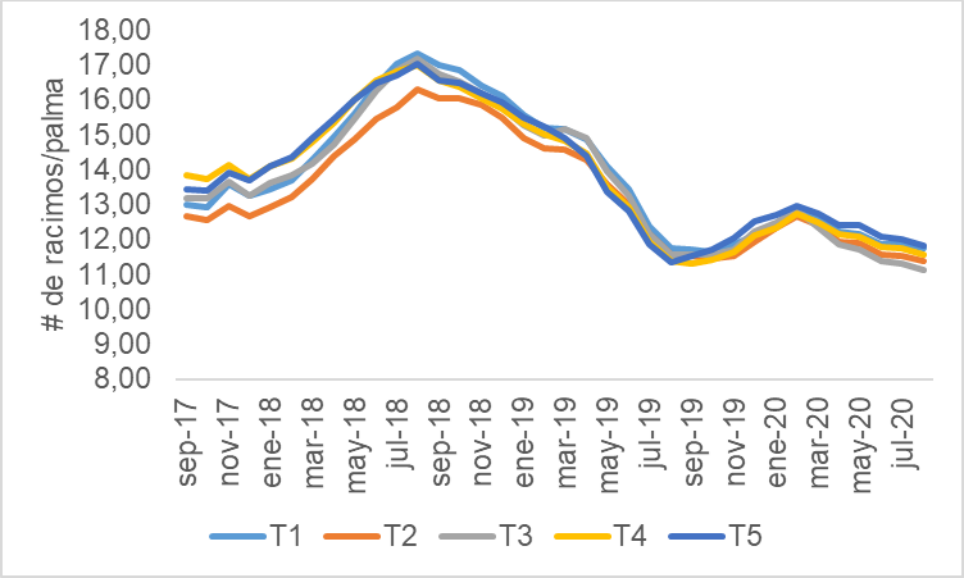


Figura 6. Número de racimos por palma últimos doce meses, Cultivar Dami Las Flores.

Las curvas de los diferentes tratamientos, mostraron un patrón similar en los años de evaluación del ensayo (sin diferencias estadísticas significativas) lo que hace presumir que no hubo influencia de la aplicación del fertilizante y la variación en el tiempo. La variación del número de racimos a través del tiempo en los tratamientos probablemente se debió a la precipitación que ocurrió 28 a 30 meses antes, es decir, al momento de la diferenciación sexual. El análisis de correlación entre precipitación y número de racimos por palma mostró asociación moderadamente fuerte negativa (R= -0,69; p<0,05), resultado que aparentemente es confuso ya que siempre se ha relacionado mayor número de racimos con mayor precipitación o riego adecuado y nutrición apropiada (Figura 7).

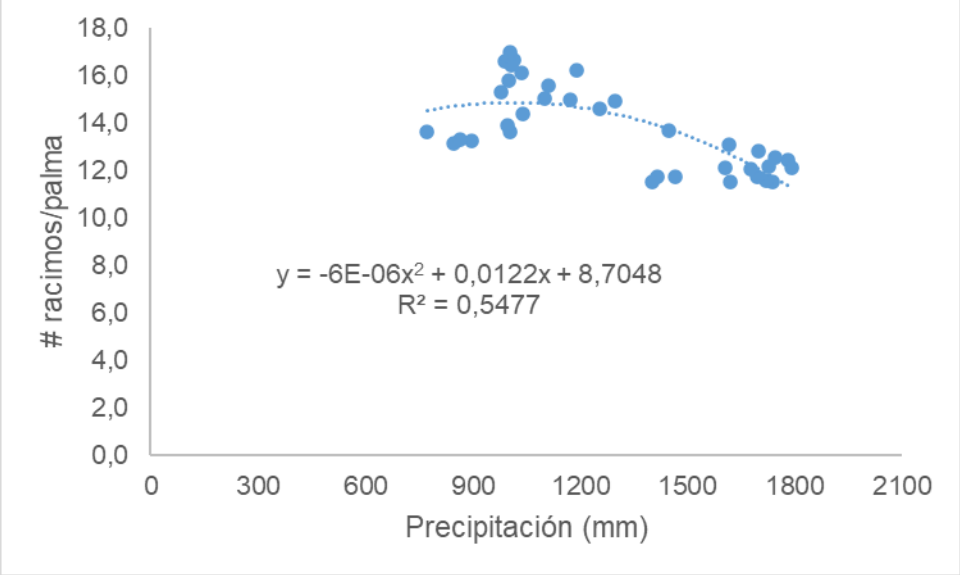


Figura 7. Número de racimos/palma vs. precipitación acumulada 28 meses antes de cosecha (etapa de diferenciación sexual).

Para entender la dinámica mostrada en la Figura 7, hay que explicar las etapas de desarrollo que se dan en la determinación del sexo en palma de aceite.

En condiciones favorables de desarrollo, la inflorescencia (masculina o femenina) inicia en la axila de cada hoja de la palma (Adam et al., 2011). La tasa de emergencia de hojas varía de acuerdo a la edad de la palma; en palmas jóvenes se puede emitir 3 hojas por mes y 2 hojas en palmas maduras, por lo tanto, si en la diferenciación sexual se forman inflorescencias femeninas, habrá más racimos. El desarrollo de una inflorescencia entre la

iniciación y la maduración de ésta conlleva varias etapas que pueden puede tardar entre dos a tres años independiente del sexo definido. Esto quiere decir, que la formación de los racimos en palma de aceite empieza mucho antes de que esté listo para ser cosechado. De acuerdo a Adam et al. (2011), la relación sexual en palma puede estar influenciada por aspectos genéticos y por factores ambientales. En este último aspecto la producción de flores masculinas puede ser influenciada por un stress hídrico.

En las Figuras 8 y 9 se muestra las etapas claves del desarrollo de las inflorescencias con relación a la aparición de las hojas y los meses que transcurren en las diferentes etapas.

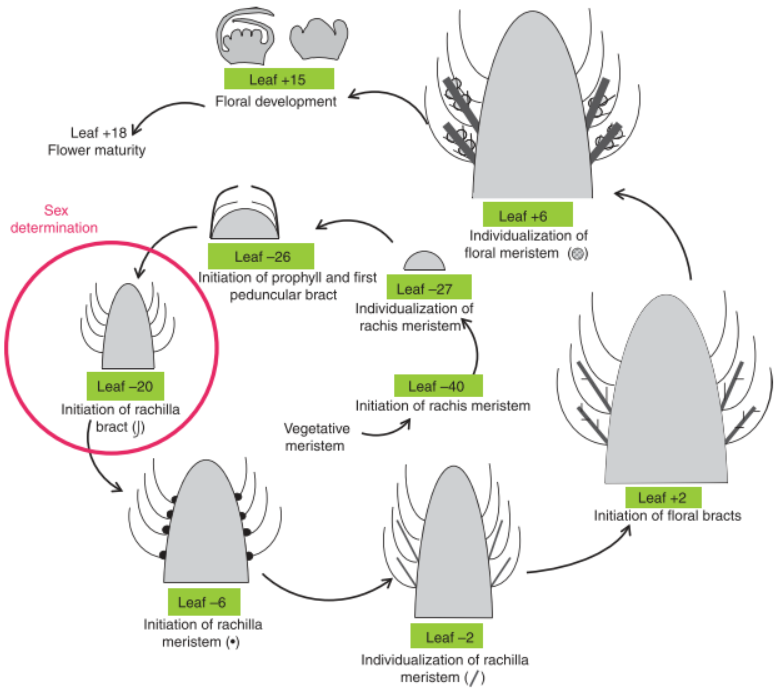


Figura 8. Etapas del desarrollo de las inflorescencias de acuerdo con la posición de la hoja en palma de aceite. Tomado de (Adam et al., 2011).

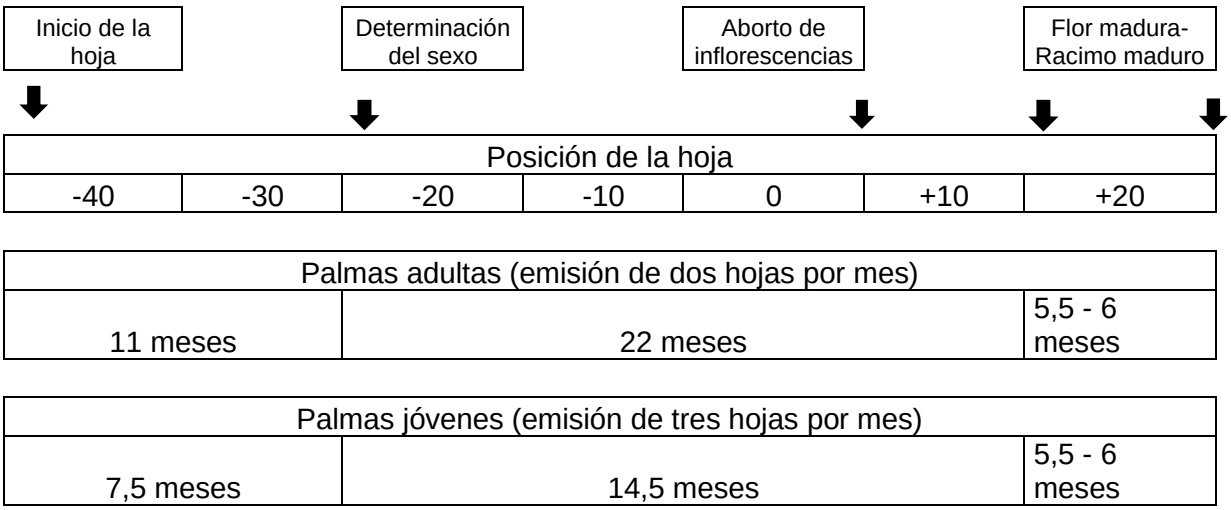


Figura 9. Desarrollo y determinación del sexo de la inflorescencia en relación con la edad de la palma. Adaptado de (Adam et al., 2011).

A partir de las ilustraciones, se puede inferir que el logro de un racimo maduro para cosecha comienza entre 38 a 39 meses previos al inicio o formación de la hoja y por ende, de una posible inflorescencia. En el mes 28 al 30 (antes de cosecha) ocurre la diferenciación sexual; si hay condiciones favorables, será una flor femenina, caso contrario será una flor masculina. Posteriormente (entre 9 a 11 meses antes de cosecha), se puede presentar el aborto de inflorescencias. Aparte del estrés hídrico, otro factor que puede influir en el aborto de las inflorescencias puede ser el corte excesivo de hojas (poda). El análisis mostró relación moderadamente fuerte ($R= 0,58$; $p<0,05$) entre la precipitación 9 meses antes de cosecha y los racimos cosechados (Figura 10).

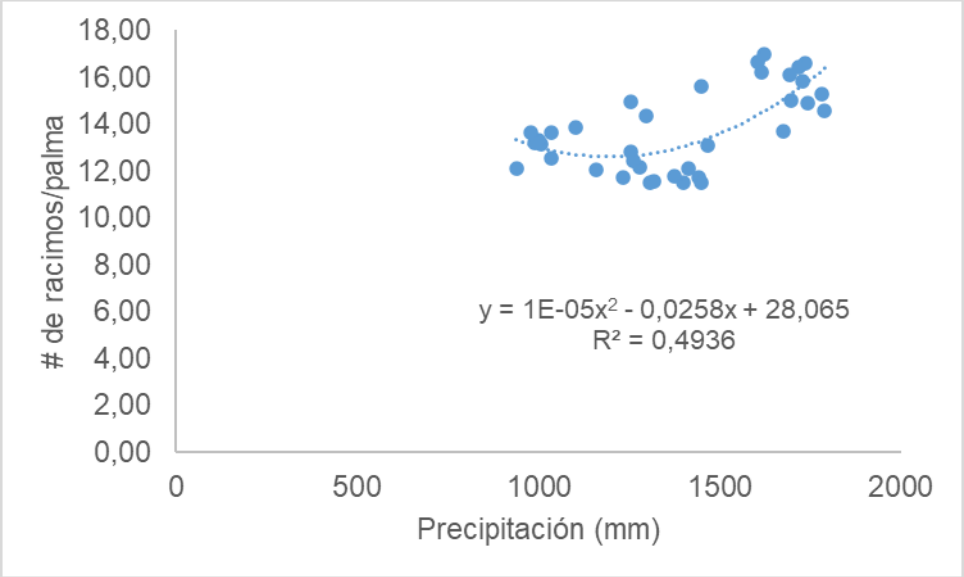


Figura 10. Número de racimos/palma vs. precipitación 9 meses antes de cosecha (etapa de aborto de inflorescencias).

En cuanto al número de racimos por palma entre los años del estudio, se presentaron diferencias significativas (Figura 11).

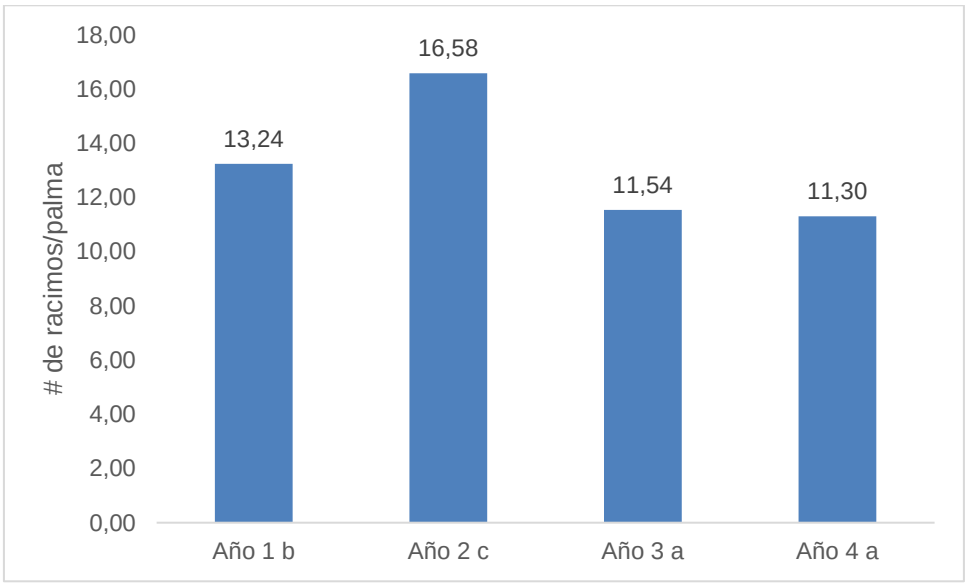


Figura 11. Número de racimos por palma obtenidos en el Cultivar Dami Las Flores, en cuatro años del estudio.

Tratamientos con una letra común no son significativamente diferentes (p> 0,05).

En el segundo año, se produjeron más racimos por palma, probablemente las condiciones de humedad, debidas no solo a la precipitación, sino también al riego, fueron las favorables al momento de la diferenciación sexual y/o al momento de determinar si hay o no hay abortos de racimos. Por el contrario, en el tercer y cuarto año, no se presentaron diferencias entre ellos, pero si lo hubo respecto a los años anteriores. Las razones pueden explicarse por el incremento en la edad de la palma (menos racimos, pero más grandes) o por que pudo presentarse mayor déficit hídrico en las etapas de diferenciación sexual, o bien, 9 a 11 meses antes de cosecha se presentó una tasa de abortos de mayor proporción.

El número de racimos en palma de aceite depende principalmente de la disponibilidad de agua durante las 3 fases claves de desarrollo (fase diferenciación sexual, tasa de abortos y malogro de racimos). Pero aparte de lo anterior, también depende de la edad del cultivo. De acuerdo con Rhebergen, Fairhurst, Giller, & Zingore (2019), el número de racimos por palma depende de la tasa de producción de hojas, que a su vez depende de las condiciones ambientales favorables o desfavorables para el cultivo. De igual manera (Sanjines, s.f.) afirma que quien determina la cantidad de racimos es la producción de hojas y que estas a su vez aumentan o disminuyen de acuerdo a la época en que se desarrolla el cultivo; la sequía reduce la producción de hojas y también retarda la apertura de estas, por lo tanto en este periodo el número de inflorescencias (masculinas o femeninas) disminuye.

6.1.3 Rendimiento (t ha^{-1}) de racimos de fruta fresca (RFF)

El rendimiento en palma de aceite se mide por los racimos producidos los cuales son el resultado de la interacción del número de racimos y el peso de estos. Tal como se describió anteriormente, el peso de los racimos fue diferente entre tratamientos, pero el número de racimos fue similar, pero sin llegar a ser iguales. El ANOVA sobre el rendimiento de RFF mostró diferencias estadísticas significativas entre tratamientos solamente al cuarto año del ensayo y también entre periodo de tiempo (años). En la Tabla 13 se presentan los resultados obtenidos en t ha^{-1} a lo largo del ensayo.

Tabla 13. Producción de RFF (t ha^{-1}), Cultivar Dami Las Flores, en cuatro años del estudio.

Tratamiento	Año1	Año 2	Año 3	Año 4	Acum. promedio
1	25,56 a	38,45 a	26,06 a	28,15 a	29,6 a
2	24,79 a	36,66 a	26,91 a	28,88 ab	29,3 a
3	26,49 a	39,39 a	27,89 a	29,96 ab	30,9 ab
4	26,75 a	37,59 a	27,62 a	31,09 ab	30,8 ab
5	26,09 a	38,31 a	28,86 a	31,95 b	31,3 b
C.V	44,26	37,07	44,73	44,72	42,32

Tratamientos con una letra común no son significativamente diferentes (p> 0,05).

Durante los tres primeros años del ensayo, no hubo diferencia significativa entre los tratamientos estudiados posiblemente, debido a que el suelo tiene una buena reserva de nutrientes y probablemente por los fertilizantes aplicados pre-ensayo lo que le da al suelo una capacidad buffer para mantener una producción de RFF aceptable. Además, se puede inferir que los fertilizantes aplicados en los tratamientos del trabajo podrían ser excesivos y no siempre asimilados por las plantas, por lo tanto, se pueden estar perdiendo por alguna razón o acumulándose en el suelo. En el cuarto año, se presentaron diferencias significativas entre el tratamiento 1 y el tratamiento 5, mas no con los tratamientos 2, 3 y 4. De igual manera, el tratamiento 5 fue superior pero no diferente estadísticamente de los tratamientos 2, 3 y 4. El menor desempeño del tratamiento 1 se debe, posiblemente, a que el suelo va perdiendo los nutrientes que tenía como reserva y al no ser repuestos, empiezan a afectar la producción. Los tratamientos 2, 3 y 4 estadísticamente son iguales, sin embargo, el tratamiento 2, presentó un rendimiento menor que los demás. En este mismo sentido, el tratamiento 5 fue el mejor en producción, probablemente por tener una reserva mayor de nutrientes en el suelo, debido a la cantidad de fertilizante que se le venía aplicando, pero posiblemente desde el punto de vista económico no es el mejor.

De igual manera, el ANOVA de la producción de RFF entre años del estudio mostró diferencias significativas (Figura 12).

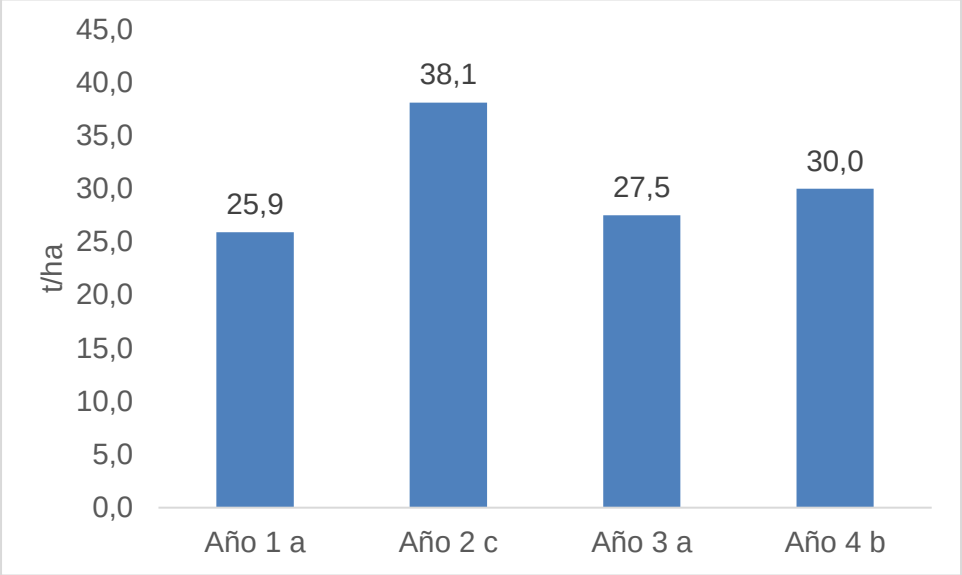


Figura 12. Rendimiento promedio RFF (t ha^{-1}) obtenido en el Cultivar Dami Las Flores en cuatro años de estudio.

Tratamientos con una letra común no son significativamente diferentes (p> 0,05).

Estos resultados están influenciados básicamente por el mayor número de racimos/palma en el año 2 (16,5 racimos/palma) si se compararan con los demás tratamientos que presentaron 13,2, 11,5 y 11,3 racimos/palma, respectivamente.

6.1.4 Resultados de los análisis de suelo

El ANOVA para los nutrientes entre los años que duró el estudio (Tabla 14) mostró diferencias significativas en las variables N, P, Ca y B. Mientras que, entre tratamientos, solo en algunos casos, se presentaron diferencias significativas entre los nutrientes evaluados (Tabla 15).

Tabla 14. Resumen del ANOVA de los nutrientes del suelo en el tiempo del ensayo, Agustín Codazzi.

Variable	Tratamiento	Periodo evaluado (año)
pH	*	NS
C.E	NS	NS
N	NS	*
P	NS	*
K	NS	NS
Mg	*	NS
Ca	NS	*
B	NS	*
Elementos menores (Cu, Zn, Fe, Mn)	NS	NS

* Diferencia estadística significativa, NS: no significativo

Tabla 15. Resumen ANOVA de los parámetros estudiados durante el ensayo, Agustín Codazzi.

Parámetros	Unidades	Muestreo inicial	T1	T2	T3	T4	T5
pH		7,46	7,40 b	7,33 ab	7,60 ab	**7,14 a**	**7,23 a**
Cond. eléctrica	dS/m	0,49	0,57 a	0,42 a	0,50 a	0,69 a	0,67 a
Nitrógeno	%	0,06	0,06 a	0,05 a	0,05 a	0,06 a	0,07 a
K	cmol(+)/kg	0,46	0,39 a	0,37 a	0,44 a	0,50 a	0,55 a
Mg	cmol(+)/kg	2,19	2,37 ab	2,26 b	2,26 ab	**2,23 a**	2,40 ab
Ca	cmol(+)/kg	12,92	14,29 a	13,92 a	14,05 a	14,00 a	15,59 a
P	mg/kg	134,14	192,95 a	164,83 a	165,98 a	193,55 a	211,75 a
B	mg/kg	0,79	0,50 a	0,68 a	0,94 a	0,73 a	1,03 a
Fe	mg/kg	14,94	14,08 a	11,86 a	11,71 a	15,37 a	13,28 a
Cu	mg/kg	1,31	1,40 a	1,30 a	1,24 a	1,48 a	1,29 a
Mn	mg/kg	49,87	52,17 a	48,54 a	41,59 a	49,07 a	49,46 a
Zn	mg/kg	1,87	3,53 a	1,98 a	1,89 a	2,08 a	2,48 a

Tratamientos con una letra común no son significativamente diferentes (Tukey p> 0,05).

6.1.4.1 pH del suelo

La reacción del suelo es una propiedad química que puede limitar la producción agrícola si no es corregida de manera adecuada (Lora, 2013), citado en Burbano (2013). La acidez de una solución se debe a la concentración de iones hidrogeno (H^+), denominándose potencial de hidrogeno (pH). De acuerdo con estos autores, el pH de los suelos puede ser de varios orígenes; materia orgánica, remoción de nutrientes por las

plantas, aplicación de fertilizantes a base de nitrógeno y azufre, presencia de aluminio intercambiable (Al^{3+}) y lluvia acida, entre otros.

Antes del inicio del ensayo (septiembre del 2016), el pH del suelo oscilaba entre 7,4 a 7,5. Al final del trabajo (junio 2020) se encontraron diferencias significativas entre tratamientos probablemente debido a la aplicación de fertilizantes; se puede apreciar que los valores más altos se dan en el tratamiento 1 (sin fertilizante) y el tratamiento 2 (50% de la dosis del fertilizante total). Posiblemente esta situación se presentó debido a que en los tratamientos 3, 4 y 5 durante los 4 años del trabajo recibieron cantidades importantes de fertilizantes a base de nitrógeno y azufre (sulfato de amonio principalmente). Según Lora, 2013, cuando se aplica este tipo de fertilizante se presenta hidrolisis produciendo NH^{+4} el cual genera acidez en el suelo. En el caso del tratamiento 1 que no recibió fertilizante, el pH del suelo permaneció constante debido a que no tuvo influencia de ninguna fuente externa de nutrientes.

Aunque el pH no tuvo diferencias significativas en el transcurso del ensayo, si mostró alguna variación de acuerdo con la época de muestreo (Figura 13).

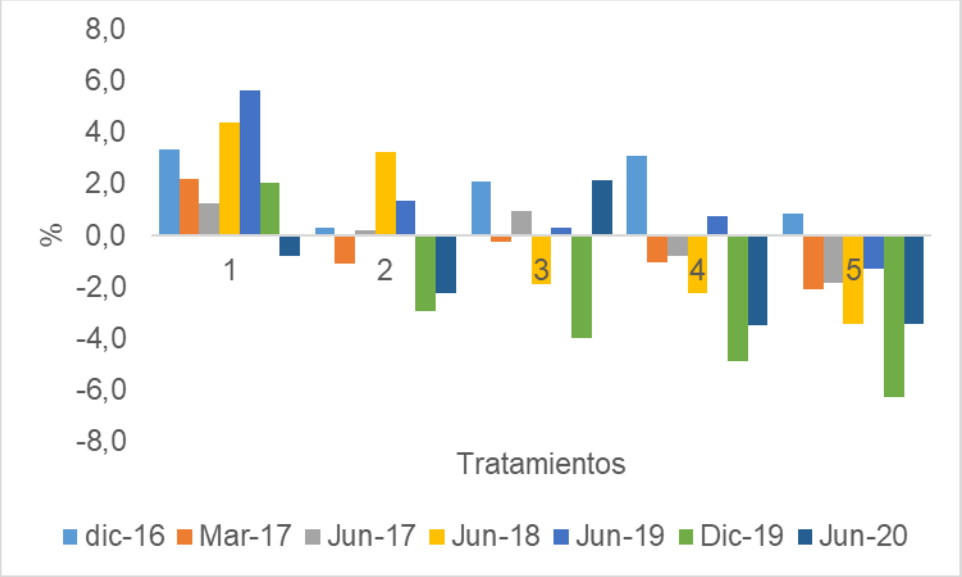


Figura 13. Porcentaje de variación del pH en el suelo respecto a la lectura inicial del ensayo.

El tratamiento 1 es el más estable (menos cambio en el tiempo) probablemente porque no hay aplicaciones de fertilizantes, en ese orden sigue el tratamiento 2 (50% de

fertilizante), en cambio en los demás tratamientos el pH viene descendiendo probablemente por los fertilizantes a base de sulfatos que se utilizaron como fuente de nitrógeno y magnesio.

6.1.4.2 Conductividad eléctrica del suelo

La conductividad eléctrica (CE) es una propiedad fisicoquímica del suelo que determina de alguna manera la fertilidad de este. La CE mide indirectamente el contenido de sales de un suelo. El contenido de sales de un suelo reducen o aumentan el potencial osmótico de la solución del suelo y por lo tanto se puede reducir la disponibilidad de agua y nutrientes para los cultivos, aun sin tener problemas de déficit hídrico (Intagri, 2017).

Normalmente, la salinidad es mayor en zonas áridas o en zonas donde las precipitaciones son muy bajas; obviamente también tiene que ver con otros factores como el origen del suelo, niveles freáticos altos, contenido de sales en el agua de riego, drenajes pobres, aplicación excesiva de fertilizantes y aplicaciones altas de compost a partir de residuos animales o vegetales (Intagri, 2017).

Aunque no hubo diferencias significativas en el contenido de sales a lo largo del ensayo, si se logró constatar que en los tratamientos 1 (sin fertilizante) y 2 (50% de fertilizante), la CE se mantuvo constante y con valores más bajos que el tratamiento 3, 4 y 5, probablemente debido a la aplicación de los fertilizantes. De acuerdo con Intagri (2017), un suelo salino generalmente acumula cationes (Na^+, K^+, Ca^{++} y Mg^{++}) y aniones (Cl^-, $SO4^{--}$, $HCO3^-$ y $CO3^{--}$). Hay que tener en cuenta que, en este trabajo, los fertilizantes aplicados fueron cloruro de potasio, sulfato de magnesio y sulfato de amonio que de alguna manera impactaron el suelo, de ahí que en los tratamientos 3, 4 y 5 presentaron mayor CE al final del ensayo, posiblemente por acumulación de nutrientes en el suelo y que no estuvieron disponibles para las plantas (Figura 14).

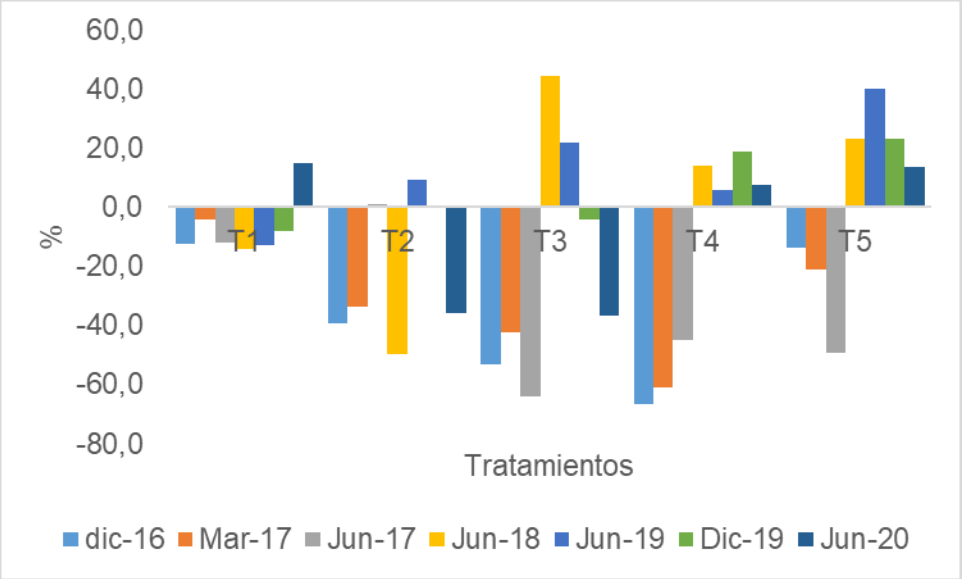


Figura 14. Porcentaje de variación de la CE en el suelo respecto a la lectura inicial del ensayo.

6.1.4.3 Nitrógeno del suelo

El nitrógeno se determinó para el ejercicio, a partir de la materia orgánica del suelo en cada uno de los tratamientos. No se encontraron diferencias significativas entre tratamientos probablemente porque la materia orgánica de este suelo no fue modificada (no se adicionó ningún tipo de enmienda vegetal o animal durante el ensayo). Lo único que se devolvió al suelo en todos los casos, y, a manera de reciclaje fueron las hojas de las palmas al momento de la cosecha o la poda de estas. El nitrógeno que se aplicó en los tratamientos 2, 3, 4 y 5 fue a partir de un fertilizante amoniacal que posiblemente no modificó su contenido edáfico.

6.1.4.4 Potasio del suelo

El potasio es un nutriente esencial para el desarrollo y metabolismo de los cultivos ya que tiene efectos en los procesos bioquímicos y fisiológicos de las plantas (Wang, Zheng, Shen, & Guo, 2013).

Aunque no hubo diferencias estadísticas significativas entre tratamientos en el contenido de potasio a lo largo del ensayo, se apreció que los tratamientos 1 y 2 mostraron mayor variación negativa en la concentración del elemento en comparación con los tratamientos 3, 4 y 5 que recibieron cantidades importantes de este nutriente. Es entendible

que haya una disminución de potasio en los tratamientos 1 y 2 ya que las cantidades de potasio aplicadas fueron 0 y 50% respecto al tratamiento estándar (T3) y, por lo tanto, hubo una extracción de éste por parte de la planta que de una u otra manera disminuyen el contenido en el suelo. En el tratamiento 1 el contenido de potasio al final del trabajo es menor comparado con el contenido inicial del suelo, sin embargo, la diferencia no es alarmante después de 4 años sin recibir fertilizante a base de este elemento, lo que de alguna manera explica por qué la productividad en este tratamiento no disminuyó ostensiblemente; sin embargo, pareciera que hay una tendencia al descenso de este elemento, lo cual puede ser perjudicial si se deja de aplicar durante muchos años.

De igual manera, en los tratamientos 3, 4 y 5 posiblemente se nota acumulación de este elemento en el suelo lo que podría indicar que se está aplicando un exceso de potasio que no está siendo consumido por la planta (porque no es necesario o por falta de humedad en el suelo en épocas secas) y, por lo tanto, puede haber acumulación del nutriente que puede resultar nociva para el cultivo. De acuerdo a León (2004), el cloruro de potasio tiene un índice de salinidad de 116,3 por lo tanto, aplicaciones excesivas de este nutriente pueden causar incrementos de la salinidad en el suelo causando detrimento en el desarrollo de los cultivos.

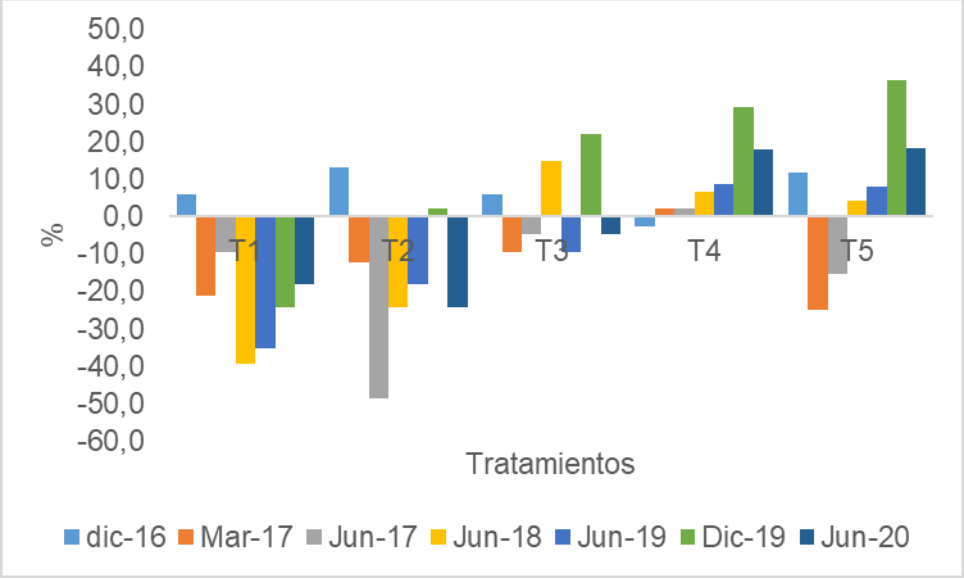


Figura 15. Porcentaje de variación del K en el suelo respecto a la lectura inicial del ensayo.

6.1.4.5 Magnesio del suelo

Se presentaron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos. El tratamiento 1, 3 y 5 fueron los que mantuvieron contenidos de este elemento por encima de los demás. El tratamiento 1 a pesar de no haber recibido ningún tipo de fertilizante a base de magnesio, al final del trabajo mostró los mayores contenidos posiblemente debido a que el suelo se encontraba en un equilibrio natural. Es importante anotar que el contenido del elemento en el suelo donde se desarrolló el trabajo, presentó niveles medios y, al no recibir tampoco fertilizantes a base de potasio y calcio, se mantuvo estable. No es claro porqué los tratamientos 2, y 4 presentan menores contenidos de magnesio a pesar de que se aplicaron dosis importantes de este elemento. Todo indicaría que la planta lo extrajo del suelo de manera eficiente, pero no se entiende por qué no sucedió lo mismo en los tratamientos 1, 3 y 5.

En cuanto a la época de muestreo en el transcurso del ensayo no se presentaron diferencias estadísticas significativas; sin embargo, algunos resultados en los tratamientos tuvieron variaciones entre si (Figura 16).

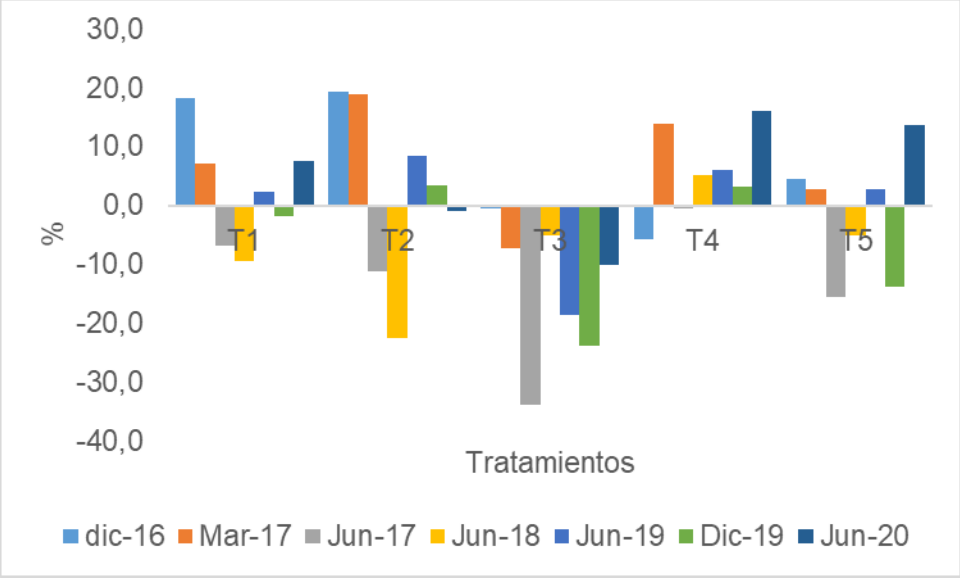


Figura 16. Porcentaje de variación del Mg en el suelo respecto a la lectura inicial del ensayo.

El tratamiento 3 (teóricamente el plan de nutrición equilibrado) es el que muestra un descenso del elemento en todas las épocas de muestreo en el suelo, a partir de lo cual

se podría inferir que las plantas lo están asimilando sin ningún inconveniente debido a la sinergia con los demás nutrientes. En los tratamientos 4 y 5 por el contrario, al final del ensayo se nota un incremento importante, posiblemente por que empieza a darse una acumulación en el suelo lo que indicaría que la aplicación es excesiva o la planta no lo puede asimilar por alguna razón.

6.1.4.6 Calcio del suelo

Los suelos donde se desarrolló el trabajo tienen alto contenido de calcio, y si bien, no hubo fertilización con ese elemento, al parecer se viene presentando acumulación de este nutriente, lo que indicaría que la absorción por parte de la planta es mínima o nula.

En los artículos sobre nutrición en palma de aceite, este elemento no está referenciado como requerido por el cultivo lo que confirmaría la poca movilidad de este a lo largo del trabajo. En este caso no existieron diferencias significativas entre tratamientos. Sin embargo, entre las épocas de muestreo se encontraron diferencias significativas, probablemente influenciado por los tratamientos 4 y 5 donde se nota que, a medida que pasaba el tiempo, el contenido del calcio en el suelo se incrementó, sin una aparente razón debido a que no se aplicó ningún fertilizante que tuviera este elemento. De igual manera se observa que en tratamiento 1 donde no se aplicó fertilizante, el Ca empezó a disminuir en algunas épocas del año y en otras se incrementó levemente (Figura 17).

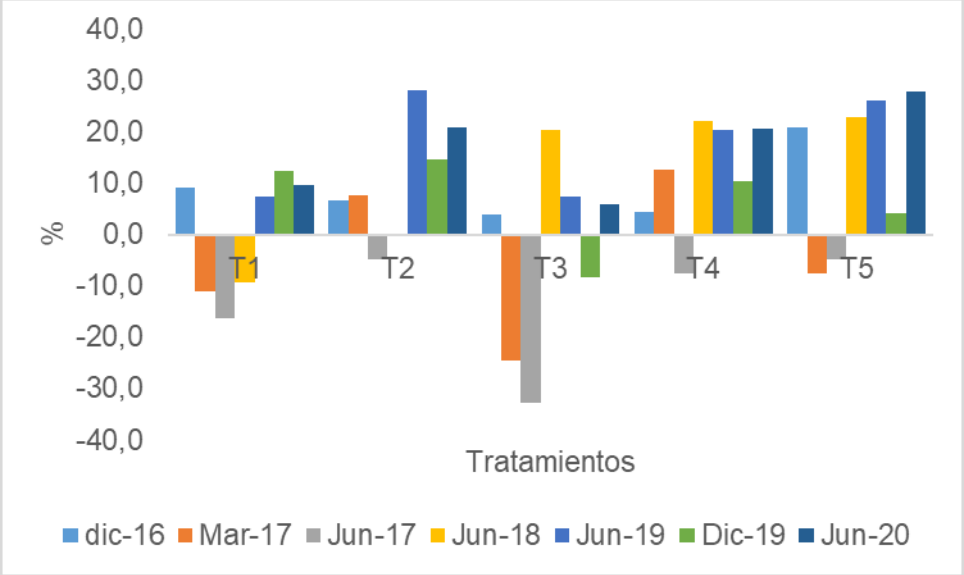


Figura 17. Porcentaje de variación del Ca en el suelo respecto a la lectura inicial del ensayo.

6.1.4.7 Fósforo del suelo

De acuerdo a Munévar (2001), se ha estimado que 15 a 20 mg/kg es un nivel aceptable como requerimiento de fósforo en palma de aceite. En los suelos donde se desarrolló el trabajo, los niveles en todos los tratamientos estuvieron por encima del nivel referenciado, por lo tanto, se puede considerar este elemento como suficiente. No obstante, aunque no hubo diferencias significativas entre tratamientos, se puede observar que los niveles más bajos se dan en el tratamiento 1 y 2. Hay que recordar que el tratamiento 1 no recibió ningún tipo de fertilizante durante los 4 años del ensayo y el tratamiento 2 solo recibió el 50% de la dosis de fertilizante del tratamiento 3 (tratamiento comercial).

Lo anterior ratifica que el requerimiento de este elemento por la palma de aceite es bajo, ya que en los tratamientos donde no se aplicó fertilizantes como fuente de fósforo el suelo conserva sus contenidos originales. Los tratamientos 3, 4 y 5 presentan los contenidos más altos porque aparte del contenido alto del suelo se hicieron aplicaciones de fertilizantes fosforados, de ahí la posible acumulación en el suelo. León, (2004) afirma que la palma de aceite es muy eficiente en el uso del fósforo posiblemente debido a la asociación que tienen las raíces del cultivo con las micorrizas nativas del suelo. Adicionalmente, debido a que el fósforo es más disponible en la solución del suelo, la aplicación de fertilizantes fosforados solubles tiene como función incrementar el contenido de este elemento y así las plantas puedan tomarlo de manera efectiva (Rahman, 2010).

En cuanto a las épocas de muestreo si se presentaron diferencias estadísticas significativas posiblemente debido a los incrementos en el suelo (probablemente originados por la aplicación excesiva de P) de los tratamientos 4 y 5 al final del ensayo (Figura 18).

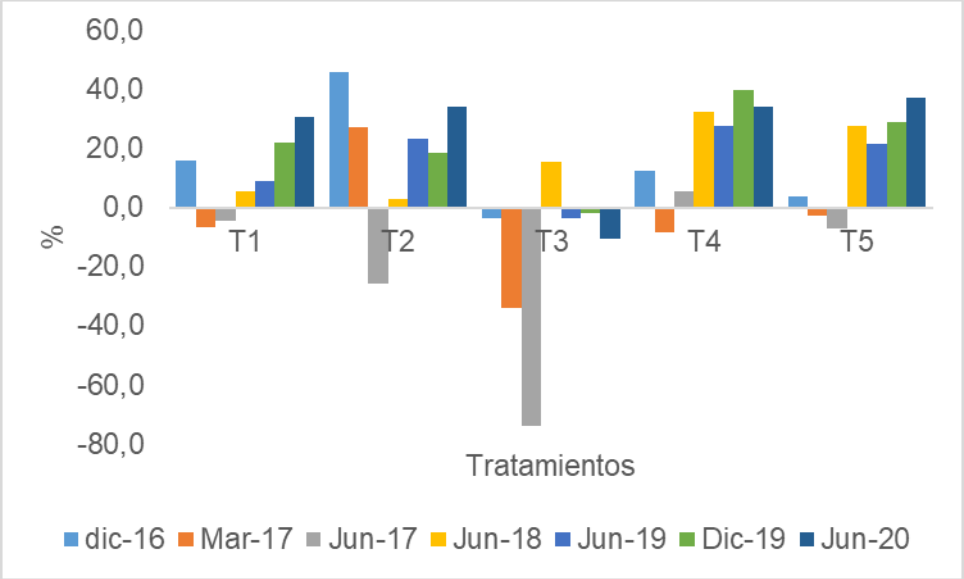


Figura 18. Porcentaje de variación del P en el suelo respecto a la lectura inicial del ensayo.

6.1.4.8 Boro del suelo

No hubo diferencias estadísticas significativas entre tratamientos; sin embargo, las concentraciones más bajas se presentaron en los tratamientos 1 y 2 que recibieron menos fertilizantes a base de boro. Hay que considerar que el suelo de manera natural tenía unos contenidos de boro altos ya que según Munévar, (2001) un contenido medio de boro en el suelo está entre 25 a 50 mg/kg por lo tanto este elemento se encontraba en niveles aceptables. Las concentraciones más altas de boro se presentaron en los tratamientos 3, 4 y 5 y en la medida que el ensayo avanzó, la acumulación de este elemento en el suelo, al cual la planta no logro acceder en su momento.

Aunque el boro en el suelo se encontró en niveles aceptables no siempre está disponible para las palmas. De acuerdo a Daroub y Snyder (2007), citados por Gutierrez & Torres (2013) el boro total en un suelo puede estar entre 2 a 200 mg/kg pero normalmente no es asimilable para la mayoría de los cultivos ya que la disponibilidad depende del pH, la textura y la materia orgánica del suelo.

Para las épocas de muestreo se presentaron diferencias estadísticas significativas ya que hubo una variabilidad en la concentración de este nutriente en el suelo, especialmente al inicio del ensayo y posteriormente al final del mimso (Figura 19).

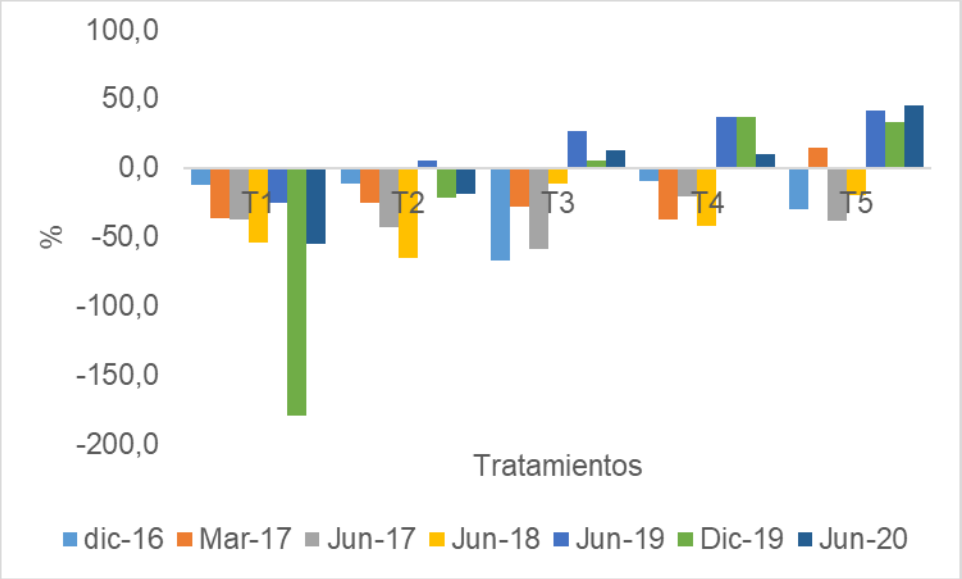


Figura 19. Porcentaje de variación del B en el suelo respecto a la lectura inicial del ensayo.

El tratamiento 1 durante todo el ensayo mostró tendencia a disminuir el contenido de B en el suelo debido a que estaba siendo extraído por el cultivo y este no se repuso a través de la fertilización, por lo tanto, se estaba dando un fenómeno de minería. De igual manera sucedió con el tratamiento 2, pero en menor proporción. En el caso de los tratamientos 3, 4 y 5 donde la aplicación de B se hizo a través de los fertilizantes, se logró ver una tendencia a la acumulación al final del ensayo, posiblemente porque la planta no era capaz de asimilarlo o su requerimiento es menor a lo que se estaba aplicando.

6.1.4.9 Elementos menores hierro, cobre, manganeso y zinc

El hierro, cobre, manganeso, y zinc son denominados “menores” debido a las cantidades pequeñas que necesitan los cultivos lo cual no les quita la característica de esenciales para el normal crecimiento de las plantas (Roca, Pazos, & Bech, 2007). En palma de aceite no es muy conocido el efecto que los mismos tengan impacto en el crecimiento y la productividad del cultivo; sin embargo, Barlett (1994) sugiere algunos valores de referencia para estos nutrientes. En el caso del zinc, en suelos tropicales un contenido aproximado es de 10 a 300 mg/kg, para el cobre es de 10 a 150 mg/kg, para hierro 5.000 a 50.000 mg/kg y para manganeso 2.000 a 3.000 mg/kg.

Estos rangos tan amplios no permiten tener claridad sobre la real necesidad del cultivo de palma de aceite, sobre todo que estos valores hacen referencia a los contenidos totales y no a los disponibles que por lo general son muy bajos y son influenciados por factores como pH alcalino, alta presencia de fosforo y calcio, carbonatos, mala aireación de los suelos etc.

Aparentemente en el estudio realizado, todos los microelementos se encontraban en niveles deficitarios en el suelo, sin embargo, no hubo diferencias estadísticas significativas entre los contenidos iniciales y los contenidos al final del ensayo. Sin embargo, en todos los casos los tratamientos 1 y 2 (con 0 fertilizante y el 50% del fertilizante) presentaron siempre los menores contenidos a lo largo del ensayo. Probablemente, los microelementos que requiere el cultivo son mínimos de ahí que durante los 4 años del estudio, se mantuvieron más o menos constantes, con ligeras variaciones, debido probablemente a la absorción de las plantas.

En cuanto a la época de muestreo (tiempo) se presentaron diferencias significativas (Tabla 16) lo que indicaría que los nutrientes están siendo tomados por las plantas ya que se presenta una dinámica variable a lo largo del ensayo.

Tabla 16. Concentración de elementos menores acorde a la época de muestreo, Agustín Codazzi.

Parámetro	Unidad	dic-16	Mar-17	Jun-17	Jun-18	Jun-19	Dic-19	Jun-20	C.V
Fe	mg/kg	18,63 bc	21,88 c	14,43 ab	13,49 ab	12,88 a	14,74 ab	13,26 a	16,51
Cu	mg/kg	1,35 a	1,67 b	1,09 a	1,3 a	1,13 a	1,25 a	1,34 a	10,78
Mn	mg/kg	54,78 bc	51,77 bc	49,93 bc	56,46 c	49,64 b	37,33 a	48,17 b	6,76
Zn	mg/kg	3,47 b	1,94 a	1,73 a	2,47 ab	2,49 ab	2,19 ab	2,39 ab	28,39

Tratamientos con una letra común no son significativamente diferentes (p> 0,05).

6.1.5 Resultados de los análisis foliares

El ANOVA encontró que solo en algunos casos se presentaron diferencias significativas entre los nutrientes de los diferentes tratamientos (Tabla 17), así como también en las épocas de muestreo.

Tabla 17. Resumen del ANOVA de los nutrientes foliares (hoja 17) en el tiempo del ensayo, Cultivar Dami Las Flores

Nutriente	Tratamiento	Periodo evaluado (trimestre)
N	*	*
P	NS	*
K	NS	*
Mg	*	*
Ca	NS	*
B	*	NS
Elementos menores (Cu, Zn, Fe, Mn)	NS	*

*Diferencia estadísticas significativas, NS: no significativo

En la Tabla 18 se muestran los resultados de los análisis foliares de acuerdo con los tratamientos estudiados durante 48 meses.

Tabla 18. Resultados de los análisis foliares (hoja 17) al final del ensayo, Cultivar Dami Las Flores

Nutriente	Unidades	T1	T2	T3	T4	T5	C.V
N	%	**2,31 a**	2,37 ab	2,5 b	2,44 ab	2,49 b	6,5
P	%	0,15 a	0,15 a	0,15 a	0,15 a	0,15 a	6,36
K	%	0,84 a	0,86 a	0,87 a	0,88 a	0,91 a	8,49
Mg	%	0,29 c	0,29 bc	0,28 bc	0,26 ab	**0,24 a**	10,51
Ca	%	0,8 a	0,76 a	0,76 a	0,78 a	0,77 a	9,19
B	mg/kg	**14,52 a**	20,05 b	23,61 bc	25,01 c	25,39 c	22,11
Fe	mg/kg	78,82 a	75,32 a	72,98 a	77,34 a	73,89 a	15,57
Cu	mg/kg	6,42 a	5,82 a	6,01 a	5,76 a	5,71 a	29,03
Mn	mg/kg	111,95 a	100,18 a	93,99 a	109,25 a	124,29 a	27,83
Zn	mg/kg	16,93 a	16,52 a	16,16 a	15,6 a	15,82 a	11,03

Tratamientos con una letra común no son significativamente diferentes (p> 0,05).

6.1.5.1 Nitrógeno foliar hoja 17

El tratamiento 1 (0 fertilizante durante todo el ensayo) como era de esperarse, fue el de menor concentración al final del trabajo y es diferente estadísticamente del tratamiento 3 y 5 que tuvieron concentración mayor. La menor concentración del tratamiento 1, probablemente se debe a que la reserva natural de este elemento en el suelo empieza a agotarse a medida que pasa el tiempo, por lo tanto, llegará el momento que su disponibilidad sea tan baja que afectará el rendimiento del cultivo. El tratamiento 2 presentó niveles por debajo de los tratamientos 3, 4 y 5 pero sin diferencia con el tratamiento 4 que recibía más fertilizante. La concentración mayor de este nutriente a nivel

foliar se presenta en el tratamiento 5 pero no es diferente estadísticamente del tratamiento 3, a pesar de que el tratamiento correspondía al doble de aplicación de fertilizante que el tratamiento 3. Esto podría significar que mucho del N aplicado se puede estar perdiendo o que la planta no toma más de lo que necesita para cumplir sus procesos productivos. Según Santacruz et al. (2004), un nivel adecuado de nitrógeno en la hoja 17 debe ser de 2,6%; sin embargo, en el presente estudio solo en contadas ocasiones se logró llegar a este nivel, ni siquiera en los tratamientos que tenían 50% y 100% más del fertilizante requerido.

En cuanto a la época de muestreo, si se presentaron diferencias significativas. Si bien los nutrientes foliares no tienen gran variabilidad, en determinadas épocas tienden a subir o bajar de acuerdo a las condiciones climáticas (Santacruz et al., 2004). En este caso, los niveles de N subieron o bajaron en todos los tratamientos de acuerdo con esta condición (Figura 20). Estas variaciones entre periodos pueden ayudar a determinar cuál es la mejor época para tomar los análisis foliares.

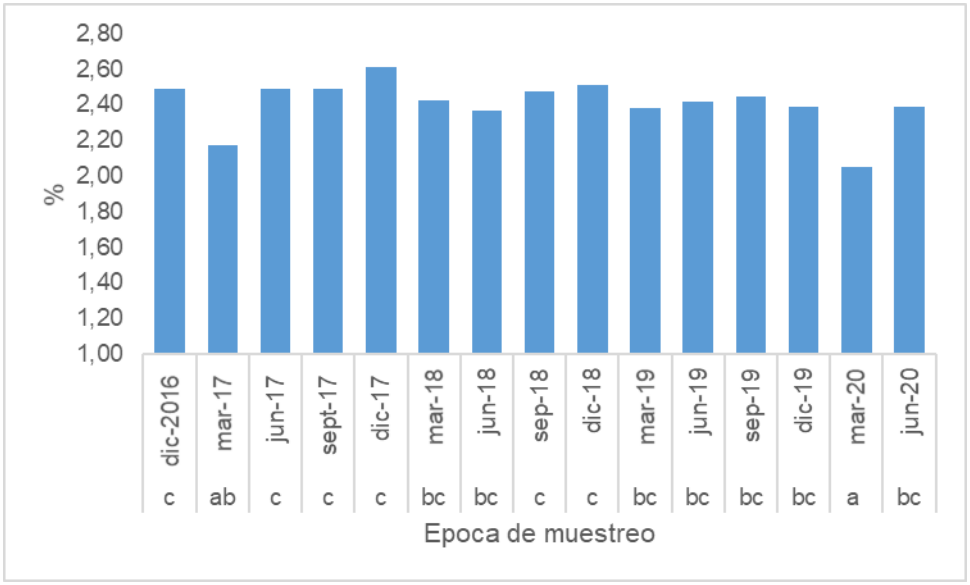


Figura 20. % de N foliar (hoja 17) de acuerdo con la época de muestreo, Cultivar Dami Las Flores.

Tratamientos con una letra común no son significativamente diferentes (p> 0,05).

Se apreció alta variación del contenido foliar de N a través de las épocas de muestreo (cada tres meses) notándose que la menor concentración se presentó durante

marzo del 2017 y marzo del 2020 (periodos muy secos). Aunque los meses de diciembre de cada año suelen ser de poca lluvia, el hecho de estar precedidos de meses muy lluviosos (septiembre y octubre) permiten inferir que los niveles foliares no sean tan bajos. Los meses de transición (junio y septiembre) pueden ser moderadamente secos o estar acompañados de precipitaciones altas y por lo tanto en estos meses la concentración de este nutriente puede ser muy variable.

6.1.5.2 Fósforo foliar hoja 17

No se encontraron diferencias significativas entre tratamientos. De acuerdo con Oberthur et al. (2013), el P es un elemento que requiere la palma en menores cantidades comparados con nitrógeno y potasio. Los contenidos foliares del ensayo son muy similares debido a que el suelo donde se está desarrollando la palma tienen altos contenidos de P (no necesariamente disponible debido al alto pH del suelo) y por lo tanto, se podría interpretar la no necesidad de aplicar fertilizantes a base de P en este tipo de suelo.

Es importante resaltar que muchos de los estudios buscando respuesta de la palma a las aplicaciones de P, se han realizado en suelos con deficiencias de este elemento. De acuerdo con Casierra et al. (2008), citado por Rivera, Moreno, Herrera, & Romero (2016), el 81% de los suelos tropicales de América son de naturaleza acida y por lo tanto, la disponibilidad de P en el suelo es relativamente baja.

En el caso del actual estudio, la concentración del P en suelo es mayor (120 a 150 mg/kg) al nivel crítico determinado para palma (15 a 20 mg/kg), de ahí que la respuesta a la aplicación de fertilizantes fosforados tenga muy baja respuesta. Según (Barlett, 1994), cuando la palma de aceite se encuentra en suelos con bajo contenido de fósforo (<5 mg/kg) tiene una alta respuesta a la fertilización con P, en suelos con moderado contenido de P (10 a 15 mg/kg) la respuesta puede ser baja a mediana y suelos con altos contenidos de P (> 20 mg/kg) la respuesta puede ser muy baja a nula.

Sin embargo, aunque las concentraciones foliares fueron similares estadísticamente entre tratamientos, en las épocas de muestreo si presentaron diferencias estadísticas significativas (Figura 21).

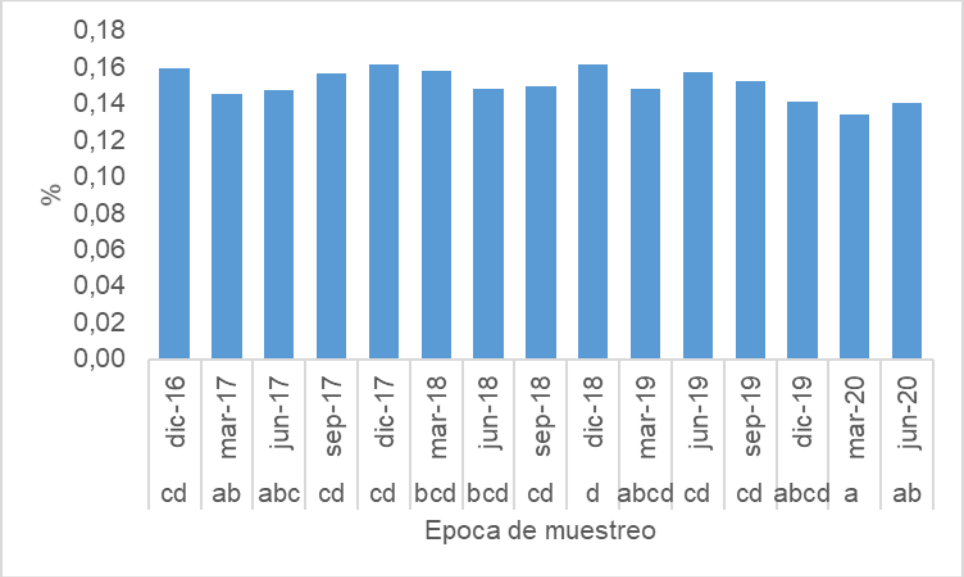


Figura 21. % de P foliar (hoja 17) de acuerdo con la época de muestreo, Cultivar Dami Las Flores.

Tratamientos con una letra común no son significativamente diferentes (p> 0,05).

Las concentraciones foliares más altas ocurrieron en los meses de diciembre y septiembre de cada año, lo cual, puede ser debido a que la fecha de muestreo viene precedida de meses de mayor lluvia en la zona (para diciembre) y un mes relativamente lluvioso en el segundo caso. De otra parte, los valores más bajos se presentaron en los meses de marzo y junio que normalmente suele ser época seca en el primero y de transición en el segundo.

6.1.5.3 Potasio foliar hoja 17

No se presentaron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos, a pesar de que en algunos de estos se aplicaron altas dosis de fertilizantes que lo contenían. Durante todo el ensayo los tratamientos 2,3 4 y 5 tuvieron como fuente de K, el cloruro de potasio. Las concentraciones más altas a nivel foliar de K se presentaron en los tratamientos T5, T4, T3, T2 (en ese orden respectivo) pero no fueron diferentes estadísticamente del tratamiento 1 que no recibió ningún fertilizante durante los 4 años del trabajo. Se piensa que en el tratamiento 1, el aporte de K a la planta se dio por la reserva natural del suelo que se encuentra en niveles aceptables y que tampoco cambió a lo largo del ensayo. En los casos de los tratamientos 3, 4 y 5, la concentración es más alta, pero a

pesar de las altas dosis aplicadas nunca se logró la concentración foliar “adecuada”. Según (Munévar, 2001), en palmas adultas, la concentración foliar de K en la hoja 17 debería ser de 1,08 a 1,19 %.

Los resultados obtenidos entonces llaman a la reflexión, en el sentido de que, los niveles críticos para este nutriente deben ser obtenidos para cada sitio y cultivar donde se desarrollen las palmas. Al menos durante los 4 años del trabajo, la producción de racimos máxima se logró con concentraciones foliares de 0,87 a 0,91 %.

De todas maneras, a lo largo del trabajo se presentaron diferencias significativas en la época de muestreo foliar tal como se aprecia en la Figura 22.

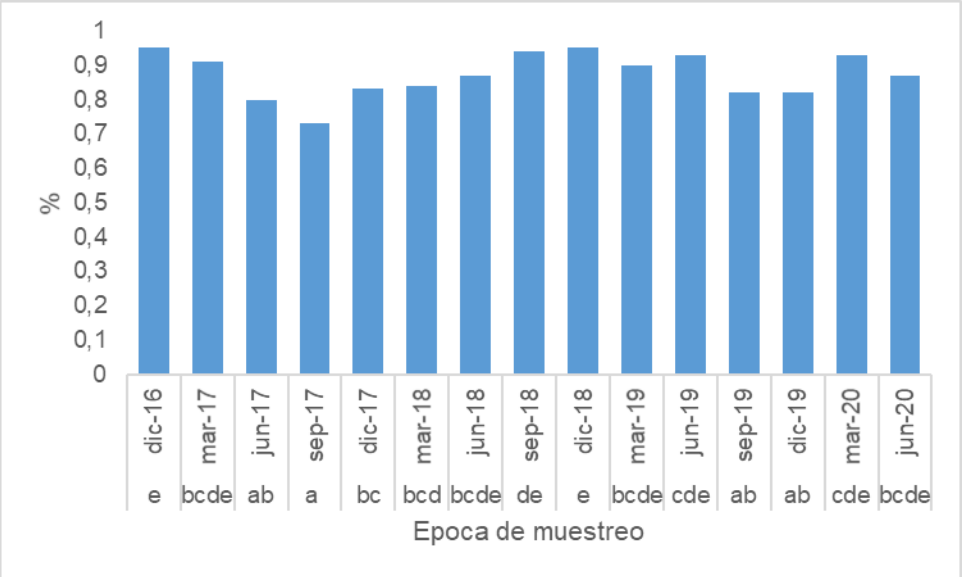


Figura 22. % de K foliar (hoja 17) de acuerdo con la época de muestreo, Cultivar Dami Las Flores.

Tratamientos con una letra común no son significativamente diferentes (p> 0,05).

Para este elemento se da una gran variabilidad en los tiempos de muestreo sin que haya un patrón muy claro. Por ejemplo, las concentraciones más bajas de K se presentaron en algunos casos en las épocas donde la precipitación es mayor (septiembre 2017 y 2019); sin embargo, en septiembre del 2018, el % de K foliar fue uno de los más altos. Esto podría obedecer también a la producción de RFF que se presenta en los diferentes periodos del año y que será analizado más adelante.

6.1.5.4 Magnesio foliar hoja 17

Se encontraron diferencias estadísticas significativas entre tratamientos. Es contradictorio lo encontrado (al igual que lo que pasó en el suelo), ya que los tratamientos que presentan mayor concentración de este elemento a nivel foliar son el T1 y T2; el primero no recibió fertilizantes a base de Mg durante los 4 años del estudio y el segundo solo el 50% del tratamiento estándar (T3). Los tratamientos 4 y 5 que recibieron una dosis mayor de este nutriente, son los que presentan los porcentajes más bajos. No es fácil encontrar la explicación a esta situación debido a que en estos tratamientos se aplicó una dosis alta de Mg; tal vez obedezca a que existió un antagonismo en el suelo entre este nutriente con el Ca y el K, ya que este último también se aplicó en cantidades importantes en estos tratamientos.

De igual manera se presentaron diferencias significativas para la época de muestreo tal como se observa en el Figura 23.

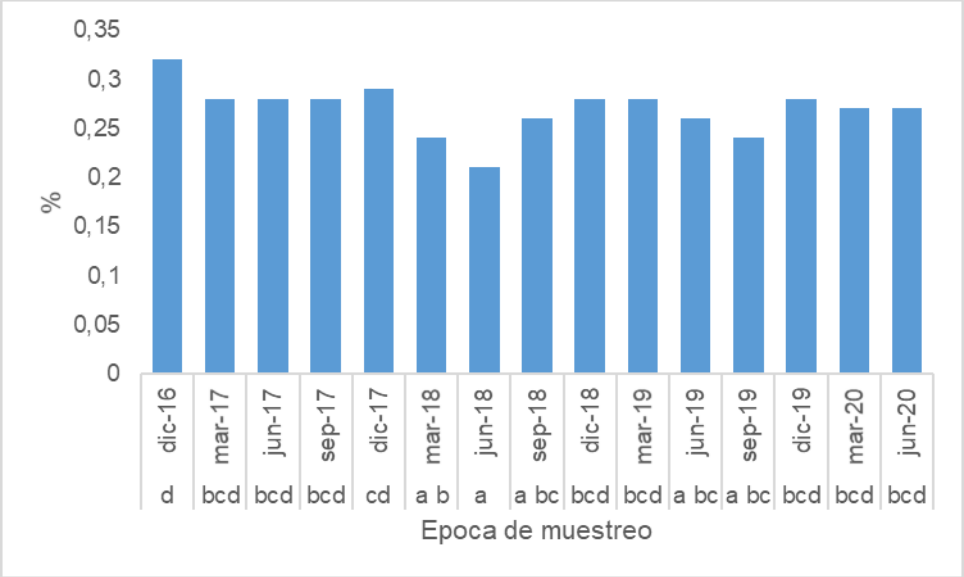


Figura 23. % de Mg foliar (hoja 17) de acuerdo con la época de muestreo, Cultivar Dami Las Flores.

Tratamientos con una letra común no son significativamente diferentes (p> 0,05).

Los valores más bajos de Mg se encontraron en los meses de marzo, junio y septiembre del 2018, en los demás años, los valores en estos meses fueron de mayor concentración, a pesar de que el C.V no fue tan grande (10,51).

6.1.5.5 Calcio foliar hoja 17

No presentó diferencias estadísticas significativas a nivel foliar. Aunque no se hicieron aplicaciones de este nutriente, las concentraciones a nivel foliar fueron altas considerando que un nivel adecuado para este elemento es de 0,59 a 0,64% (Munévar, 2001). Los valores durante todo el tiempo que duró el ensayo estuvieron por encima de 0,65%, probablemente el Ca encontrado en las hojas pudo provenir del suelo donde se encuentra el cultivo. Hay que tener en cuenta que el calcio del suelo se mantuvo en concentraciones por encima de 12,80 cmol(+)/kg, valor muy alto, comparado con otras bases como K y Mg.

Al igual que el fósforo, los niveles adecuados a nivel foliar de este elemento se determinaron en suelos de naturaleza ácida, donde los niveles de Ca son bajos o deficientes que inclusive permiten hacer aplicaciones de enmiendas para mejorar los niveles en el suelo, probablemente en estas circunstancias habrá una mayor respuesta a nivel foliar ante las aplicaciones de estos fertilizantes. En el caso del presente estudio, el calcio foliar se incrementó de manera natural.

En cuanto a la época de muestreo, si se presentaron diferencias significativas, probablemente influenciadas por las condiciones de precipitación (Figura 24).

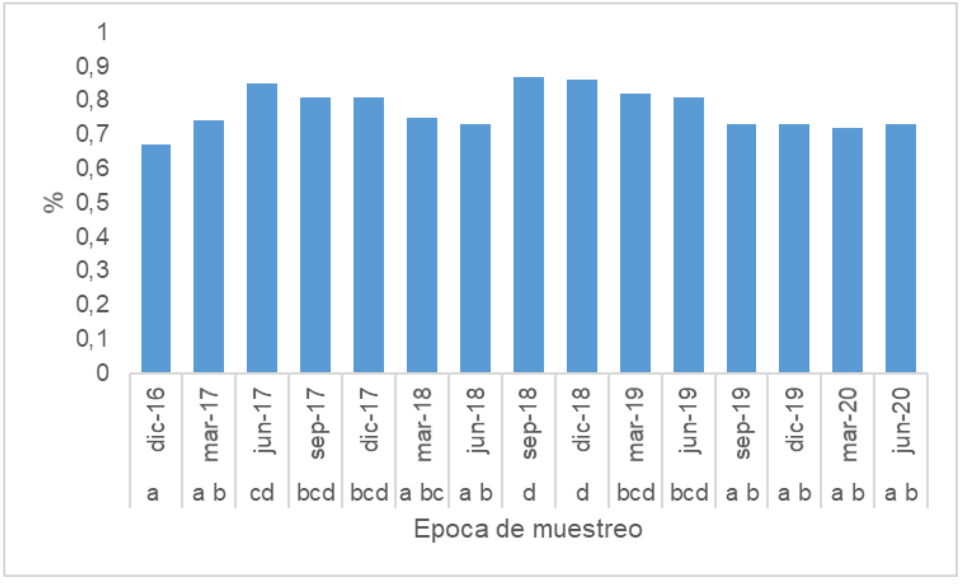


Figura 24. % de Ca foliar (hoja 17) de acuerdo con la época de muestreo, Cultivar Dami Las Flores.

Tratamientos con una letra común no son significativamente diferentes (p> 0,05).

Sin embargo, al analizar la dinámica de este elemento en el tiempo, se puede ver que no hay un patrón definido, las concentraciones suben o bajan indiscriminadamente en cualquier época del año. Posiblemente este movimiento tenga que ver más con la demanda para producir RFF en determinadas épocas del año, lo cual se analizara más adelante.

6.1.5.6 Boro foliar hoja 17

Para este nutriente existen diferencias significativas entre tratamientos. Como era de esperarse, el tratamiento 1 que no recibió fertilizantes a base de este elemento fue diferente a todos los demás, con una concentración muy baja si se compara con el nivel adecuado de 16 a 17 mg kg^{-1} reportado por Munévar (2001). El C.V (22,11) fue un poco amplio lo que no permite tener claro cuál es el nivel adecuado para tener una producción de RFF aceptable. Los tratamientos 2 y 3 no exhibieron diferencias significativas a pesar de que el nivel foliar de B fue de 20,05 y 23,61 mg kg^{-1}, respectivamente. De igual manera el tratamiento 3, no fue diferente del 4 y 5 a pesar de que la dosis de fertilizante fue el 50% y 100% más que el tratamiento estándar (T3). Esto podría indicar que todo el fertilizante aplicado no es aprovechado por las plantas y el mismo empieza a cumularse en el suelo.

El B fue el único nutriente que no presentó diferencias significativas respecto a la época de muestreo a pesar de la alta variabilidad (C.V=25,93) (Figura 25).

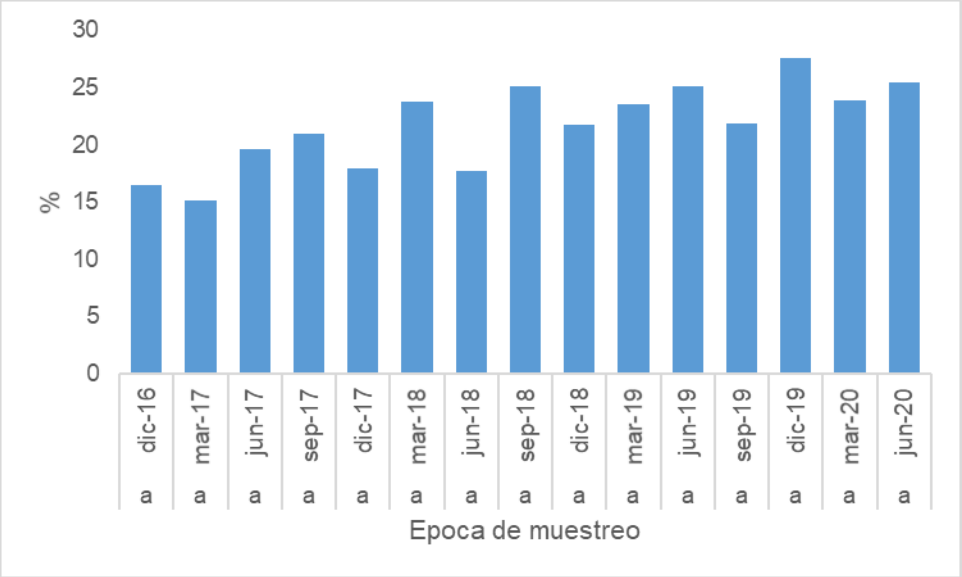


Figura 25. mg/kg de B foliar (hoja 17) de acuerdo con la época de muestreo, Cultivar Dami Las Flores.

Tratamientos con una letra común no son significativamente diferentes (p> 0,05).

6.1.5.7 Elementos menores (Fe, Cu, Mn y Zn) foliar hoja 17

Para estos microelementos no se presentaron diferencias estadísticas significativas. Hay que aclarar que, en el trabajo de investigación realizado, ninguno de los tratamientos llevaba en su dosificación al menos una mínima parte de los elementos menores, lo cual hace pensar que las concentraciones encontradas a nivel foliar son el resultado de la absorción de estos a partir del suelo.

6.1.6 Interacción nutrientes foliares- materia seca foliar

De acuerdo con Acosta (2010), en el follaje de las palmas se almacenan a manera de reserva los nutrientes que la palma toma del suelo y de los fertilizantes aplicados, por lo tanto, el tamaño, peso y numero de hojas tiene implicaciones al momento de hacer un balance de masa.

Es importante resaltar que para lograr la interacción de los nutrientes foliares con la materia seca foliar, se deben hacer mediciones del dosel de la palma y generalmente en palma adulta se realizan en la hoja 17.

En la Tabla 19 se muestra el ANOVA para las medidas vegetativas (las relevantes) al final del ensayo donde se involucran las medidas tomadas en el 2018, 2019 y 2020. Durante el primer año no se hicieron mediciones.

Tabla19. ANOVA para medidas vegetativas hoja 17, Cultivar Dami Las Flores

Variable	**T1**	**T2**	**T3**	**T4**	**T5**	**C.V**
Peso seco foliar (kg)	131 a	136 a	135 a	151 b	151 b	22,8
Área foliar (m^2)	338 a	346 ab	347 ab	378 b	371 ab	22,6
Índice de área foliar (IAF)	4,84 a	4,96 ab	4,97 ab	5,41 b	5,31 ab	22,6

Tratamientos con una letra común no son significativamente diferentes (p> 0,05).

Se observa que hubo diferencias significativas entre los tratamientos 1, 2 y 3 vs. los tratamientos 4 y 5 respecto al peso seco de las hojas. Esto se debió a que en los tratamientos 4 y 5, que recibieron una dosis de fertilizante mayor que los otros, el tamaño de las hojas fue más grande, lo cual se corrobora con la diferencia estadística entre tratamientos para el área foliar. El área foliar del tratamiento 1 fue menor que los tratamientos 4 y 5 (e inclusive con el 2 y el 3 sin llegar a ser significativa la diferencia) lo que hace presumir que a medida que pasa el tiempo, este tratamiento comienza a afectarse en todos sus procesos de crecimiento. Por obvias razones, al tener menos área foliar, también el IAF es más bajo.

Es importante observar que estos cambios a nivel vegetativo tardan un determinado tiempo en hacerse visibles, por lo tanto, la disminución de algunas variables vegetativas puede conducir a una pérdida de producción de RFF. En las Figuras 26 y 27 se muestra la evolución de las variables peso seco y área foliar de acuerdo con los años.

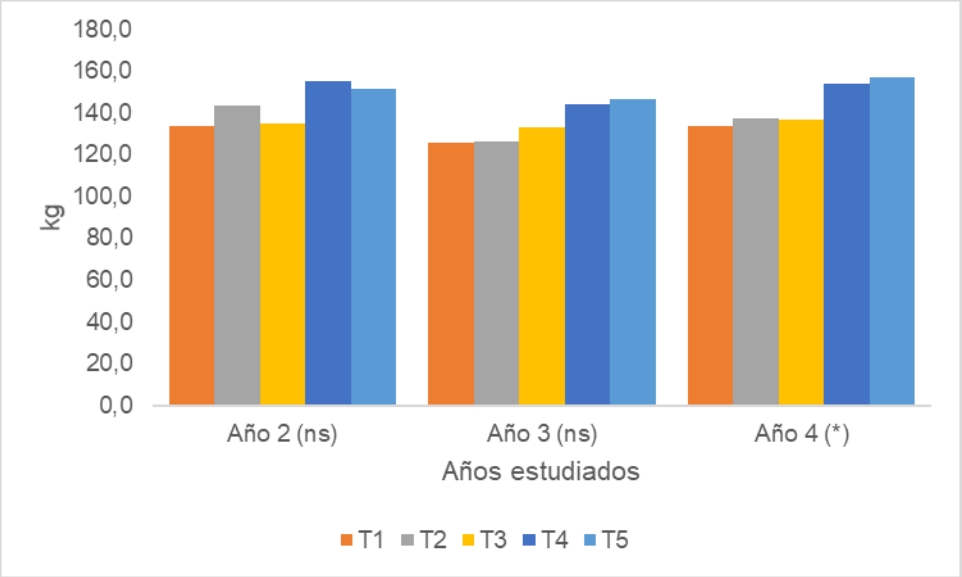


Figura 26. Peso seco foliar por palma, Cultivar Dami Las Flores

*Diferencia significativa, ns: no significativo

Se aprecia que en el año 2 y 3 no hubo diferencias significativas, pero en el cuarto año (finalizando el trabajo) las diferencias en esta variable empiezan a ser notorias.

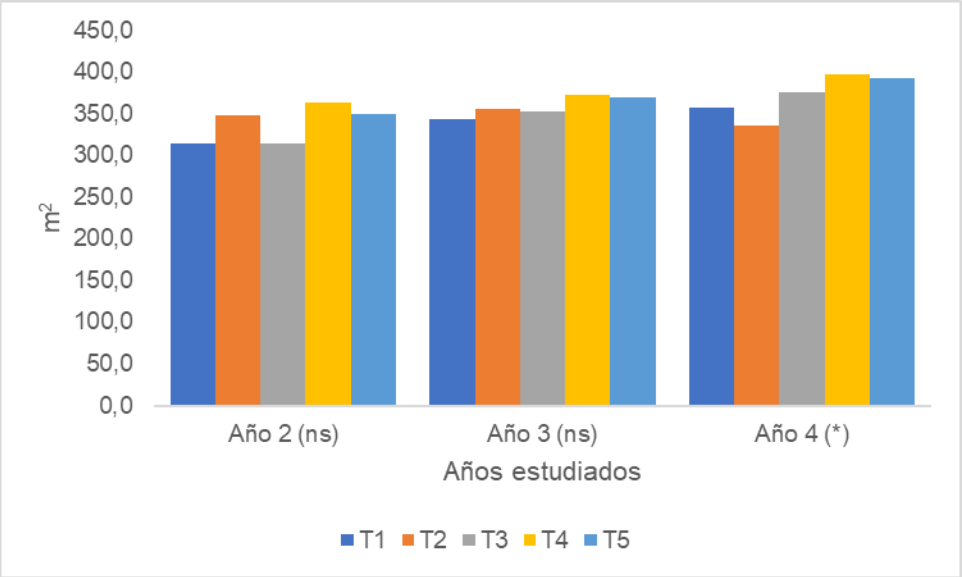


Figura 27. Área foliar por palma, Oleoflores, Cultivar Dami Las Flores

*Diferencia significativa, NS: no significativo

Como en el caso anterior, solo hasta el último año del trabajo se presentaron diferencias significativas lo que lleva a pensar que los nutrientes podrían ir acumulándose en las hojas después de proveer los asimilados para la producción de racimos. En el tratamiento 1 de menor área foliar, probablemente los nutrientes que aporta el suelo no son suficientes para que el crecimiento vegetativo siga de manera adecuada y con el tiempo, tanto el peso seco como el área foliar cada vez van a ser menores y posiblemente la reducción de la producción de RFF será más notoria.

Para determinar la importancia de la variable vegetativa peso de las hojas (clave para formular un plan de nutrición) y los nutrientes presentes en ella se hizo un ANOVA para identificar la significancia de la interacción nutrientes - peso seco foliar por hectárea (Tabla 20) y su relación con el rendimiento de RFF.

Tabla 20. ANOVA de concentración foliar de nutrientes por hectárea, Cultivar Dami Las Flores.

Nutriente	Unidades	T1	T2	T3	T4	T5	C.V
N	kg/ha	432,8 a	461,2 ab	486,1 b	527,1 c	526,2 c	6,84
P	kg/ha	27,8 a	28,8 a	29,7 a	32,4 b	32,5 b	6,02
K	kg/ha	155,2 a	167,0 a	167,7 a	189,4 b	196,9 b	7,69
Mg	kg/ha	52,6 a	54,1 a	52,2 a	54,0 a	51,1 a	9,99
B	kg/ha	0,27 a	0,41 b	0,47 bc	0,57 cd	0,60 d	19,9

Tratamientos con una letra común no son significativamente diferentes (p> 0,05).

Para todos los nutrientes (excepto el Mg) se presentaron diferencias estadísticas significativas. Cuando se analizan las concentraciones del nutriente foliar de manera independiente probablemente no den mucha información, sin embargo, al relacionarlo con su masa seca, los valores ayudan a entender mejor lo que puede estar sucediendo con un determinado cultivo.

En este caso para el N, es claro que el tratamiento 1 es el que menos reserva tiene a nivel foliar (kg) debido a que posee el menor peso seco foliar. En ese orden sigue el tratamiento 2 y son diferentes al tratamiento estándar (T3). Los tratamientos que más fertilizante recibieron 4 y 5, son diferentes a los demás y, por tanto, son los que mayor masa foliar desarrollaron y más acumulación del elemento.

Al hacer el análisis de correlación entre los kg de N ha^{-1} y la producción de RFF (t ha^{-1}) durante los 3 últimos años del estudio, se encontró asociación relativamente débil pero significativa (R = 0,43; P<0,05) y un R^2 = 18,87 %, este último indica que el modelo ajustado explica la variabilidad en t ha^{-1} (Figura 28).

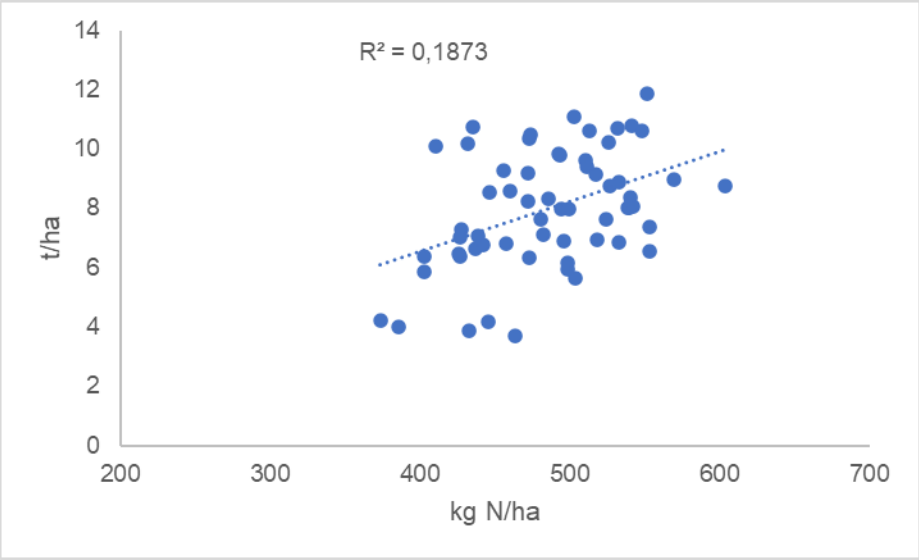


Figura 28. Relación entre kg de N ha^{-1} vs producción RFF en t ha^{-1}

Para el caso del P, cuando se analizó independientemente no presentó diferencias significativas, sin embargo, al analizarlo de manera integrada al peso seco foliar por hectárea, el análisis estadístico es diferente; los tratamientos 1, 2 y 3 no son diferentes estadísticamente, mientras que, el 4 y 5 si lo son. De igual manera esto se debe al mayor peso seco foliar de estos últimos tratamientos.

En la Figura 29 se presenta la correlación entre el P foliar por hectárea vs la producción de RFF (t ha^{-1}).

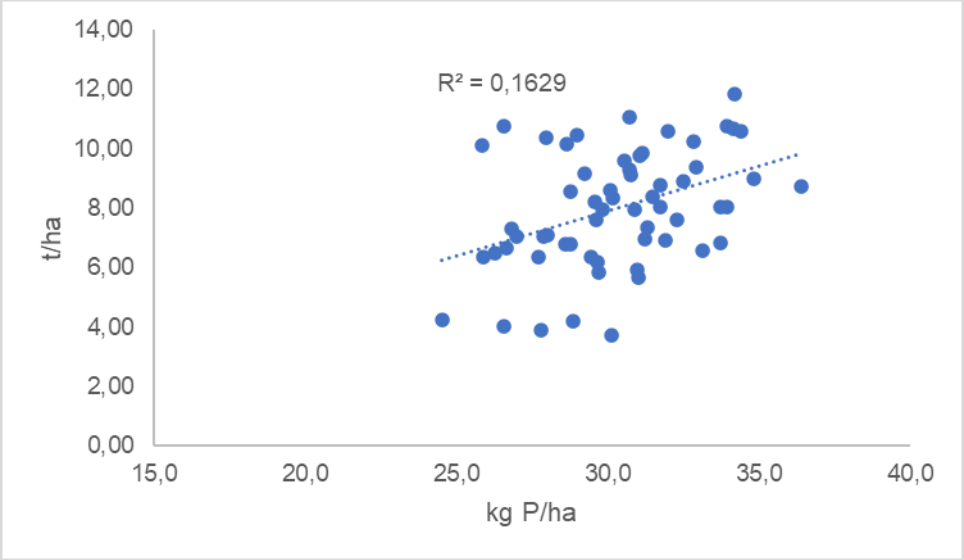


Figura 29. Relación entre kg de P ha^{-1} vs producción RFF en ha^{-1}

Al respecto, la relación muestra un R= 0,40 (relación relativamente débil) pero significativa (P<0,05). De igual manera el R^2 =16,2 % explica la variabilidad en la producción de RFF ha^{-1} se debe a este factor.

Para el K sucede algo similar, los tratamientos 1, 2 y 3 son iguales estadísticamente, pero el 4 y 5 son diferentes a los anteriores, es decir en estos últimos tratamientos se acumula una mayor reserva de K.

Sin embargo, la correlación entre la concentración foliar en kg de K ha^{-1} y la producción de RFF ha^{-1} fue negativa, muy baja y no significativa (R = -0,20) y un R^2 = 4,2 % (Figura 30).

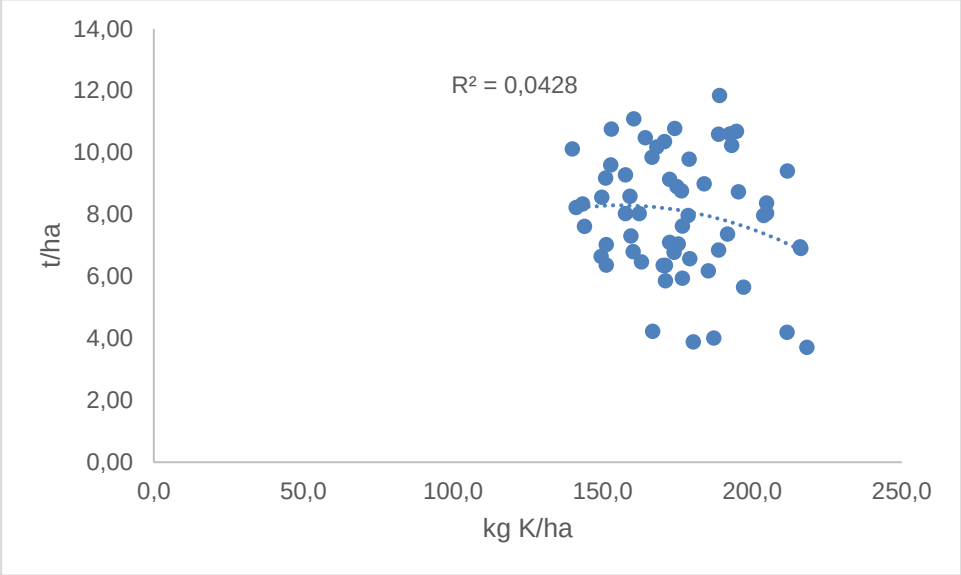


Figura 30. Relación entre kg de K ha^{-1} vs producción RFF en t ha^{-1}

Lo anterior podría significar que a medida que se incrementa el potasio a nivel foliar la producción de RFF empieza a disminuir, es decir debe haber un valor adecuado de este elemento en las hojas para no crear desbalance y afectar el rendimiento, por lo tanto, es importante lograr determinar este valor.

Para el Mg no se dieron diferencias estadísticas en los tratamientos. En este caso, aunque el peso seco foliar era diferente en los tratamientos 4 y 5, el contenido foliar de Mg fue bajo en estos y por lo tanto se compensaron los valores totales de reserva de nutrientes a nivel foliar.

Al hacer la correlación de Pearson el valor fue negativo (R= -0,45) con una significancia (P<0,05). El R^2 encontrado fue de 21,6%. Al igual que el potasio, el magnesio es un nutriente que debe ser mirado con mucho cuidado, porque al parecer, si se acumula demasiado en las hojas, puede reducir el rendimiento.

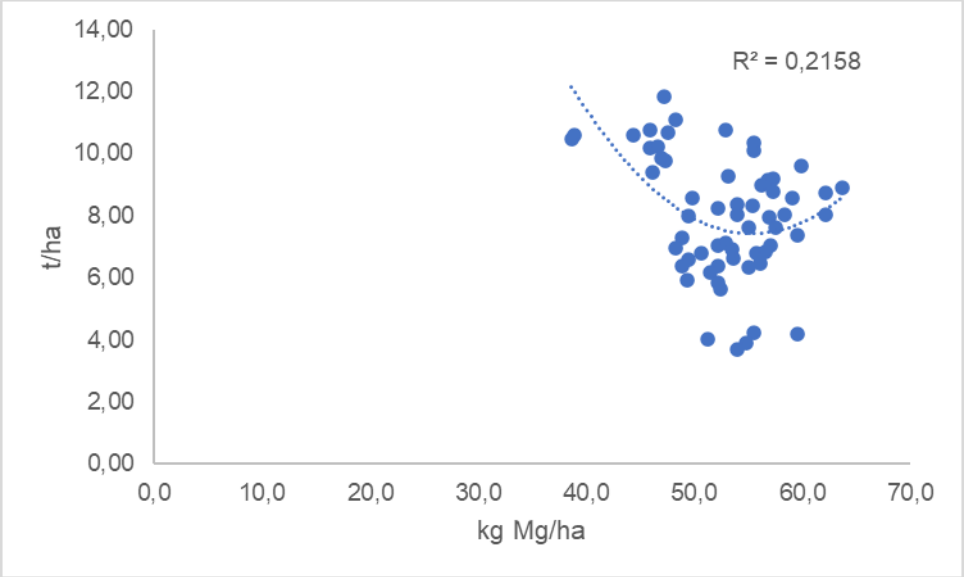


Figura 31. Relación entre kg de Mg ha^{-1} vs producción RFF en t ha^{-1}

En el caso del B se presentaron diferencias significativas. El tratamiento 1 fue diferente a todos lo que indica que el contenido foliar del elemento y la masa seca foliar fue baja comparada con los demás tratamientos. El tratamiento 2 no fue diferente significativamente del 3, pero si del 4 y 5. El tratamiento 3 fue similar significativamente al 4, pero diferente del 5, mientras que entre el tratamiento 4 y 5 no hubo diferencias.

Al tratar de relacionar la producción de RFF con el contenido de B a nivel foliar, la correlación fue muy baja, negativa y no significante (R= -0,08) y un R^2 = 0,06%. Lo anterior puede significar que el contenido foliar de B debe ser estudiado con más detenimiento ya que el rango de este elemento es grande y presenta mucha variabilidad, sin embargo, no hay una relación clara entre este valor foliar y la producción de RFF (Figura 32).

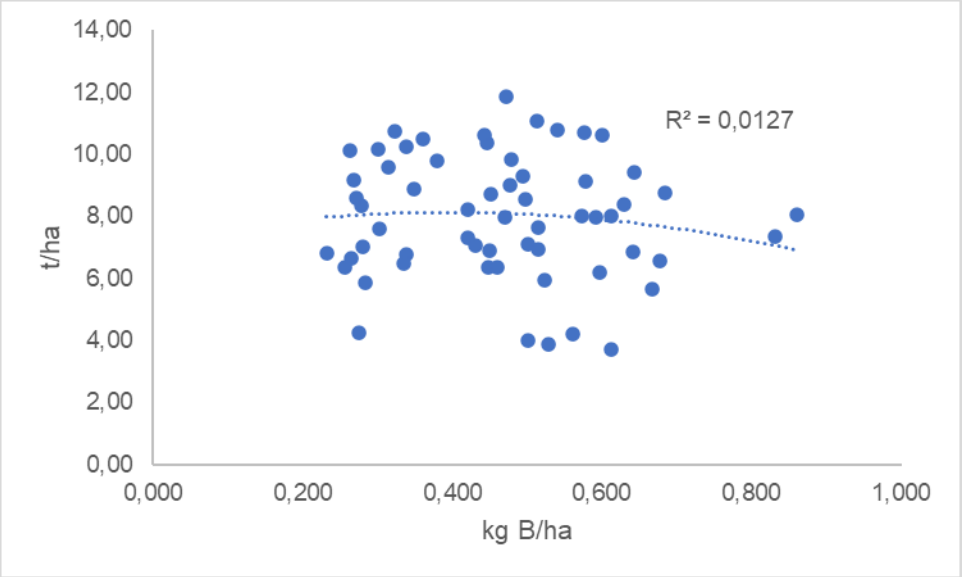


Figura 32. Relación entre kg de B ha^{-1} vs producción RFF en t ha^{-1}

6.2 Rendimiento de aceite del Cultivar Dami Las Flores

La determinación del contenido potencial de aceite en los racimos se realizó dos años y medio después de iniciado el ensayo de fertilización, entre enero a diciembre del 2019.

6.2.1 Efecto del fertilizante sobre el contenido de aceite en racimo

A pesar de que la mayoría de los tratamientos (excepto el 1) tuvieron una fertilización adecuada en cantidad, tiempo y aplicación, no se notó ninguna respuesta diferente en el contenido de aceite/racimo (Tabla 21). Este comportamiento probablemente se debió a que el suelo donde está sembrado el cultivo, posee reservas de nutrientes suficientes que ayudaron a mantener el equilibrio nutricional en las palmas que no recibieron fertilizante. El suelo donde está sembrado este cultivar posee un contenido de bases (0,4, 2,1 y 11,1 cmol (+) kg^{-1} de K^{+}, Mg^{+2} y Ca^{+2}, respectivamente) adecuadas para el normal desarrollo del cultivo, contenido alto de P (128,3 mg kg^{-1}) y un contenido aceptable de B (0,6 mg kg^{-1}).

Tabla 21. Variables de respuesta a la aplicación de diferentes dosis de fertilizantes, Agustín Codazzi, Cesar.

Tratamiento	AC/R (%)	H/M (%)	M/F (%)	AC/MF (%)	F.N/ R (%)	F.P/ R (%)
1	26,37 a	38,56a	78,14ab	46,57a	72,36a	1,74ab
2	25,69 a	39,12ab	77,39a	45,92a	72,22a	1,41a
3	25,92 a	39,17ab	78,75b	45,98a	71,65a	1,90b
4	25,61 a	40,1b	78,66ab	45,27a	71,94a	1,74ab
5	25,68 a	39,36ab	78,09ab	45,68a	72,00a	1,58ab
Medias	25,85	39,26	78,21	45,88	72,04	1,67
σ	3,80	5,27	4,85	5,16	4,96	1,83
CV (%)	14,70	13,41	6,20	11,24	6,88	109,40
P>F	0,24	0,06	0,03	0,14	0,40	0,01

Dentro de las columnas, letras iguales indican igualdad estadística entre tratamientos (P>0,05)
AC/R: aceite/racimo; H/M: humedad/mesocarpio; M/F: mesocarpio/fruto; F.N/R: frutos normales/racimo; F.P/R: frutos partenocarpicos/racimo

Por el contrario, en los tratamientos que llevaban todos los nutrientes (en cantidades importantes), los resultados pudieron verse comprometidos debido a posibles antagonismos entre los mismos, especialmente entre potasio y magnesio. Esto coincide con lo encontrado por Ochs y Ollagnier (1977) citado en Ross (2004), quienes concluyeron que hay una disminución en la relación aceite/racimo cuando se aplicaron mayores dosis de potasio; sin embargo, cuando aplicaron magnesio y potasio de manera conjunta y balanceada, los niveles de aceite/racimo, se incrementó. La idea de hacer este análisis de racimo dos y medio años después de haberse iniciado el ensayo se dio porque en palma de aceite se plantea que los resultados a una determinada actividad (principalmente, en riego y nutrición) se manifiestan 24 meses después de la práctica agrícola. Algunos autores sugieren que, para algunos elementos como el potasio, la respuesta es a corto plazo ya que se logra incrementar el peso promedio del racimo en menor tiempo. Sin embargo, Caliman et al. (2004), sugieren que, en algunos casos, aun las plantaciones más productivas buscan un equilibrio entre la productividad y factores de tipo económico, ya que entre la aplicación de los fertilizantes y su respuesta pueden transcurrir hasta 3 años.

Aunque no hubo diferencias significativas entre los tratamientos aplicados, es importante analizar los componentes (variables) del análisis fisicoquímico de racimos ya que el valor final del análisis (aceite/racimo) puede estar influenciado por el comportamiento de una variable diferente al aceite (Tabla 22), por ejemplo, la humedad en el mesocarpio, el mesocarpio por fruto, aceite en mesocarpio, el porcentaje de frutos normales y el porcentaje de frutos partenocárpicos.

6.2.1.1 Humedad en mesocarpio

Aunque hay diferencias entre las medias de algunos tratamientos, esta variable no es suficiente para asumir que influya en el resultado final de aceite/racimo en todos los tratamientos. Es importante resaltar que la humedad del mesocarpio es muy sensible para determinar el aceite/racimo ya que esta indica de alguna manera el posible grado de madurez del racimo evidenciándose que mayor humedad en mesocarpio, corresponde a menor contenido de aceite en mesocarpio fresco y viceversa (Figura 33.)

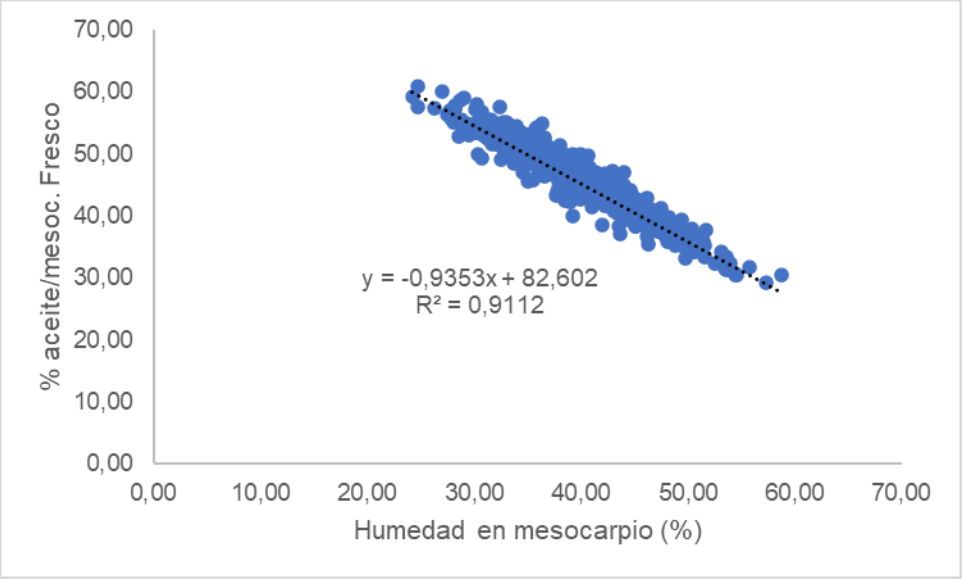


Figura 33. Aceite en mesocarpio fresco vs humedad en mesocarpio (todos los tratamientos), Cultivar Dami Las Flores.

6.2.1.2 Mesocarpio en fruto

El mesocarpio (pulpa) por fruto, mostró diferencias estadísticas entre tratamientos, siendo el T3 el que presentó mayor contenido de pulpa con respecto a los demás y se podría pensar que hay un mejor balance de nutrientes; pero en los demás tratamientos no se da esta significancia; el tratamiento 1 (sin fertilizante) tiene el mismo mesocarpio/fruto que en el T5 donde se aplicó dosis mayor de fertilizantes (100% más que el tratamiento comercial), lo cual parece sin sentido, sin embargo, se podría pensar en que, las relaciones entre los nutrientes bien sea por déficit o exceso, afectan la producción de pulpa en el fruto.

6.2.1.3 Aceite en mesocarpio fresco

Los resultados no exhibieron diferencias, de forma que, el aceite producido por mesocarpio fresco es igual en todos los tratamientos, es decir el hecho de aplicar fertilizante o no aplicarlo, es indiferente al resultado final. Posiblemente (en el caso del tratamiento sin fertilizante) el contenido nutricional del suelo, unido a una humedad adecuada (riego o precipitación) permitieron una formación de aceite en los racimos. En los tratamientos que recibieron fertilizante, probablemente no hubo mayor formación de aceite por antagonismo entre nutrientes o porque la planta solo toma del suelo la cantidad de nutriente que necesita y lo demás se queda en el suelo o se pierde por diferentes procesos de volatilización, infiltración, lixiviación o fijación, entre otros.

6.2.1.4 Frutos normales por racimo

Los resultados indican que no hubo diferencia entre tratamientos, por lo que se infiere que este componente del racimo no influye negativa, ni positivamente en el resultado final del aceite/racimo. Esta variable es clave a nivel comercial en la determinación del aceite por racimo debido a que cuando hay mayor formación de frutos normales, el contenido de aceite por racimo tiende a incrementarse. Obviamente la formación de frutos normales depende de factores como la polinización (disponibilidad y buena viabilidad de polen, suficiente población de insectos polinizadores). En este trabajo no se dan estas diferencias porque las condiciones donde se realizó el mismo (área pequeña y concentración de tratamientos) fueron similares.

6.2.1.5 Frutos partenocárpicos por racimo

Aunque hay diferencias significativas en algunos tratamientos (2 y 3 con los valores mínimos y máximos), el valor de esta variable es tan baja que no es lo suficientemente representativa para influir en el resultado final de aceite/racimo.

6.3 Potencial de aceite sobre racimo de acuerdo con la época del estudio

Los resultados de los análisis de racimo (promedio de todos los tratamientos) muestran que hubo diferencias significativas entre meses estudiados (Tabla 22).

Tabla 22. Frutos normales/racimo, Mesocarpio/fruto, Humedad/mesocarpio y Aceite/racimos producidos durante los meses de enero a diciembre de 2019.

Mes	FN/R (%)	M/F (%)	H/M (%)	A/R (%)
Enero	**70,28 a**	77,3 a	39,22 abcd	24,45 a
Febrero	**70,78 a**	77,49 a	38,02 abc	26,21 abcd
Marzo	74,03 c	78,16 a	37,6 ab	28,03 d
Abril	73,32 bc	78,07 a	41,07 d	26,36 bcd
Mayo	72,01 abc	78,99 a	41,12 d	25,82 abc
Junio	73,49 c	79,45 a	39,66 abcd	26,87 cd
Julio	73,55 c	79,03 a	40,07 bcd	26,21 abcd
Agosto	73,52 c	77,49 a	40,55 cd	24,9 ab
Septiembre	71,97 abc	77,99 a	38,98 abcd	25,41 abc
Octubre	71,02 ab	79,29 a	37,38 a	26,31 abcd
Noviembre	**70,68 a**	77,66 a	38,14 abc	25,31 abc
Diciembre	**70,55 a**	77,24 a	39,43 abcd	24,45 a

Dentro de las columnas, letras iguales indican igualdad estadística entre tratamientos (P>0,05)
FN/R: frutos normales/racimo, M/F: mesocarpio/fruto, H/M: humedad/mesocarpio, A/R: aceite/racimo

No es claro estas diferencias de aceite/mes dado que se trató del mismo ensayo donde se manejaron las mismas prácticas agrícolas. La palma de aceite por ser de carácter perenne está en continuo crecimiento. Según Cayón (1999), el fenotipo de las palmas es el resultado de varios procesos fisiológicos que están determinados en gran manera por condiciones ambientales (entre ellos la lluvia, temperatura, radiación). Este es el caso de las inflorescencias, cuyo desarrollo tarda entre 2,5 a 3 años antes de emerger en las axilas de las hojas. En este proceso, 24 a 27 antes de la antesis sucede la diferenciación sexual. Cuando hay buenas condiciones de nutrición y precipitación, la diferenciación sexual se inclina a producir flores femeninas (futuros racimos), por el contrario, las inflorescencias se vuelven masculinas. Algo parecido sucede con la producción de aceite. Según (Ruiz, 2005), la TEA es el resultado de muchos factores, como el cultivar sembrado, la edad del cultivo, la eficiencia de la polinización, la calidad en la cosecha y variaciones del medio ambiente. Cuando las primeras son constantes, los cambios que se pueden presentar en los contenidos de aceite en los racimos serán atribuibles a las condiciones ambientales.

6.3.1 Frutos normales por racimo

En esta variable se presentaron diferencias significativas entre meses, lo cual ayudaría a explicar el alto o bajo contenido de aceite sobre racimo. Como se puede apreciar, los meses de enero, febrero, noviembre y diciembre son los que menor

proporción de frutos normales/racimo, en cambio los meses de marzo, junio, julio y agosto presentaron la mayor cantidad de frutos normales/racimo. La Figura 34 muestra la influencia de esta variable con el aceite/racimo producido.

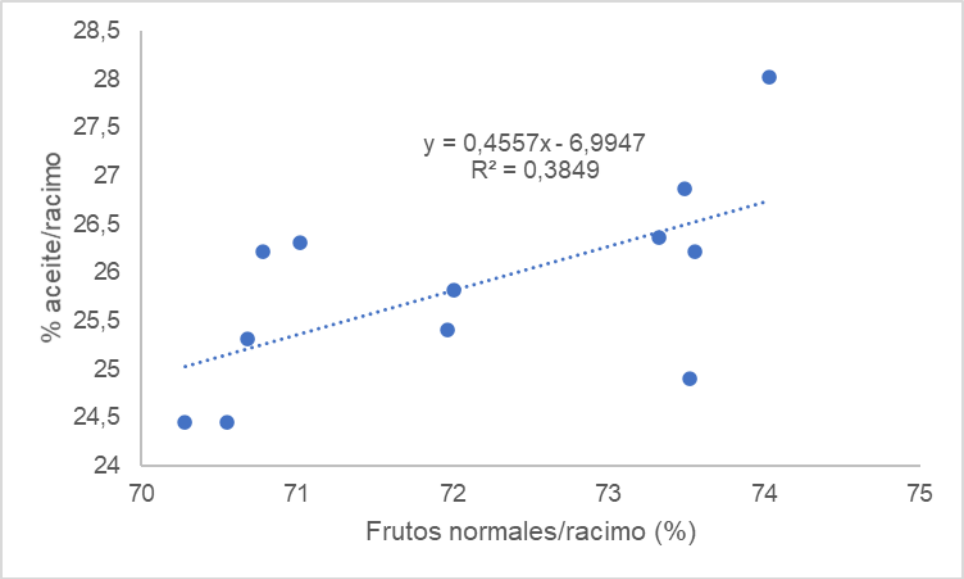


Figura 34. Aceite/racimo vs frutos normales/racimo producido durante el año 2019, dos años después de la aplicación de los tratamientos.

Aunque el coeficiente de determinación (R^2=0,38) no es muy alto, si muestra una tendencia positiva a medida que el porcentaje de frutos normales/racimo se incrementa. Esta variable en campo se puede ver afectada por una mala o regular polinización al momento de presentarse la antesis en la flor femenina. Sin embargo, las razones para que esta situación se presente pueden ser variadas. Inicialmente se podría pensar que la población de insectos polinizadores *Elaeidobius kamerunicus* sea muy baja, puede ser que en determinada época del año el número de flores masculinas sea bajo, puede ser que haya suficiente polen, pero no de la mejor calidad (por efecto de altas poblaciones de *E. kamerunicus* o por efecto de la lluvia sobre el polen), poca actividad de los polinizadores ante altas precipitaciones, baja población del insecto polinizador por sequias extremas. En este sentido, Ong y Donough (1988); Rao y Law (1998) y Donough, Chew y Law (1996), citados por (Ruiz, 2005), confirman el efecto negativo que pueden tener precipitaciones altas sobre la polinización, dándose entonces flores abortadas y un bajo “fruit set” (eficiencia de polinización) lo que indica bajo porcentaje de frutos normales cuando el racimo es cosechado. Según los autores, probablemente la lluvia fuerte deteriora la calidad

del polen, disminuyendo su viabilidad (por la humedad) y disponibilidad (se forman grumos que son más difíciles de transportar por los insectos polinizadores).

6.3.2 Mesocarpio en fruto

Para esta variable no se encontraron diferencias significativas en los meses evaluados lo que hace pensar que esta característica está muy ligada al cultivar de siembra. Es importante tenerla en cuenta en programas de selección de cultivares para producción de semillas ya que esta variable está muy ligada a la herencia de tipo genético lo cual le da estabilidad ante cambios de ambiente.

6.3.3 Humedad en mesocarpio

Se encontraron diferencias significativas en los meses de estudio. Sin embargo, al hacer la prueba de correlación entre humedad y contenido de aceite, esta resulta muy baja. Así mismo, resultó baja la correlación entre humedad del mesocarpio y la precipitación ocurrida en los meses del estudio.

6.4 Condiciones ambientales que pueden incidir en el contenido de aceite por racimo

6.4.1 Precipitación

Aunque la variación de aceite/racimo en los meses del estudio pueden ser explicados por las variables ya mencionadas es importante tener en cuenta algunas condiciones ambientales. Al respecto, (Ruiz, 2005), comenta que, en Malasia en 1992, la TEA de las plantas de beneficio disminuyo, encontrando una correlación negativa entre bajas precipitaciones dos o más meses seguidos y la TEA, 11 meses después. Para el caso del estudio, el modelo no se ajusta a los 11 meses sino a 10 meses. En la Figura 35, se puede verificar una tendencia positiva en el incremento de aceite/racimo a medida que la precipitación aumenta.

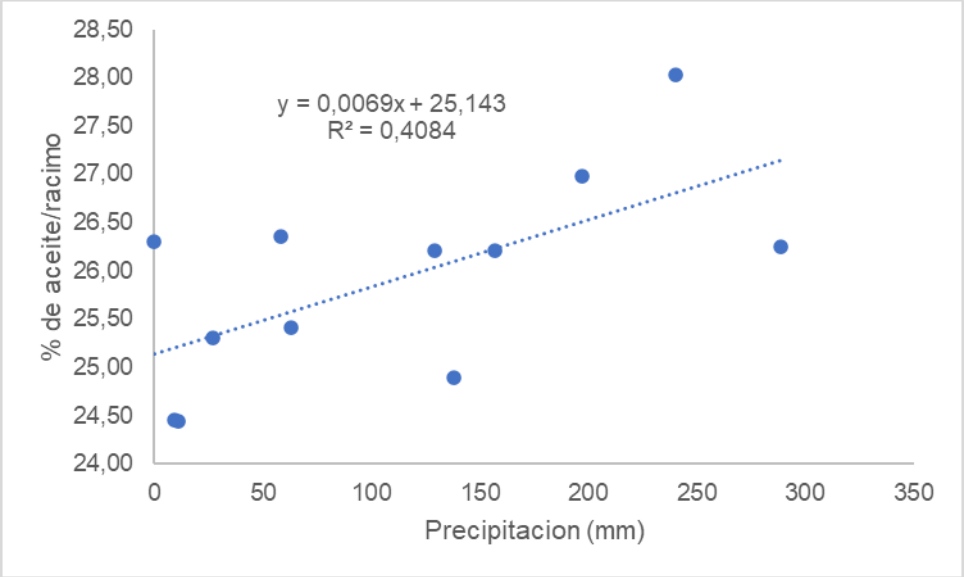


Figura 35. Precipitación 10 meses antes de la cosecha de racimos.

6.4.2 Radiación o brillo solar

(Ruiz, 2005) afirma que el brillo solar también influye en la síntesis final de aceite. En su estudio, encontró que cuando el brillo solar disminuye 4 a 5 meses antes de la cosecha, el aceite del racimo también disminuye. La razón puede ser debido a que en hojas con menos iluminación la fotosíntesis no puede proporcionar el suficiente Adenosina Tri Fosfato (ATP) y Nicotinamida Adenina Dinucleótido Fosfato (NADPH), necesarios para la síntesis de cadenas de ácidos grasos (Cayón 1996; Azcón Bieto y Talon 1993), citados por (Ruiz, 2005). Según estos autores, la palma de aceite necesita al menos unas 5 horas diarias de luz para que la fotosíntesis pueda proporcionar ATP y el NADPH, factores claves para la producción de ácidos grasos.

Como en el presente estudio no se contó con la medición del brillo solar desde el año 2015 en adelante, se hizo una simulación de la radiación con base a la precipitación. Según Lee y Shawaludding (1994), citados por Ruiz (2005), la precipitación ejerce un efecto negativo sobre la síntesis de aceite debido a que existe una relación inversa entre esta y brillo solar. Al respecto, con información del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM, 2014), se realizó un análisis de correlación entre la radiación solar del departamento del Cesar y la precipitación en la zona del estudio, con datos tomados entre 2005 al 2014 (Tabla 23).

Tabla 23. Radiación solar (Wh/m^2 por día) del departamento del Cesar, años 2005 a 2014.

Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Wh/m^2 por día	5420	5885	5317	5441	5254	5389	5518	5375	4997	4866	4950	5153

La correlación negativa entre estas dos variables fue fuerte (R= -0,67) y significativa (P<0,05 Pearson). Con la ecuación obtenida del análisis de regresión (Figura 36) se hizo una modelación de la radiación con la precipitación del año 2018 y 2019 (Tabla 24).

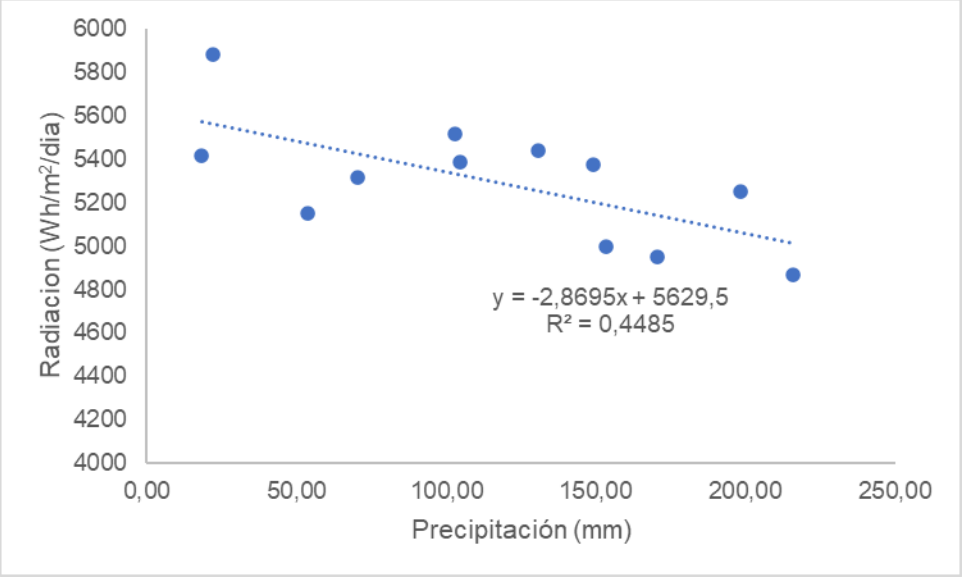


Figura 36. Radiación media diaria del departamento del Cesar vs. precipitación zona del estudio.

Tabla 24. Radiación (Wh/m^2 día) obtenida de la ecuación Y=-2,8695X+5629,5 de acuerdo con la precipitación de los años 2018 y 2019, Codazzi, Cesar

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
2018	5291	5630	5598	5179	4941	5463	4800	5064	5259	5234	5449	5630
2019	5552	5604	5434	5449	5001	5477	5432	5337	4628	5018	4852	5615

Con los datos de la Tabla 24 se procedió a verificar la asociación entre radiación y el contenido de aceite potencial encontrándose que existe asociación positiva entre las variables y ésta se explica por una ecuación polinómica de segundo grado (Figura 37).

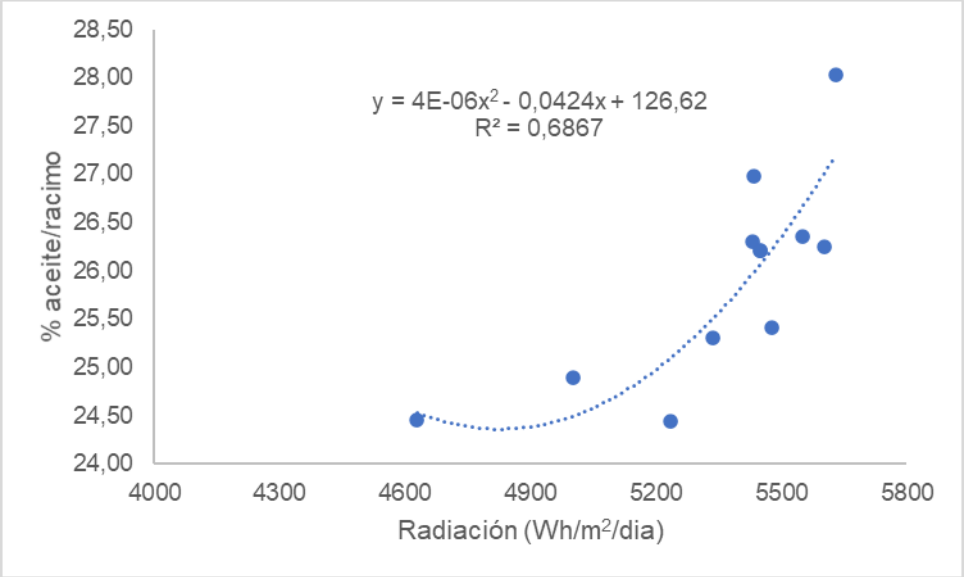


Figura 37. Potencial de aceite/racimo vs. radiación solar tres meses antes de cosecha.

En el estudio de (Ruiz, 2005), el modelo se ajustaba entre 4 a 5 meses. Al hacer el análisis de correlación de los datos anteriores se encontró una correlación positiva fuerte (R= 0,75) y significativa (P<0,05). En este caso la mayor correlación se da cuando la radiación solar es menor 3 meses antes de la cosecha.

7. CONCLUSIONES

Del análisis de los resultados obtenidos, se puede concluir que:

El rendimiento de RFF se ve influenciado por la cantidad de fertilizante que se aplique en el cultivo de palma de aceite, siempre y cuando se haga de manera balanceada. Sin embargo, no necesariamente aplicar mayor cantidad de fertilizante implica mayor productividad. En el estudio se puede evidenciar que aplicar el 100% de la dosis de fertilizante es suficiente para tener una productividad aceptable y sin incurrir en costos adicionales.

La diferencia de rendimiento de RFF (t ha^{-1}) en los diferentes tratamientos se debió al peso medio de los racimos; los tratamientos con menos fertilizante fueron los que mostraron pesos medios más bajos.

El efecto diferencial del fertilizante en los tratamientos se presentó a los 24 meses de haberse iniciado el ensayo, afectando principalmente el peso promedio de los racimos, pero no sobre el número de racimos.

El número de racimos durante los cuatro años del ensayo no se vio afectado por la aplicación de los fertilizantes. Estos fueron afectados por la precipitación en las fases de desarrollo de los racimos (diferenciación sexual, aborto y malogro de racimos).

El contenido de aceite en los racimos no resultó afectado por una mayor o menor aplicación de fertilizantes; bajo condiciones de la zona estudiada, posiblemente los contenidos nutricionales presentes en el suelo son suficientes para mantener los potenciales de aceite en el racimo lo cual implicaría una racionalización en la aplicación de fertilizantes.

Dentro de los componentes del análisis físico químico de los racimos, es importante medir todas las variables para así explicar el potencial de aceite. Las más importantes son: humedad en mesocarpio, mesocarpio/fruto, frutos normales/racimo, aceite/mesocarpio fresco y frutos partenocárpicos/racimo.

Si bien no hubo diferencias estadísticas entre tratamientos, el potencial de aceite si fue diferente en los meses del estudio, posiblemente por razones ambientales. El

porcentaje de frutos normales es una variable que afecta el contenido potencial de aceite/racimo en mayor o menor grado. Los menores contenidos de aceite en racimo se dieron en los meses de enero, febrero, noviembre y diciembre y tienen relación con los menores porcentajes de frutos normales por racimo; el porcentaje de frutos normales está ligado a varios factores, entre ellos, la polinización. Esta a su vez depende de la población de insectos polinizadores, la disponibilidad de polen, la precipitación, etc.

A nivel general, la humedad en mesocarpio está estrechamente ligada a la cantidad de aceite en mesocarpio y esta a su vez tiene influencia en el contenido de aceite en racimo. Así mismo esta variable puede ser indicadora del grado de madurez del racimo.

El mesocarpio/fruto (pulpa) es una variable que no tuvo grandes variaciones en todo el estudio lo que sugiere que el mismo tiene buena estabilidad y es inherente al cultivar de siembra, lo que la convierte en una herramienta cuando se hace mejoramiento genético para los programas de producción de semillas.

Dentro de las variables ambientales importantes y que tienen relación con el contenido de aceite esta la precipitación y el brillo solar. La primera afecta de manera notoria el potencial de aceite 10 meses antes de cosechar los racimos. La segunda afecta el potencial de aceite 3 meses antes de la cosecha de los racimos.

Se comprobó que algunos niveles de referencia a nivel foliar encontrados en la literatura no pueden ser utilizados de manera directa ya que los mismos deberían ser encontrados para cada sitio de acuerdo con las condiciones del suelo y las condiciones ambientales. Algunos valores foliares encontrados como el boro presentan gran variabilidad lo cual no permite tener claridad cuál es el valor más aceptable para el Cultivar Dami Las Flores bajo las condiciones de Agustín Codazzi. De igual manera, los niveles foliares de potasio también son muy diferentes a los encontrados como referencia para palmas de esta edad.

Se pudo apreciar que los contenidos nutricionales en el suelo son estables a lo largo del tiempo y, por lo tanto, bajo las condiciones de Agustín Codazzi, el monitoreo de estos se puede hacer cada 5 años. Todos los nutrientes no presentaron diferencias significativas antes del inicio del ensayo y la finalización de este.

Los parámetros de crecimiento como área foliar, índice de área foliar (IAF), peso seco foliar se vieron afectadas al tercer año de evaluación en los tratamientos que recibieron una menor cantidad de fertilizantes. Probablemente de continuar el estudio, la disminución de crecimiento de estas medidas vegetativas se vería afectadas de manera notoria lo que podría incidir en una disminución en el rendimiento de los RFF.

Se recomienda continuar con ensayos de este tipo para determinar los valores de referencia a nivel foliar para los nutrientes más importantes en palma de aceite ya que al parecer las condiciones de suelo, ambientales y el Cultivar sembrado determinan las necesidades del cultivo.

Se recomienda realizar estudios del insecto *Elaeidobius kamerunicus* para determinar su población actual y la dinámica a través del tiempo para detectar el momento exacto cuando sus poblaciones disminuyen por factores ambientales o de otro tipo y establecer su influencia en el potencial de aceite por racimo.

Se recomienda que ensayos donde se involucren dosis de fertilizantes deben ser evaluados al menos durante seis años. En este ensayo, algunas diferencias entre tratamientos se presentaron en el último año de evaluación (cuarto año), por lo tanto, sería importante ver qué pasa en los años posteriores.

BIBLIOGRAFIA

Acosta, A. (2010). Manejo integrado de la nutrición de la palma de aceite : experiencias en América tropical. *Revista Palmas*, *31*(Tomo 1).

Adam, H., Collin, M., Richaud, F., Beulé, T., Cros, D., Omoré, A., … Tregear, J. W. (2011). Environmental regulation of sex determination in oil palm: Current knowledge and insights from other species. *Annals of Botany*, *108*(8), 1529–1537. https://doi.org/10.1093/aob/mcr151

Ayala, I., Romero, H., Tupaz, A., Daza, E., Rincón, A., Caicedo, A., … Mosquera, M. (2017). Comportamiento agronómico de cultivares comerciales de palma de aceite en el Campo Experimental Palmar de La Vizcaína. In *Variedades de palma de aceite sembradas en el Campo Experimental Palmar de la Vizcaína*.

Barlett, E. (1994). Fertilización de la palma de aceite (Elaeis guineensis Jacq.) con elementos secundarios en varios suelos de Colombia. *Palmas*, *15*(3), 25–39.

Bayona, C. (2019). *Evaluacion de materiales de palma de aceite potencialmente utilizables en regiones con limitaciones de agua*.

Bruuselma, T., Fixen, P., & Sulewski, G. (2012). *Fertilizacion 4R*.

Burbano, H. (2013). *Ciencia del Suelo Principios básicos*. Bogotá, Colombia: Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo

Caliman, J., Dubos, B., Tailliez, B., Robin, P., Bonneau, X., & De Barros, I. (2004). Manejo de nutrición mineral en palma de aceite: Situación actual y perspectivas. *Palmas*, *25*(Especial), 42–60.

Cayón, G. (1999). Apuntes sobre fisiología del crecimiento y desarrollo de la palma de aceite (Elaeis guineensis Jacq). *Palmas*, *20*(3), 45–54.

Cordoba, A., Obrador, J., Salgado, S., & Castelan, M. (2017). Fertilizacion quimica para el cultivo de la palma de aceite(Elaeis guineensis Jacq.) en Chiapas, Mexico.

Ditschar, B. (2016). Buenas prácticas de manejo en el cultivo de palma de aceite en América Latina. *Revista Palmas*, *37*(Especial), 53–62.

Espinosa, J. (1994). Analisis Foliar: Fundamentos y Metodos de Evaluacion. *Potash & Phosphate Institute,* (17), 1–9. Retrieved from http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/2391068D9611ACD085258013005436BC/$FILE/Art 1.pdf

Fedepalma. (2020). *Anuario estadístico 2020. Principales cifras de la agroindustria de la palma de aceite en Colombia y en el mundo*. 238. Retrieved from https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/anuario/article/view/13235/13024

Fedepalma (2020). *La palma de aceite en Colombia*. Recuperado de https://web.fedepalma.org/la-palma-de-aceite-en-colombia-departamentos. [26 de mayo 2021]

FAO (s.f.). *El suelo*. Recuperado de Nociones ambientales básicas para profesores rurales y extensionistas (fao.org). [26 de mayo 2021]

Fino, W. (2006). Estudio detallado de suelos en Hacienda Las Flores. Manuscrito no publicado.

González, A. D., Kafarov, V., & Guzman, A. (2009). Desarrollo de métodos de extracción de aceite en la cadena de producción de biodiesel a partir de microalgas Development of methods of extraction of oil. *Prospect*, *7*(2), 53–60. Retrieved from https://www.redalyc.org/pdf/4962/496250976007.pdf

Guoron, A. (25 noviembre 2011). Cultivo de la palma africana. Recuperado de http://cultivodepalmaafricana.blogspot.com/2011/11/

Gutierrez, M., & Torres, J. (2013). Síntomas asociados a la deficiencia de boro en la palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq.) en Costa Rica. *Agronomia Mesoamericana*, *24*(2), 441–449.

Guzman, D., Ruiz, J. F., & Cadena, M. (2014). *Regionalizacion de Colombia según la estacionalidad de la precipitacion media mensual, a través de analisis de componentes principales (ACP)*. *11*, 363–367.

Guzman, M., & Betancourt, J. (2007). Efecto de las aplicaciones fraccionadas del fertilizante compuesto sobre la producción y niveles nutricionales de la palma de aceite en la plantación Palmas del Casanare. In *PALMAS* (Vol. 28).

Hartley, C.W.S. (1977) The Oil Palm (*Elaeis guineensis* Jacq.). 2nd Edition, Longman, London.

Herrera, G. (2015). Obtención del sistema integrado de diagnóstico y recomendación integral (DRIS) en el cultivo de palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.). *Universidad Nacional de Colombia*, 179.

IAVH. (1998). El Bosque seco Tropical (B s - T) en Colombia. *El Bosque Seco Tropical En Colombia, IAVH 1998*, (1971), 1–24. Retrieved from http://media.utp.edu.co/ciebreg/archivos/bosque-seco-tropical/el-bosque-seco-tropical-en-colombia.pdf

IDEAM (2014). *Radiación solar*. Recuperado de http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/radiacion-solar. [26 de mayo 2021]

INIAP. (2015). Manual del cultivo de la palma aceitera. *INIAP-Estación Experimental Santo Domingo*, 1–109. Retrieved from https://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/3871

Intagri. (2017). La Conductividad Eléctrica del Suelo en el Desarrollo de los Cultivos. *Instituto Para La Innovación Tecnológica En La Agricultura*, *26*, 5. Retrieved from https://www.intagri.com/articulos/suelos/la-conductividad-electrica-del-suelo-en-el-desarrollo-de-los-cultivos

Jaramillo, F. (2015). Variabilidad espacial de algunas propiedades químicas de suelos palmeros de Colombia. *Suelos Ecuatoriales*, *45*(2), 55–64.

Kiang, K. K., & Goh, K. J. (2007). Manejo integrado de la nutricion en palma de aceite. In *Palmas* (Vol. 28).

León, L. (2004). Características, uso y manejo de fertilizantes para palma de aceite. *PALMAS*, *25*(Especial), 105–114.

Loli, O. (2012). Fertilizacion en el cultivo de la palma de aceite. Guia Tecnica. *Guia Tecnica*, 1–32.

Mejía, J. (2000). Consumo de agua por la palma de aceite y efectos del riego sobre la producción de racimos, una revisión de literatura. *PALMAS*, *21*(1), 51–58.

Mite, F., Carrillo, M., & Espinosa, J. (2000). Influencia de la fertilización y el riego sobre el desarrollo, nutrición y rendimiento de la palma de aceite en la Zona de Quevedo. *PALMAS*, *21*(Especial), 99–106.

Mite, F., & Espinosa, J. (s.f.). *Efecto del Manejo del Cultivo y los Fertilizantes en el Uso Eficiente de Nitrógeno en Palma Aceitera*.

Modh, M. (2002). Tasa de extracción de aceite de palma (TEA) de Malasia : una respuesta a factores de mercado y administración. *Revista Palmas*, *23*(1), 41–50.

Mosquera, M., Valderrama, M., Ruiz, E., Lopez, D., Castro, L., & Gonzales, M. (2018). Costos económicos de producción para el fruto de palma aceitera y el aceite de palma en 2016: estimación para un grupo de productores colombianos. *Palmas*, *39*(2), 1–14.

Munevar, F. (1998). Problemática de los suelos cultivados con palma de aceite en Colombia. *PALMAS*, *19*(Especial), 217–228.

Munévar, F. (2001). *Fertilización de la palma de aceite para obtener altos rendimientos Fertilization of Oil Palm to Obtain High Yields* (Vol. 22).

Munévar, F. (2004). Relación entre la nutrición y las enfermedades de las plantas Relationship between Nutrition and Plant Diseases. *Palmas*, *25*(2), 171–178.

Munévar, F., Romero, A., Cristancho, J., & Arias, N. (2005). Variación de las concentraciones foliares de nutrientes según la edad fisiológica de las hojas de la palma de aceite en dos localidades de Colombia. *Palmas*, *26*(42), 23–33.

Oberthur, T., Cock, J., Donough, C., Rahmadsyah, Abdurrohim, G., Indrasuara, K., … Dolog, T. (2013). Mejores prácticas de manejo en la fertilización de palma de aceite para la intensificación sostenible. *PALMAS*, *34*(Especial), 174–202.

Oltra, M. (12 abril 2017). Fertilización vs nutrición. Recuperado de https://www.fertirrigacion.com/diferencias-entre-nutricion-y-fertilizacion/

Rahman, Z. (2010). El papel del fósforo en el desarrollo sostenible de la palma de aceite

(Elaeis Guineensis, Jacq.) Producción en suelos tropicales. *PALMAS*, *31*(Especial), 205–2018.

Rhebergen, T., Fairhurst, T., Giller, K. E., & Zingore, S. (2019). The influence of water and nutrient management on oil palm yield trends on a large-scale plantation in Ghana. *Agricultural Water Management*, *221*, 377–387. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.05.003

Rivera, Y., Moreno, L., Herrera, M., & Romero Hérnan. (2016). La toxicidad por aluminio (AL3+) como limitante del crecimiento y la productividad agrícola: el caso de la palma de aceite. *Revista Palmas*, *37*(1), 11–23. Retrieved from file:///C:/Users/Pracom/Downloads/11696-12949-1-SM.pdf

Roca, N., Pazos, M. S., & Bech, J. (2007). Disponibilidd de cobre, hierro, manganeso, zinc en suelos del no Argentino. *Ciencia Del Suelo*, *25*(1), 31–42.

Ross, M. (2004). Importancia del magnesio para altos rendimientos sostenibles en palma de aceite. *PALMAS*, *25*(Especial), 99–104.

Ruiz, R. (2005). Desarrollo del racimo y formación de aceite en diferentes épocas del año según las condiciones de la Zona Norte. *Palmas*, *26*(4), 37–51.

Sanjines, A. (s.f.). Efectos del riego y la sequía en el crecimiento, floración y producción de la palma africana. *Palmas*, 59–62.

Santacruz, L., Cristancho, J., & Munévar, F. (2004). Variación temporal de los niveles foliares de nutrientes y su relación con la fertilización, la lluvia y el rendimiento de la palma de aceite (Elaeis guineensis Jacq.) en la plantación Guaicaramo (Meta, Colombia). *PALMAS*, *25*(Especial), 160–169.

Wang, M., Zheng, Q., Shen, Q., & Guo, S. (2013). The critical role of potassium in plant stress response. *International Journal of Molecular Sciences*, Vol. 14, pp. 7370–7390. https://doi.org/10.3390/ijms14047370

Woittiez, L. S., van Wijk, M. T., Slingerland, M., van Noordwijk, M., & Giller, K. E. (2017, February 1). Yield gaps in oil palm: A quantitative review of contributing factors. *European Journal of Agronomy*, Vol. 83, pp. 57–77. https://doi.org/10.1016/j.eja.2016.11.002

ANEXOS

Anexo 1. Costos

Tratamiento	Mantenimiento promedio cultivo ($/ha)	Fertilizante (kg/ha)	Costo fertilizante ($/ha)	Total, costo ($/ha)	Promedio RFF t/ha	Precio venta t/RFF ($)	Total, ingresos ($)	Rentabilidad (%)
1	5.408.947	0	0	5.408.947	29,6	320.000	9.472.000	42,9
2	5.408.947	968	1.127.367	6.536.314	29,3	320.000	9.376.000	30,3
3	5.408.947	1929	2.244.313	7.653.260	30,9	320.000	9.888.000	22,6
4	5.408.947	2895	3.367.366	8.776.313	30,8	320.000	9.856.000	11,0
5	5.408.947	3852	4.479.224	9.888.171	31,3	320.000	10.016.000	1,3

Los costos se calcularon teniendo en cuenta que:

- El mantenimiento del cultivo es igual para todos los tratamientos (riego, control de malezas, poda de palmas, limpieza de platos, sanidad vegetal, administración) por lo tanto se toma como costo fijo y corresponde al año 2020.
- El costo variable en cada uno de los tratamientos únicamente obedece al fertilizante aplicado.
- El fertilizante aplicado corresponde al promedio de los 4 años del ensayo.
- La productividad t/ha es el promedio de los 4 años del ensayo.
- El costo del fertilizante es VPN al año 2020.
- El precio de venta de la fruta corresponde al promedio de venta del año 2020.

Anexo 2. ANOVA

Se muestran los Análisis de Varianza para las variables más relevantes del trabajo realizado: peso medio del racimo, numero de racimos/palma, t RFF ha $^{-1}$, análisis de suelo (pH y Mg), análisis foliares (N, Mg, B), medidas de crecimiento (pesos seco total, área foliar total, IAF), aceite/racimo.

Análisis de la varianza
W promedio racimo

Variable	N	R²	R² Aj	CV
W prom	4075	0,38	0,38	14,24

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	13271,84	7	1895,98	357,3	<0,0001
T	712,24	4	178,06	33,56	<0,0001
Año	12559,6	3	4186,53	788,95	<0,0001
Error	21581,33	4067	5,31		
Total	34853,16	4074			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,31185
Error: 5,3064 gl: 4067

T	Medias	n	E.E.	
1	15,44	815	0,08	A
2	15,99	815	0,08	B
3	16,6	815	0,08	D
4	16,29	8,15E+02	8,00E-02	BC
5	16,49	815	0,08	CD

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Rac/palma

Variable	N	R^2	R^2 Aj	CV
Rac/palma	4075	0,15	0,15	38,37

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,44	7,00E+00	6,00E-02	102,5	<0,0001
T	2,90E-03	4	7,30E-04	1,18	0,3169
Año	0,44	3	0,15	237,58	<0,0001
Error	2,5	4067	6,10E-04		
Total	2,94	4074			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,00336

Error: 0,0006 gl: 4067

T	Medias	n	E.E.	
1	0,07	815	8,70E-04	A
2	0,06	815	8,70E-04	A
3	0,06	815	8,70E-04	A
4	0,07	815	8,70E-04	A
5	0,07	815	8,70E-04	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

t/ha

Variable	N	R^2	R^2 Aj	CV
t/ha	4075	0,11	0,11	42,32

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	2,06	7	0,29	73,93	<0,0001
T	0,06	4	0,01	3,74	0,0048
Año	2	3	0,67	167,53	<0,0001
Error	16,2	4067	4,00E-03		
Total	18,26	4074			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,00854

Error: 0,0040 gl: 4067

T	Medias	n	E.E.	
1	0,15	815	2,20E-03	A
2	0,14	815	2,20E-03	A
3	0,15	815	2,20E-03	A B
4	0,15	815	2,20E-03	A B
5	0,15	815	2,20E-03	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Análisis de la varianza

Variable	N	R^2	R^2 Aj	CV
pH	35	0,42	0,34	2,26

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,62	4	0,15	5,45	0,002
Columna2	0,62	4	0,15	5,45	0,002
Error	0,85	30	0,03		
Total	1,47	34			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,26126

Error: 0,0284 gl: 30

Columna2	Medias	n	E.E.	
T1	7,66	7	0,06	B
T2	7,5	7	0,06	AB
T3	7,44	7	0,06	AB
T4	7,31	7	0,06	A
T5	7,31	7	0,06	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Análisis de la varianza

Variable	N	R^2	R^2 Aj	CV
Mg suelo	35	0,27	0,18	11,36

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,69	4	0,17	2,82	0,0423
T	0,69	4	0,17	2,82	0,0423
Error	1,84	30	0,06		
Total	2,53	34			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,38382

Error: 0,0613 gl: 30

T	Medias	n	E.E.	
T1	2,26	7	0,09	A B
T2	2,38	7	0,09	B
T3	2,20	7	0,09	A B
T4	1,99	7	0,09	A
T5	2,06	7	0,09	A B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Variable	N	R^2	R^2 Aj	CV	
N foliar	75	0,2	0,15	6,5	

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,43	4	0,11	4,32	0,0035
T	0,43	4	0,11	4,32	0,0035
Error	1,73	70	0,02		
Total	2,16	74			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,16096

Error: 0,0248 gl: 70

T	Medias	n	E.E.	
T1	2,31	15	0,04	A
T2	2,37	15	0,04	A B
T3	2,5	15	0,04	B
T4	2,44	15	0,04	A B
T5	2,49	15	0,04	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Variable	N	R^2	R^2 Aj	CV	
Mg foliar	75	0,31	0,27	10,51	

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,03	4	0,01	7,85	<0,0001
T	0,03	4	0,01	7,85	<0,0001
Error	0,06	70	8,00E-04		
Total	0,08	74			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,02895

Error: 0,0008 gl: 70

T	Medias	n	E.E.	
T1	0,29	15	0,01	C
T2	0,29	15	0,01	BC
T3	0,28	15	0,01	BC
T4	0,26	15	0,01	AB
T5	0,24	15	0,01	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Variable	N	R^2	R^2 Aj	CV	
B foliar	75	0,43	0,4	22,11	

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1237,02	4	309,25	13,42	<0,0001
T	1237,02	4	309,25	13,42	<0,0001
Error	1613,15	70	23,04		
Total	2850,16	74			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=4,90839

Error: 23,0449 gl: 70

T	Medias	n	E.E.	
T1	14,52	15	1,24	A
T2	20,05	15	1,24	B
T3	23,61	15	1,24	BC
T4	25,01	15	1,24	C
T5	25,39	15	1,24	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Variable	N	R^2	R^2 Aj	CV	
Peso seco total	150	0,09	0,06	22,31	

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	14069,67	4	3517,42	3,41	0,0107
T	14069,67	4	3517,42	3,41	0,0107
Error	149694,9	145	1032,38		
Total	163764,57	149			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=22,67125

Error: 1032,3786 gl: 145

T	Medias	n	E.E.	
1	134	30	5,87	A
2	137,72	30	5,87	A B
3	136,99	30	5,87	A B
4	154,13	30	5,87	A B
5	157,34	30	5,87	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Variable	N	R^2	R^2 Aj	CV	
AFT	150	0,08	0,05	21,8	

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	78842,1	4	19710,52	3	0,0205
T	78842,1	4	19710,52	3	0,0205
Error	952890,25	145	6571,66		
Total	1031732,4	149			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=57,19965

Error: 6571,6569 gl: 145

T	Medias	n	E.E.	
1	356,77	30	14,8	A B
2	336,13	30	14,8	A
3	375,99	30	14,8	A B
4	397,86	30	14,8	B
5	392,61	30	14,8	A B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Variable	N	R^2	R^2 Aj	CV	
IAF	150	0,08	0,05	21,8	

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	16,14	4	4,03	3	0,0205
T	16,14	4	4,03	3	0,0205
Error	194,91	145	1,34		
Total	211,04	149			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,81806

Error: 1,3442 gl: 145

T	Medias	n	E.E.	
1	5,1	30	0,21	A B
2	4,81	30	0,21	A
3	5,38	30	0,21	A B
4	5,69	30	0,21	B
5	5,61	30	0,21	A B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Análisis de la varianza

Variable	N	R^2	R^2 Aj	CV
Aceite/racimo	1025	0,05	0,04	14,41

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	681,74	8	85,22	6,14	<0,0001
Tratamiento	79	4	19,75	1,42	0,2244
Bloque	602,74	4	150,68	10,85	<0,0001
Error	14108,84	1016	13,89		
Total	14790,58	1024			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=1,00586

Error: 13,8867 gl: 1016

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
4	25,61	205	0,26	A
5	25,68	205	0,26	A
2	25,69	205	0,26	A
3	25,92	205	0,26	A
1	26,37	205	0,26	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)